ООО «ГЕОМАРКЕТИНГ»
ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»
СРО АССОЦИАЦИЯ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»
НП «СОЮЗ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ»

ЖУРНАЛ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

ИГИИС

Саморегулируемая организация АИИС Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве»

Союз Изыскателей

XIII Общероссийская научно-практическая конференция и выставка

«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

29 ноября – 1 декабря 2017 г.

г. Москва
2017

ООО «Геомаркетинг»

ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»

СРО Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве»

НП «Союз изыскателей»

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ XIII ОБЩЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ

29 ноября – 1 декабря 2017 г.

МОСКВА
2017

Инженерные изыскания в строительстве.
Материалы докладов Тринадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций.
М.: ООО «Геомаркетинг». 2017. – 639 с.

В сборнике материалов Тринадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций опубликованы доклады, посвященные различным аспектам инженерных изысканий. Материалы докладов представлены сотрудниками крупнейших научно-исследовательских и производственных проектно-изыскательских организаций, вузов.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области инженерных изысканий, проектирования, строительства, экологии, для студентов и аспирантов профильных вузов.

Редакционная группа: Журавлева Н.А., Висхаджиева К.С.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

Здобин Д.Ю.
СПбГУ, Охотинское общество грунтоведов
О необходимости государственного стандарта на метод лабораторного определения карбонатов в грунтах 17

Никулина М.Е., Пендин В.В., Фоменко И.К., Горобцов Д.Н.
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Инженерно-геологическое районирование территории по опасности возникновения склоновых процессов при инженерно-геологических изысканиях 20

Фоменко И.К., Пендин В.В., Нгуен Ч.К.
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Оценка ущерба, опасности и риска от оползневых процессов (на примере северо-западного Вьетнама) 27

Воскресенский И.С., Сучилин А.А., Ушакова Л.А., Энтин А.Л.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Шафоростов В.М.
ООО «Геокорд»
ГНСС и воздушное зондирование для мониторинга опасных природных процессов при эксплуатации газотранспортной системы 35

Эппель Д.И., Кишеев А.А.
ООО НИПИИ ЭТ «Энерготранспроект»
Полевые методы сдвиговых стандартных и реологических испытаний для оценки нормативной и прогноза длительной устойчивости оползней южного берега крыма (ЮБК) и участка Волго-Балт 37

Лосив В.М.
Филиал «АИИС-Дальний Восток»
Новая модель формирования зоны сочленения Ханкайского массива (ХМ) и Сихотэ-Алинской складчатой системы (САСС) и потенциальная сейсмоопасность юга Приморского края 39

Латыпов А.И., Нуриев И.С., Хузин И.А., Яббарова Е.Н.
КФУ
Жаркова Н.И.
École Polytechnique de Montréal
Закономерности формирования карстово-суффозионных процессов на северо-востоке г. Казани 48

Аникеев А.В.
ИГЭ им. Е.М. Сергеева РАН
Об учете разрыхления горных пород при оценке провальной опасности и проектировании строительства в карстовых районах 53

Живаев А.А., Идрисов И.Х.
ООО «НПП «Геотек»
Динамические испытания грунтов в резонансной колонке 55

Королёв В.А., Чжан Шэнжун
МГУ им. М.В. Ломоносова
Математическое моделирование физических и физико-механических свойств песков на основе теории дискретной среды 63

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

Ефимов Г.Н., Зубинский В.И., Попадьёв В.В., Забнев В.И.
ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»
Секреты от самих себя 70

Половнев О.В., Ковыркин В.В.
МИИГАиК
Основы применения систем координат в инженерной геодезии 78

Веселов В.В.
ОАО «Атомэнергопроект»
Основы геодезического мониторинга АЭС 89

Фялковский А.Л.
МИИГАиК
Концепция организации геодезического мониторинга в районах активного протекания опасных геологических процессов 94

Аникин А.С., Козыренко О.Н., Тимофеев А.Н.
ООО «Новосибирский инженерный центр»
Чухвачева Ю. Е.
АО «Сибгеоинформ»
Перевод топографических планов населенных пунктов в региональную систему координат и работа с ними на примере Новосибирской области 100

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

Стурман В.И.
СПГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
Картографическое обеспечение инженерно-экологических изысканий 107

Сердцев П.О.
ООО «НПО «Империал»
Детализация и практическая классификация опасности грунта 111

Решетников М.В.
СНИГУ им. Н.Г. Чернышевского
Эколого-геохимические и петромагнитные исследования при строительстве на урбанизированных территориях 115

Светличный С.А., Косинова И.И.
ВГУ
Основные направления распределения радиационного загрязнения на территориях, подверженных негативному воздействию после аварии на ЧАЭС 119

Юрова М.Г., Сарычева Н.В.
ВГУ
Проблемы инженерно-экологических изысканий на подтапливаемых территориях 125

Королёв В.А., Горняков А.К.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Эколого-геологическая оценка применения противогололёдных реагентов в Москве 131

Харькина М.А.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Аюпова Э.Я.
ООО «Газпром геотехнологии»
Пример ведения экологического мониторинга на Волгоградском подземном хранилище газа и возможности его совершенствования в рамках современных нормативно–технических документов 138

Скнарина Н.А.
ЮФУ
Эколого-геологические условия акватории Таганрогского морского торгового порта 143

Григорьева И.Л.
ИВП РАН
Негативное влияние крупных промышленных комплексов на поверхностные воды (на примере Череповецкого промузла) 150

Косинова И.И., Фонова О.Г.
ВГУ
Оценка экологического состояния придорожных территорий в г. Воронеже 157

Фонова С.И., Лебедев С.Е.
ВГТУ
Исследование загрязнений воздуха выбросами сахарных заводов (на примере ОАО «Знаменский сахарный завод» в Тамбовской области) 165

Цымбал М.Н.
ООО «ИГИИС»
МГУ им. М.В. Ломоносова
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Трофимов В.Т.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Позиции, требующие совершенствования научно-методического обеспечения инженерно-экологических изысканий 172

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

Алабян А.М.
МГУ им. М.В. Ломоносова
О феномене отрицательного сопротивления в инженерных расчетах, гидродинамике и гидравлике 176

Демиденко Н.А.
ФГБУ «ГОИН им. Н.Н. Зубова»
Повалишникова Е.С., Попрядухин А.А.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Льюменс Макс
Университет Твенте
Исследование солености и транспорта наносов в зоне смешения речных и морских вод в устьях рек Онеги и Мезени 180

Крыленко И.Н., Головлев П.П., Корнилова Е. Д., Сазонов А.А., Фингерт Е.А.
МГУ им. М.В. Ломоносова
ИВП РАН
Оценка характеристик затопления на основе двумерной гидродинамической модели 187

Корнилова Е.Д., Крыленко И.Н., Головлев П.П.
МГУ им. М.В. Ломоносова
ИВП РАН
Верификация двумерной гидродинамической модели по данным о границах затопления с космических снимков (на примере р. Лены у г. Якутск) 191

Панченко Е.Д.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Лебедева С.В., Горелиц О.В.
ФГБУ «ГОИН им. Н.Н. Зубова»
Одномерное моделирование прямых и обратных длинных волн в Саратовском водохранилище 198

Барабанова Т.С., Самохин М.А.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Основные расчетные гидрологические характеристики рек Новой Москвы 203

Бекасов М.А, Айбулатов Д.Н.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Определение максимальных расходов воды дождевых паводков малых рек на антропогенно изменённых территориях на примере Новой Москвы 210

Харитонов В.В., Бородкин В.А.
ААНИИ
Методика исследования стамух 216

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ»

Стрелецкая И.Д.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Васильев А.А., Облогов Г.Е.
ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН
ТГУ
Новообразование мерзлоты и инженерно-геокриологические условия низких аккумулятивных лайд Карского моря 224

Гребенец В.И., Толманов В.А.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Остроумова Е.А.
ООО «ИГИИС»
Андрющенко Ф.Д.
ООО «ЯкутИзыскания»
Керимов А.Г-о.
ООО «НПО «Фундамент»
Изменение мерзлотных условий на урбанизированных территориях под влиянием техногенеза и климатических колебаний 230

Юров Ф.Д., Гребенец В.И.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Современная динамика инженерно-геокриологических условий на Ванкорском и Заполярном нефтегазовых месторождениях 239

Лукьянов С.Н.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Геокриологические условия в верховьях р. Колымы 247

Толманов В.А., Гребенец В.И., Исаков В.А.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Керимов А.Г-о.
ООО «НПО «Фундамент»
Деформации дорожного полотна в сложных мерзлотно-геологических условиях Норильского промрайона 251

Кизяков А.И.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Лейбман М.О.
ИКЗ СО РАН, ТГУ
Зимин М.В.
ГК «СКАНЭКС»
Применение космических снимков для изучения воронок газового выброса 259

Самсонова В.В.
ИМЗ им. П.И. Мельникова СО РАН
Ефимов В.М.
ИФТПС им. В.П. Ларионова СО РАН
Научное сопровождение организации и реализации системы геотехнического мониторинга линейной части магистрального газопровода в Восточной Сибири в процессе строительства 265

Васильчук Ю.К.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Криолитологические особенности и генезис едомных толщ, включающих щебнистые и гравийно-галечниковые отложения 273

Васильчук Ю.К., Васильчук Дж.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Батагайская едома – уникальный криолитологический объект 294

Тумель Н.В., Зотова Л.И.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Оптимизация условий эксплуатации нефтепромыслов на юге криолитозоны Западной Сибири 305

Бровка Г.П., Агутин К.А., Мучко М.В.
Институт природопользования НАН Беларуси
Совершенствование аналитических и численных моделей расчета температурных полей в промерзающих грунтах 313

Гнатюк И.И., Мотенко Р.Г.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Изучение теплофизических характеристик насыпных грунтов для оценки глубины сезонного оттаивания 320

Магомедгаджиева М.А.
ООО «Красноярскгазпром нефтегазпроект»
От качества инженерно-геологических изысканий к оптимизации проектирования оснований объектов обустройства нефтегазового комплекса в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов 325

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ»

Аносов Г.И., Дементьев Ю.В., Каргопольцев А.А., Сотников Д.С.
ООО ЦИИЗ «ИМПУЛЬС-М»
Бобков В.В., Кришталь К.В.
ГБУК «Калининградская областная филармония имени Е.Ф. Светланова»
Криволапчук М.П.
ООО «КГЭ “Астра”»
Рогаль Л.А.
ООО «Лентисиз-Калининград»
Сейсмическое микрорайонирование плотно застроенных урбанизированных территорий на примере города Калининграда 329

Аносов Г.И., Дементьев Ю.В., Каргопольцев А.А., Сотников Д.С.
ООО ЦИИЗ «ИМПУЛЬС-М»
Бобков В.В., Кришталь К.В.
ГБУК «Калининградская областная филармония имени Е.Ф. Светланова»
Оценка конструктивной уязвимости готических сооружений Калининграда на основе использования спектральных отношений компонент микросейсм 341

Мусаева Л.А.
АО «Мособлгидропроект»
Ошкин А.Н., Турчков А.М.
ООО «НЕОГЕН»
МГУ им. М.В. Ломоносова
Опыт применения геофизических методов для расчленения геологического разреза на объектах, труднодоступных для бурения 358

Владов М.Л., Ермаков А.П., Серебряков В.С.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Богданов М.И.
ООО «ИГИИС»
Наземные инженерно-сейсморазведочные и ультразвуковые исследования на участке строительства терминала для хранения и отгрузки смеси пропана и бутана технических (СПБТ), г. Куйбышев (Новосибирская область) 361

Волков В.А., Калинина А.В., Аммосов С.М.
ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН
Владов М.Л., Граминовский Н.А., Капустин В.В., Марченков А.Ю.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Оценка вибрационного воздействия подвижного состава на здания и сооружения вдоль скоростной магистрали «Москва-Казань-Екатеринбург» 363

Турчков А.М.
МГУ им. М.В. Ломоносова
ООО «НЕОГЕН»
Серов А.Ю., Зиновьев И.А.
ГБУ «Мосгоргеотрест»
Особенности применения метода отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОВ-ОГТ) на продольных волнах при изучении верхней части разреза 365

Болтинцев В.Б., Ильяхин В.Н.
ООО НПФ «Геодизонд»
Безродный К.П.
ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»
Аппаратная часть комплекса электромагнитного импульсного сверхширокополосного зондирования подстилающей среды 367

СЕКЦИЯ «ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОСТАВЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ»

Лехов А.В., Кортунов Е.В., Лехов В.А., Самарцев В.Н., Шарапута М.К.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Экспериментальные исследования фильтрационной неоднородности карбонатного пласта 373

Расторгуев А.В., Сорокоумова Я.В.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Гидрогеологические исследования, связанные с углеводородным загрязнением подземных вод 382

Гуман О.М., Антонова И.А.
Уральский государственный горный университет
ООО «Уралгеопроект»
Гидрогеологические прогнозы затопления открытых горных выработок на этапе ликвидации (на примере Султановского рудника) 388

Козуб Ю.Г., Котлов О.Н.
АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
Хархордин И.Л.
ООО «Геостройпроект»
Численное моделирование фильтрации из хвостохранилища Куранахской золотоизвлекательной фабрики в Якутии 395

Василевский П.Ю.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Определение параметров влагопереноса для обоснования защищенности подземных вод 397

Трофимова Ю.В., Расторгуев А.В.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Свительман В.С.
ИБРАЭ РАН
Определение положения источников загрязнения подземных вод по данным мониторинга 404

Батрак Г.И.
ИГЭ им. Е.М. Сергеева РАН
Характеристики режима подземных вод, формирующегося при затоплении шахт и свидетельствующие о развитии негативных геологических процессов 409

Филимонова Е.А.
МГУ им. М.В. Ломоносова
АО «МОСГИПРОТРАНС»
Погудин М.Д., Атаманец Л.В.
АО «МОСГИПРОТРАНС»
Гидрогеологические исследования при проектировании высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва–Казань 412

Царев М.А.
Применение одиночной откачки через забой скважины при изучении проницаемости горных пород 419

Потапова Е.Ю.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Громов В.Е.
ЗАО «Геолинк-Консалтинг»
К вопросу гидрогеологических исследований на объектах строительства 430

Лехов М.В.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Гидрогеологические вопросы рекультивации стихийных мусорных свалок 433

Лехов С.М.
МГУ им. М.В. Ломоносова
О техническом регулировании лицензирования и сертификации программного обеспечения в нормативной технической документации и законодательстве Российской Федерации. Гидрогеологические расчеты 437

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРЫ»

Персова С.Г.
Министерство культуры Республики Татарстан, КГАСУ
Междисциплинарные исследования объектов культурного наследия Республики Татарстан 439

Пашкин Е.М.
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Влияние воздействий на сохранность памятников архитектуры 441

Морозов В.Н.
Геофизический центр РАН
Сохранить памятники исторического наследия 448

Вязкова О.Е.
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Историческая инженерная геология как направление научно-практической деятельности 451

Демкин И.А.
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Опыт проектных работ по реставрации объектов культурного наследия (в том числе гидротехнических сооружений), находящихся в пределах акваторий естественных и искусственных водоемов 456

Буфеев Ф.К., Демкин И.А., Кувшинников В.М.
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Опыт комплексного подхода к реставрации объектов культурного наследия на примере успенского собора в Свияжске (Республика Татарстан) 465

Чернышев С.Н., Рубцов И.В., Елманова Е.Л.
НИУ МГСУ
Опыт применения геодезических измерений для исследования фасада памятника архитектуры 470

Бондарев М.В., Буфеев Ф.К., Кувшинников В.М., Формальнов А.В.
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Инженерно-геологические изыскания для реставрации и изучение внутренней структуры фундаментов крепостных стен и башен на участке: северо-западная башня – юго-восточная башня ансамбля Савинно-Сторожевского монастыря 475

Чернышев С.Н., Рахматуллина Е.В.
НИУ МГСУ
Результаты длительного мониторинга зданий на суффозионном основании в историческом центре Москвы 481

Никишина Т.А.
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Мониторинг состояния архитектурных памятников истории и культуры (на примере Вознесенского Печерского монастыря) 484

Никитин М.Ю., Барабошкин Е.Ю., Барабошкина Т.А.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Древние города северного Причерноморья: проблемы сохранения памятников истории и культуры 491

Невечеря В.В.
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Применение метода инженерно-геологического районирования для оценки риска развития негативных инженерно-геологических процессов на исторических территориях 496

Поспехов Г.Б., Голобородько А.А.
СПБГУ
Оползневая опасность на территории объекта культурного наследия «Павловский парк» 504

Вилкова М.В., Фабричная К.А.
ООО НПФ «Рекон +»
К вопросу обеспечения надежности и безопасности эксплуатации при приспособлении здания-объекта культурного наследия 508

СЕКЦИЯ «ГЕОТЕХНИКА – РАСЧЁТЫ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНИТОРИНГ»

Тер-Мартиросян А.З., Мирный А.Ю.
НИУ МГСУ, НОЦ «Геотехника»
Преимущества применения современных численных моделей на примере объектов Москвы и Санкт-Петербурга 513

Мирный А.Ю.
НИУ МГСУ, НОЦ «Геотехника»
Определение параметров вторичной консолидации и их учет в инженерных расчетах 521

Скнарина Н.А.
ЮФУ
Оценка оползневой опасности участка автомобильной дороги Даховская – плато Лаго-Наки для разработки программы геотехнического мониторинга 528

Кан К., Зеркаль О.В., Лю Ц.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Сравнительный анализ учета сейсмического воздействия при количественной оценке устойчивости склонов в России, Китае и Европе 533

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ НА ШЕЛЬФЕ»

Рыбалко А.Е., Локтев А.С., Токарев М.Ю., Росляков А.Г., Миронюк С.Г., Корост Д.В.
ООО «ЦАСД МГУ имени М.В. Ломоносова»
СПбГУ
ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова»
МГУ им. М.В. Ломоносова
Подводные гравитационные процессы в шельфовых морях и их изучение при проведении инженерно-геологических изысканий 541

Миронюк С.Г.
ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова»
О некоторых методических подходах к оценке частоты склоновых процессов в процедуре анализа морских геологических опасностей 544

Марченко И.А., Черников Д.И., Науменко Д.А.
ОАО «МАГЭ»
Особенности выполнения инженерно-геологических изысканий на шельфе Карского моря в условиях распространения многолетнемерзлых пород 552

Локтев А.С.
ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова»
Статическое зондирование при выполнении инженерных изысканий на шельфе 555

Рокос С.И.
ОАО «АМИГЭ»
Типизация приповерхностных газовых ловушек с аномально высоким пластовым давлением в грунтах мелководного шельфа Печорского и Карского морей 562

Здобин Д.Ю.
СПбГУ, Охотинское общество грунтоведов
Проблемы изучения барьерной зоны «взвесь-осадок» при обустройстве инженерных сооружений на шельфе 567

Усенков С.М.
СПбГУ
Оценка уязвимости морских берегов к аварийным разливам нефти при проведении инженерно-экологических исследований на шельфе 570

Рыбалко А.Е., Щербаков В.А., Келль Д., Локтев А.С.
ООО «ЦКМИ СПбГУ»
СПбГУ
ФГБУ «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»
ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова»
Выполнение инженерно-геологического мониторинга в заливе Петра Великого (Японское море) 575

Клещин С.М., Демонов А.П.
ООО «Сабси Сервей Солюшенс»
Инженерно-геофизические исследования с использованием автономного необитаемого подводного аппарата 580

Манжосов С.В., Бабкина А.Е., Сираев А.М.
ООО «Сабси Сервей Солюшенс»
Изучение морских грунтов зоны континентального склона и абиссальной равнины методом статического зондирования 585

ДОПОДНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

Коновалов В.П.
ФАУ «Главгосэкспертиза России»
Деятельность ФАУ «Главгосэкспертиза России» и актуальные вопросы технического регулирования инженерно-геологических изысканий 590

Кочев А.Д.
ООО «Транспроектинжиниринг»
Богданов М.И.
ООО «ИГИИС»
Разработка нового Свода правил «Инженерные изыскания для строительства на закарстованных территориях. Общие требования» 600

Панасьян Л.Л.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Сас И.Е.
МИСиС
Сопоставление напряженно-деформированного состояния грунтов в массивах с акустоэмиссионными эффектами памяти (на примере скальных грунтов Воронежской сверхглубокой скважины) 607

Косинова И.И.
ВГУ
О наполнении раздела прогноза влияния объектов строительства на компоненты природной среды в системе инженерно-экологических изысканий 614

Чернянский С.С.
ООО «Рэмболл Энвайрон Си-Ай-Эс»
Проблемы оценки качества почв при инженерно-экологических изысканиях 618

Хилимонюк В.З., Хрусталев Л.Н.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Поверхностный фундамент для одноэтажных зданий в криолитозоне 626

Самарцев В.Н.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Опыт использования вложенных моделей для оценки водопритоков в горные выработки 628

Куликов С.Н.
ОАО «АМИГЭ»
Влияние коэффициентов несущей способности на результаты расчета пенетрации опор СПБУ 631

Кудаев А.А., Ахманов Г.Г.
МГУ им. М.В. Ломоносова
Хлыстов О.М.
Лимнологический институт СО РАН
Корост Д.В.
ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова
Характеристика донных грунтов в зонах фокусированной разгрузки углеводородов озера Байкал 636

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

Здобин Д.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле; Охотинское общество грунтоведов, г. Санкт-Петербург, zdobin_soil@mail.ru

О НЕОБХОДИМОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА НА МЕТОД ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАРБОНАТОВ В ГРУНТАХ

К стандартизированным методам определения состава и свойств грунтов, как правило, относят те показатели, от правильного определения которых зависит безопасное строительство и дальнейшая эксплуатация зданий и сооружений. К числу таких свойств относится и содержание карбонатов в грунтах.

Карбонатными грунтами называют грунты, содержащие в своём составе природные минералы, состоящие из солей угольной кислоты H_2CO_3 (кальцит, доломит и др.) [3]. Карбонаты в составе твёрдой компоненты грунта при инженерных изысканиях для строительства определяют с целью выяснения возможного возникновения одних из самых опасных инженерно-геологических процессов – суффозионно-карстового. Отечественная школа геологии добилась выдающихся успехов в деле изучения всех аспектов этого важного геологического процесса с разных точек зрения (геоморфологии, гидрогеологии, инженерной геологии). Существуют карты распространения карстовых областей и районов, карты карстовой и карстово-суффозионной опасности, как всей территории России, так и отдельных ее областей.

В настоящее время одним из основных нормативных документов, регламентирующих проведение инженерных изысканий для строительства, является ГОСТ 2500-11 «Грунты. Классификация». В данном государственном стандарте приводится три частных инженерно-геологических классификации разновидностей скальных грунтов по минеральному составу [1]. В зависимости от минералогического состава карбонатных грунтов, а также наличием в нем терригенной или глинистой составляющей они подразделяются соответственно на известково-доломитовый, карбонатно-терригенный и глинисто-карбонатный ряды.

Тем более явным диссонансом является отсутствие на общефедеральном уровне единой методики лабораторного определения содержания карбонатов в грунтах при инженерных изысканиях для строительства.

Существует большое количество методов и методик определения карбонатов. Методы определения карбонатов в почвах и грунтах основаны главным образом на измерении массы, объема или количества вещества диоксида углерода, выделившегося при разложении карбонатов. Как правило, в

основном определяют общее содержание карбонатов в грунтах при протекании реакции с HCl (Кнопп, Соколович, Шоленбергер, Баур, Мельников, Шейбер, Хатчинсон и Макленан, Голубев, Коллинс, Гейслер-Максимюк и др.), но существуют различные приемы раздельного определения карбонатов кальция и карбонатов магния.

Наиболее часто для этого используют гравиметрические и титриметрические методы. Гравиметрические методы основаны на определении массы выделившегося CO_2. Титриметрические методы (количественного или массового анализа, основанного на изменении объема) определения общего содержания CO_2 карбонатов в свою очередь относятся к аналитическим.

Широкое распространение в практике лабораторных испытаний почв и грунтов (особенно за рубежом) получил метод определения содержания карбонатов для определения $CaCO_3$ в специальных приборах кальциметрах (карбонатомерах). Принцип работы кальциметров заключается в измерении в реакционной камере прибора давления (визуальном, автоматическом) выделившегося углекислого газа (CO_2) в процессе взаимодействия мелкодисперсных частиц образца грунта с водным раствором соляной кислоты (HCl), и расчете массового содержания карбонатных веществ (кальцита, доломита).

В настоящее время в практике инженерных изысканий для строительства содержание карбонатов в грунтах должно определяться по умолчанию. В грунтовых испытательных лабораториях, как правило, используют качественное определение содержания по реакции «вскипания» грунта с HCl, а также определяют содержание гидрокарбонатов в водной вытяжке из грунта (ГОСТ Р 52963-2008 «Вода. Методы определения щёлочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов» [2]).

Представляется целесообразным стандартизировать метод определения содержания карбонатов в грунтах в увязке с определением остальных компонент грунта (жидкой – высушиванием навески грунта в сушильном шкафу до постоянной массы; органической – прокаливанием навески грунта в муфельной печи до постоянной массы). В связи с эти наиболее приемлемым представляется прямой метод определения содержания карбонатов в грунте путем определения потери массы навески грунта при взаимодействии с соляной кислотой (HCl).

Вторым методом лабораторного определения содержания карбонатов в грунтах представляется целесообразным регламентировать манометрический метод определения, из-за его достаточной проработанности, длительной истории применения в практике лабораторных испытаний, наличия линейки доступного и недорого отечественного оборудования и сопоставимости его с аналогичным методом используемым в зарубежной нормативной литературе (например, ASTM D 4373 – Standard Test Method for Calcium Carbonate Content of Soils [4]).

Таким образом, в новом ГОСТ «Грунты. Методы лабораторного определения содержания карбонатов» рекомендуется внести два метода гравиметрический и манометрический, дабы унифицировать определение этого компонента твердой фазы грунта и тем самым повысить качество инженерных изысканий для строительства.

Список литературы

1. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
2. ГОСТ Р 52963-2008 Вода. Методы определения щёлочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов.
3. Огородникова Е.Н., Комиссарова Н.Н. Химический анализ грунтов. М.: МГУ, 1990. 159 с.
4. ASTM D 4373-95 Standard Test Method for Calcium Carbonate Content of Soils.

Никулина М.Е., Пендин В.В., Фоменко И.К., Горобцов Д.Н.

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии, г. Москва, nikulinamari93@mail.ru, pendin@yandex.ru, ifolga@gmail.com, dngorobtsov@mail.ru

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПО ОПАСНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

Общие сведения об объекте исследований

Объектом исследований является участок автомобильной дороги Р-504 «Колыма» Якутск – Магадан, восточная часть республики Саха (Якутия)».

Общее направление существующей дороги – северо-восточное. Категория дороги Р-504 «Колыма» Якутск-Магадан на данном участке – IV. Насыпь мощностью от 0,5 м до 5,4 м. Общая протяженность трассы исследуемого участка 11 км.

Автомобильная дорога расположена в пределах долины реки Нера. Абсолютные отметки поверхности земли изменяются от 571,0 м до 725,0 м. Первый участок трассы проходит по левому берегу р. Нера, далее – пересекает реку и идет по правому берегу р. Нера. В определенном участке автомобильная дорога пересекает склон сопки.

Инженерно-геологические условия исследуемой территории

В инженерно-геологическом строении участка исследований до глубины 20,0 м принимают участие четвертичные и верхнетриасовые отложения (табл. 1).

В пределах исследуемого участка развиты специфические грунты, к которым относятся насыпные (ИГЭ № 1), органоминеральные многолетнемерзлые грунты (ИГЭ № 3, 4, 6), элювиальные грунты (ИГЭ № 8).

В период проведения полевых работ (октябрь 2014 г) были вскрыты подземные воды в скважинах №№ 2, 6 на глубинах 2,4–2,9 м, а также в скважинах 50-56 на глубинах 1,90–4,00 м. Подземные воды безнапорные, приурочены к современным аллювиальным и делювиальным отложениям.

Район исследований относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов с таликами под руслами рек, которые развиты повсеместно и представлены супесями, суглинками сильнозаторфованными, песками пылеватыми, галечниковыми, щебенистыми грунтами, алевролитами средней прочности. По результатам термометрии, на момент инженерно-геологических изысканий, температура на глубине 10 м составила (ниже глубины сезонного промерзания–оттаивания) от –3,1°С до –4,4°С. В соответствии с прил. Б [4], инженерно-геокриологические условия исследованного участка относятся ко II категории (средней) сложности.

По результатам полевых работ (октябрь 2014 г.), фактическая глубина сезонного оттаивания грунтов в пределах трассы автодороги изменяется в пределах 1,0–3,0 м.

В зоне сезонного промерзания при естественной влажности грунты среднепучинистые (ИГЭ № 1, 2). Изученные грунты относятся к I–III категории просадочности.

Таблица 1

Перечень выделенных инженерно-геологических элементов

№ ИГЭ	Возраст	Описание
1	tQ_{IV}	Насыпной грунт гравийный с супесчаным заполнителем, талый
2	aQ_{IV}	Гравийный грунт с песчаным заполнителем, талый
2м	aQ_{IV}	Галечниковый грунт, насыщенный водой, в интервале h=0-3,5 – грунт мерзлый
2в	aQ_{IV}	Песок крупный, средней плотности, водонасыщенный, талый
3	dQ_{IV}	Супесь мерзлая, массивной криотекстуры, слабольдистая, с примесью органического вещества
4	dQ_{IV}	Песок пылеватый, мерзлый, массивной криотекстуры, льдистый, с примесью торфа
5	Q_{IV}	Лед
6	dQ_{IV}	Суглинок темно-серый, мерзлый, массивной криотекстуры, льдистый, сильнозаторфованный
7	dQ_{IV}	Супесь серая, мерзлая, массивной криотекстуры, льдистая
8	eQ_{II-III}	Дресвяно-щебнистый грунт с супесчаным заполнителем, мерзлый
8б	eQ_{II-III}	Щебнистый грунт с супесчаным заполнителем, талый
9	T_3	Алевролиты средней прочности
10	T_3	Алевролиты прочные, талые, R_c=50-120 МПа

Инженерно-геологическое районирование территории

Основной причиной склоновых процессов является сила гравитации. Сила гравитации на том или ином участке территории определяется потенциальной энергией рельефа. Энергия рельефа целиком и полностью зависит от градиента высотных отметок в пределах рассматриваемого участка. Для оценки энергии рельефа использовались максимальные и минимальные отметки рельефа (табл. 2) по поперечным профилям и расстояния между ними. При этом для удобства последующей интерпретации расстояния последовательно суммировались.

По данным таблицы 2 был построен геодезический профиль автомобильной дороги Р-504 «Колыма» Якутск – Магадан (рис. 1). На рисунке

на оси X отображены расстояния между отметками, на оси Y –значения абсолютных отметок.

Таблица 2

Каталог отметок и расстояний между ними

Абс. отм. max	Абс. отм. min	Разность отметок	Расстояние, м	Абс. отм. max	Абс. отм. min	Разность отметок	Расстояние, м	Абс. отм. max	Абс. отм. min	Разность отметок	Расстояние, м
580,29	580	0,29	0	577,44	577,21	0,23	3347,13	635	573,4	61,6	5676,45
579,95	578,59	1,36	68	580,86	580,54	0,32	3381,26	602,53	573,43	29,1	5720,63
574,76	578,51	-3,75	189,4	595,44	584,51	10,93	3432,55	606,47	575,4	31,07	5762,91
574,45	582,45	-8,00	382,92	605,26	596,6	8,66	3490,75	605,2	573	32,2	5854,11
580,62	588,44	-7,82	689,82	609,21	603,5	5,71	3526,02	600,74	573,5	27,24	5943,00
585,01	598	-12,99	812,72	577,44	577,21	0,23	3347,13	607,04	574,91	32,13	6075,50
584,3	593,04	-8,74	1052,22	580,86	580,54	0,32	3381,26	600,82	577,74	23,08	6241,95
579,05	581,5	-2,45	1181,00	595,44	584,51	10,93	3432,55	605,92	576,82	29,1	6315,50
572	582,2	-10,2	1296,40	605,26	596,6	8,66	3490,75	585,02	575	10,02	6509,62
568,52	579,5	-10,98	1487,40	615,29	572,8	42,49	4269,58	590	575,03	14,97	6584,89
575	585	-10,00	1632,76	626,59	572,8	53,79	4334,36	654,78	576,75	78,03	6748,88
576,96	587,58	-10,62	1871,44	670,57	572,82	97,75	4498,30	624,47	575,55	48,92	6999,29
575,47	589,8	-14,33	2148,63	725,54	572,83	152,71	4700,30	632,13	575,58	56,55	7096,95
575,33	587,8	-12,47	2282,88	718,26	572,8	145,46	4770,43	615,32	577,6	37,72	7256,85
575,86	577,21	-1,35	2410,00	683,55	572,8	110,75	4873,90	626,77	580	46,77	7996,60
575,97	575,29	0,68	2513,85	659,09	572,82	86,27	4934,84	605,15	580,7	24,45	8035,30
575,09	575,02	0,07	2564,37	652,82	572,8	80,02	5004,32	650,23	578,8	71,43	9177,75
574,6	575,15	-0,55	2644,86	606	572,85	33,15	5093,37	630,94	578,91	52,03	9307,32
572,7	572,62	0,08	2802,86	649,64	572,8	76,84	5201,36	659,43	579	80,43	9867,84
567,96	571,56	-3,6	2884,58	656,22	572,9	83,32	5411,40	641,53	579,16	62,37	9929,20
568,05	568,94	-0,89	3094,08	670,22	572,9	97,32	5514,44	619,66	582	37,66	10047,90
573,65	580,77	-7,12	3117,62	696,4	572,9	123,5	5538,04	600,29	583,53	16,76	10124,40

Анализ геодезического профиля по трассе автомобильной дороги позволяет в пределах рассматриваемой территории по энергии рельефа выделить 4 зоны:

I зона

В пределах рассматриваемой зоны отмечено локальное понижение рельефа, выраженное долиной реки Нера. Территория относительно ровная. Максимальная абсолютная отметка составляет 617,86 м, минимальная – 568,94 м. Разность абсолютных отметок колеблется от 0,07 до 32,69 м.

По результатам инженерно-геологических изысканий установлено, что в пределах рассматриваемой зоны встречаются следующие типы отложений:

1. Современные техногенные отложения (tQ_{IV}) (ИГЭ № 1).
2. Современные делювиальные отложения (dQ_{IV}) представленные переслаиванием различных типов отложений (ИГЭ № 3, 4, 6, 7).
3. Современные аллювиальные отложения (aQ_{IV}) представленные гравийным грунтом (ИГЭ № 2); галечниковым грунтом (ИГЭ № 2б); песком талым (ИГЭ № 2в).
4. Средне-верхнечетвертичные элювиальные отложения (eQ_{II-III}) (ИГЭ № 8, 8б).
5. Верхнетриасовые отложения (T_3), представленные алевролитами средней прочности (ИГЭ № 9), алевролитами прочными талыми (ИГЭ №10).

II зона

В пределах рассматриваемой зоны локальных превышений рельефа не отмечено. Максимальная абсолютная отметка составляет 630,56 м, минимальная – 572,8 м. Разность абсолютных отметок колеблется в пределах от 8,85 до 42,65 м.

По результатам инженерно-геологических изысканий установлено, что в пределах данной зоны встречаются следующие типы отложений:

1. Современные техногенные отложения (tQ_{IV}) (ИГЭ № 1).
2. Современные делювиальные отложения (dQ_{IV}) представленные переслаиванием различных типов отложений (ИГЭ № 3, 4, 6, 7).
3. Современные аллювиальные отложения (aQ_{IV}) (ИГЭ № 2).
4. Средне-верхнечетвертичные элювиальные отложения (eQ_{II-III}), (ИГЭ № 8).
5. Верхнетриасовые отложения (T_3) (ИГЭ № 9).

III зона

В пределах рассматриваемой зоны отмечен ряд локальных превышений рельефа, что обуславливает ее высокую энергию. Максимальная абсолютная отметка составляет 659,43 м, минимальная – 575,55 м. Разность абсолютных отметок колеблется в пределах от 22,48 до 80,43 м.

По результатам инженерно-геологических изысканий установлено, что в пределах данной зоны встречаются следующие типы отложений:

1. Современные техногенные отложения (tQ_{IV}) (ИГЭ №1).
2. Средне-верхнечетвертичные элювиальные отложения (eQ_{II-III}) (ИГЭ № 8).
3. Верхнетриасовые отложения (T_3) (ИГЭ №9).

IV зона

В пределах рассматриваемой зоны отмечен ряд локальных как превышений, так и понижений рельефа, что обуславливает ее высокую энергию, значительно превышающую энергию рельефа зоны III. Максимальная абсолютная отметка составляет 725,54 м, минимальная – 572,80 м. Разность абсолютных отметок колеблется в пределах от 29,10 до 152,71 м.

По результатам инженерно-геологических изысканий установлено, что в пределах данной зоны встречаются следующие типы отложений:

1. Современные техногенные отложения (tQ_{IV}) (ИГЭ №1).
2. Средне-верхнечетвертичные элювиальные отложения (eQ_{II-III}) (ИГЭ № 8).

Таким образом, в пределах рассматриваемой территории по энергии рельефа и геологическому строению можно выделить 4 зоны (табл. 3).

Таблица 3

Зоны, выделенные по опасности возникновения склоновых процессов

Наименование зоны	**Инженерно-геологические условия рассматриваемого участка**	**Инженерно-геологическое районирование участка по опасности возникновения склоновых процессов**
I зона	ИГЭ-1, 2, 2б, 2в, 3, 4, 6, 7, 8, 8б, 10	Неопасная с точки зрения развития гравитационных процессов
II зона	ИГЭ-1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9	Средней степени опасности с точки зрения развития гравитационных процессов
III зона	ИГЭ-1, 8, 9	Опасная с точки зрения развития гравитационных процессов
IV зона	ИГЭ-1, 8	Весьма опасная с точки зрения развития гравитационных процессов

Результаты инженерно-геологического районирования территории по опасности возникновения склоновых процессов по поперечным профилям отображены на геодезическом и топографическом профилях (рис. 2–3).

Список литературы

1. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания. М.: КДУ, 2008. 424 с.
2. Пашкин Е.М., Каган А.А., Кривоногова Н.Ф. Терминологический словарь-справочник по инженерной геологии. М.: КДУ, 2011. 952 с.
3. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Общие положения.
4. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I, II, III.

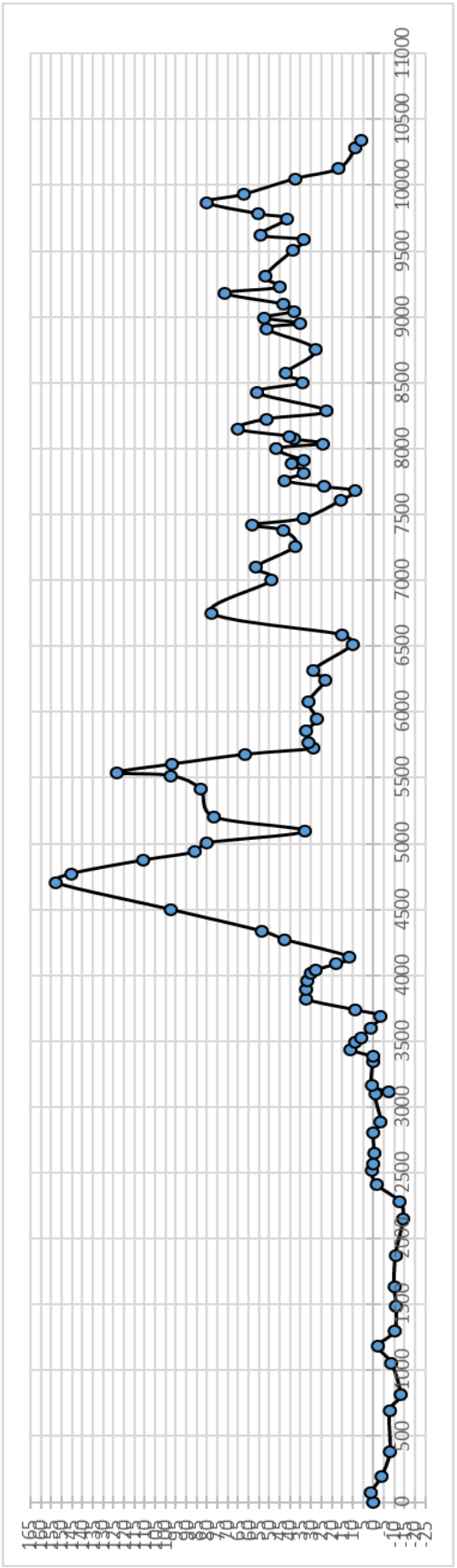


Рис. 1. Геодезический профиль автомобильной дороги Р–504 «Колыма», построенный по

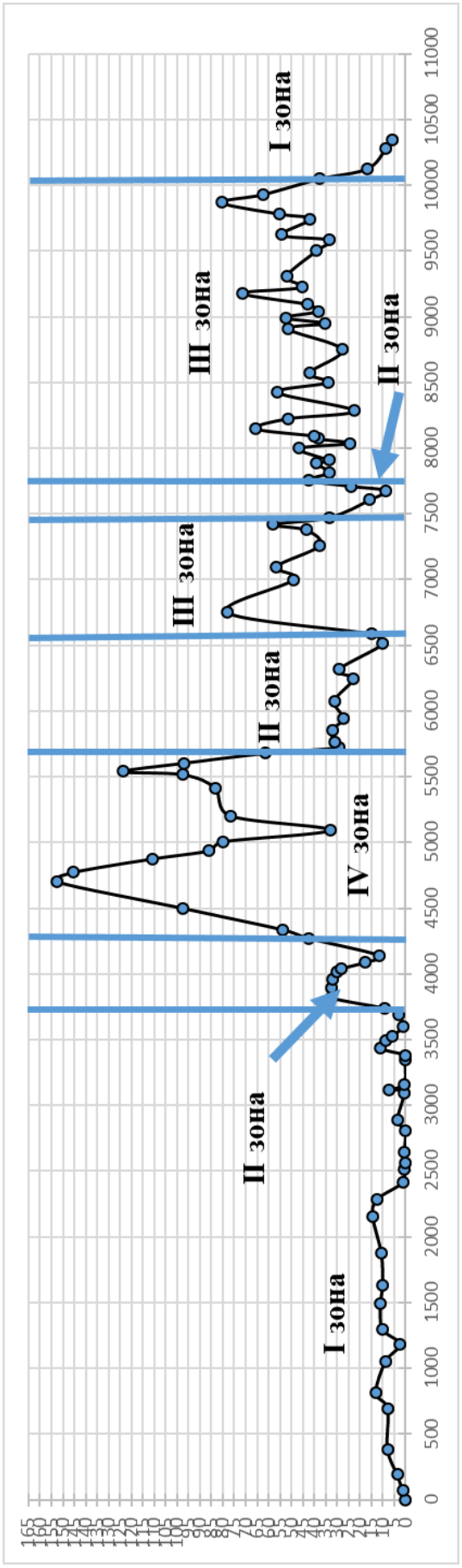


Рис. 2. Геодезический профиль с результатами инженерно-геологического районирования территории по опасности возникновения склоновых процессов по поперечным профилям

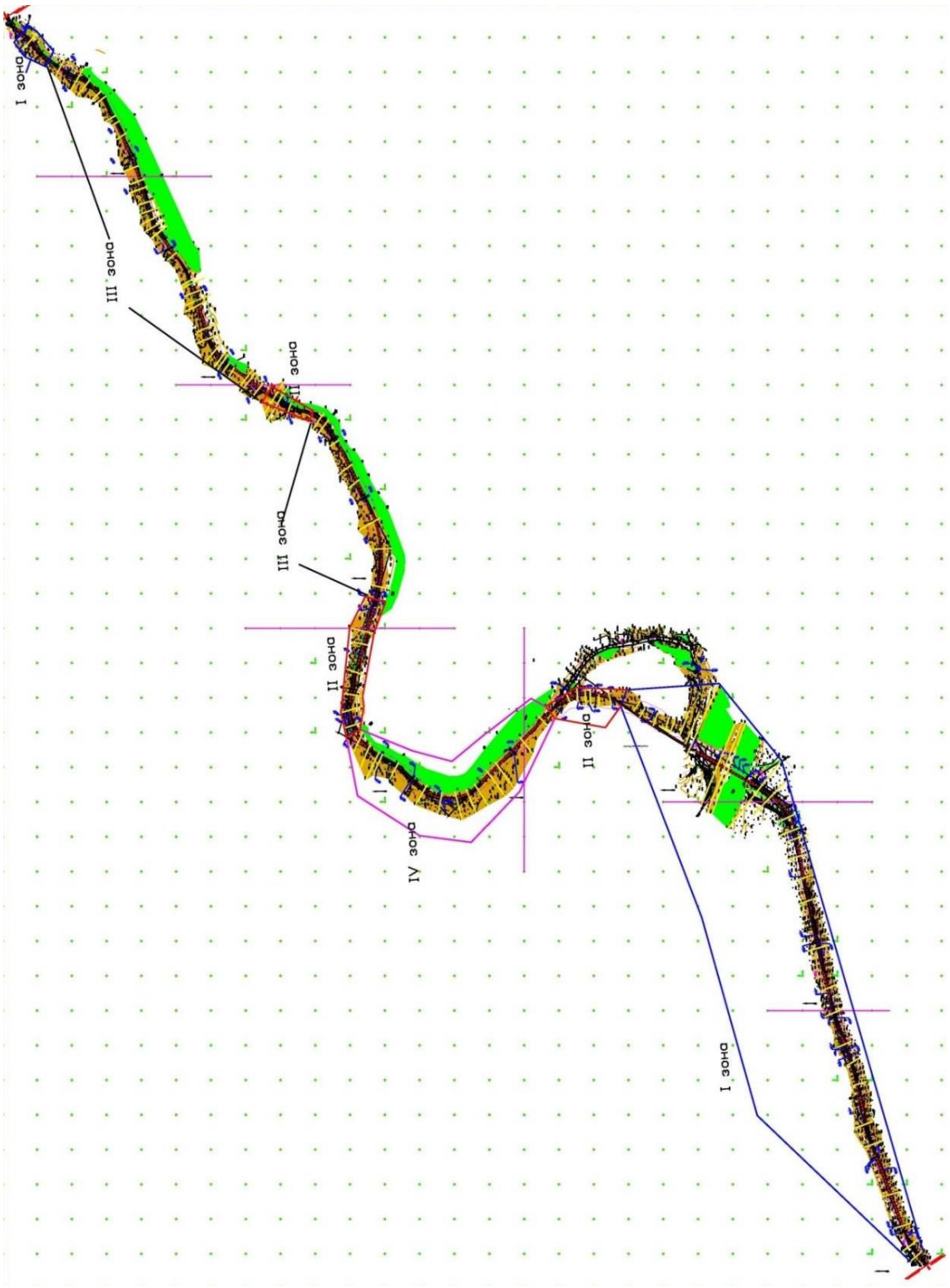


Рис. 3. Результаты инженерно-геологического районирования территории по опасности возникновения склоновых процессов по поперечным профилям

Фоменко И.К., Пендин В.В., Нгуен Ч.К.

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии,
г. Москва, fomenkoik@mgri-rggru.ru

ОЦЕНКА УЩЕРБА, ОПАСНОСТИ И РИСКА ОТ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ВЬЕТНАМА)

Введение

Оползни во Вьетнаме являются одним из наиболее широко развитых опасных геологических процессов и встречаются во всех горных районах страны. Вместе с тем территория северо-западной части провинции Лаокай считается одной из наиболее подверженных оползневым процессам, где они стали причиной существенных социальных и экономических потерь [1].

С 2005 по 2015 год было идентифицировано 641 активный оползень (рис. 1.). По механизму развития большинство из них относятся к оползням скольжения. Анализ полученных данных показал, что самый большой оползень занимает площадь около 65,5 тыс. м^2, минимальный размер оползневых проявлений составляет 417 м^2. Наиболее крупные оползни (> 10 000 м^2) составляют 11% от общего числа выявленных оползней, на средние (1 000–10 000 м^2) приходится 65,6%, а на оползни с размерами менее 1 000 м^2 – 23,4% [6].

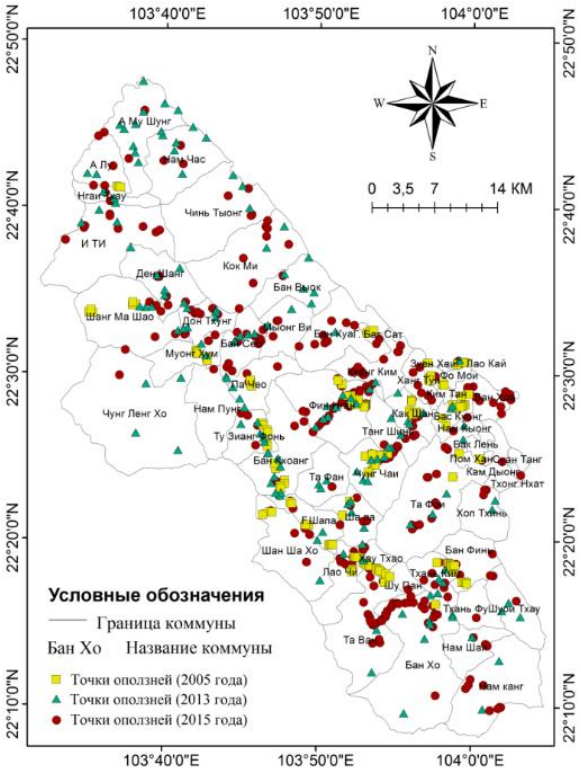


Рис 1. Карта проявления оползней в регионе северо-западный Лаокай [6]

Оценка ущерба от оползневых процессов

За 40-летний период (с 1965 г. по 2006 г.) в результате развития оползней на территории северо-западной части провинции Лаокай погибло более150 человек и было разрушено свыше 360 домохозяйств [2].

В табл. 1 приведены данные по социальному ущербу, нанесенным активизацией оползневого процесса в 2004 году [2].

Таблица 1

Социальный ущерб, причиненный оползнями в 2004 году

Дата	**Социальный ущерб (смертельные случаи)**
2004	7
13.09.2004	23
20.11.2004	2

Оценка оползневой опасности

Региональная оценка оползневой опасности выполняется на основе разделения изучаемой территории на группы участков (зон), отличающихся между собой по природным условиям формирования оползней, а также по интенсивности и характеру влияния инженерно-хозяйственной деятельности. При этом в обязательном порядке должны учитываться: основные литолого-генетические комплексы пород, слагающих склоны; крутизна склонов, интенсивность основных природных оползнеобразующих процессов и др.

Анализ оползневых факторов может проводиться с использованием либо способом взвешенных сумм, либо посредством взвешенных произведений [3]. Каждый подход имеет свои достоинства и ограничения, поэтому на практике, рекомендуется использовались их комплексно, а затем окончательное распределение совокупных значений, сравнивать для установления соответствия.

Способ взвешенных сумм в классической формулировке может быть определен следующим образом:

$$S = w_1x_{i1} + w_2x_{i2} + \ldots. + w_jx_{ij} + \ldots. + w_nx_{in} \qquad (1)$$

где S – интегрированный показатель восприимчивости территории к оползневому процессу; w_j – вес фактора j; x_{ij} – вес класса i фактора j; n – количество независимых факторов.

Способ взвешенных произведений определяется выражением следующего вида:

$$S = (w_1x_{i1} \cdot w_2x_{i2} \cdot \ldots. \cdot w_jx_{ij} * \ldots. \cdot w_nx_{in})/1000000 \qquad (2)$$

где S – интегрированный показатель восприимчивости территории; w_j – вес фактора j; x_{ij} – вес класса i фактора j; n – количество независимых факторов.

В качестве метода оценки оползневой опасности на исследуемой территории был использован модифицированный метод анализа иерархий [4].

Результаты оценки оползневой опасности способом взвешенных сумм представлены на рис. 2, взвешенных произведений на рис. 3.

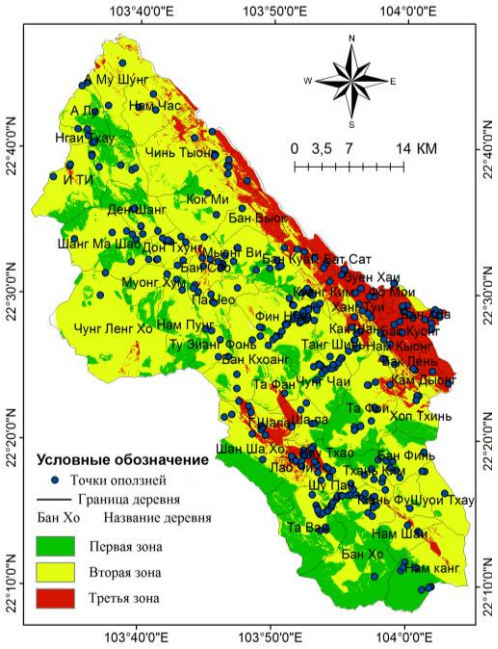


Рис. 2. Карта районирования оползневой опасности на основе способа взвешенных сумм

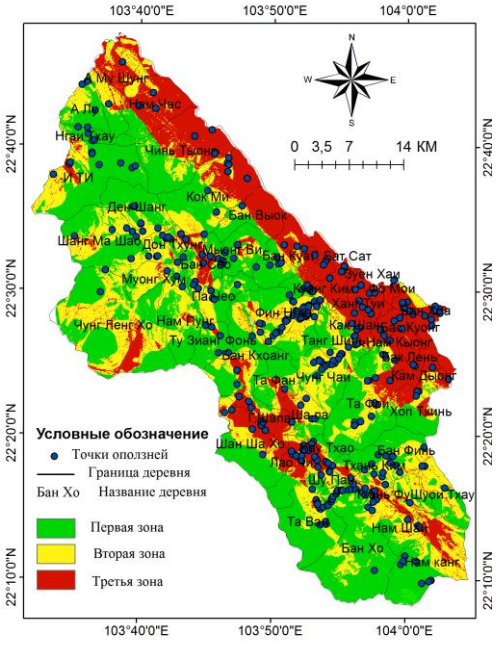


Рис. 3. Карта районирования оползневой опасности на основе способа взвешенных произведений

Оценка надежности карт оползневой опасности, на основе отношения правдоподобия

Отношение правдоподобия (ОП) позволяет оценивать неизвестные параметры, основанные на известных результатах. В рамках рассматриваемой проблемы, на основе известного распределения оползней была выполнена оценка интегрированного показателя восприимчивости территории к оползневому процессу или, иными словами, оценена адекватность выделенных зон при районировании оползневой опасности. Для этого была использована следующая формула [5]:

$$\text{ОП} = \frac{\%\ \text{оползней}}{\%\ \text{площади}} \quad (3)$$

Согласно [5], данное отношение правдоподобия для оценки оползневой опасности, по своей сути представляет выражение условной вероятности. Таким образом, случай, когда ОП больше 1, означает высокую оползневую опасность территории и наоборот, если это отношение меньше 1, то оползневая опасность низкая. Результаты оценки ОП приведены на рис. 4, а также в таблице 2 (для способа взвешенных сумм) и в таблице 3 (для способа взвешенных произведений).

Таблица 2

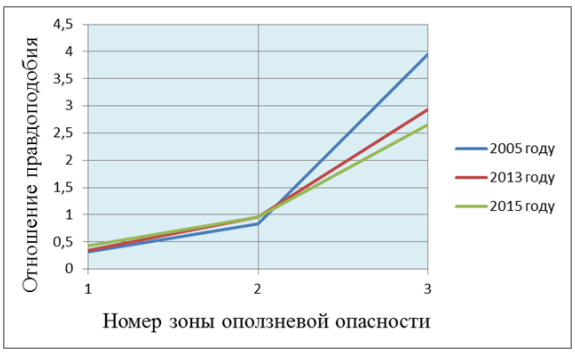
Оценка отношения правдоподобия (на основе способа взвешенных сумм)

Период времени	**Зона оползневой опасности**	**Площадь зоны, км^2**	**Количество оползней**	**% оползней**	**% площади**	**ОП**
2005 год	Низкой (первая)	416	10	6,67	21,33	0,31
	Средней (вторая)	1306	87	58	69,74	0,83
	Высокой (третья)	228	53	35,33	8,93	3,96
	Сумма	**1950**	**150**	**100**	**100**	
С 2005 по 2013 год	Первая	416	22	7,3	21,33	0,34
	Вторая	1306	200	66,45	69,74	0,95
	Третья	228	79	26,25	8,93	2,94
	Сумма	**1950**	**301**	**100**	**100**	
С 2005 по 2015 год	Первая	416	58	9,05	21,33	0,42
	Вторая	1306	431	67,24	69,74	0,96
	Третья	228	152	23,71	8,93	2,66
	Сумма	**1950**	**641**	**100**	**100**	

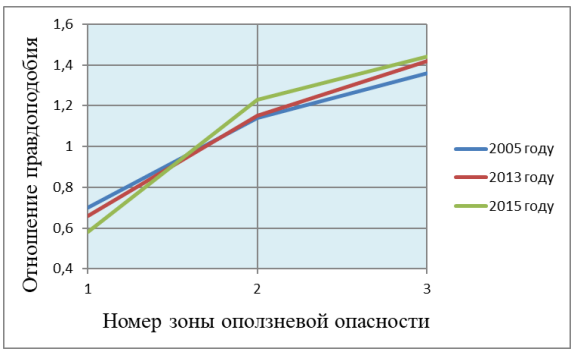
Таблица 3

Оценка отношения правдоподобия (на основе способа взвешенных произведений)

Период времени	**Зона оползневой опасности**	**Площадь зоны, км^2**	**Количество оползней**	**% оползней**	**% площади**	**ОП**
2005 год	Низкой (первая)	871	47	31,33	44,67	0,70
	Средней (вторая)	583	51	34,00	29,9	1,14
	Высокой (третья)	496	**52**	34,67	25,43	1,36
	Сумма	**1950**	**150**	**100**	**100**	
С 2005 по 2013 год	Первая	871	89	29,47	44,67	0,66
	Вторая	583	104	34,44	29,9	1,15
	Третья	496	109	36,09	25,43	1,42
	Сумма	**1950**	**301**	**100**	**100**	
С 2005 по 2015 год	Первая	871	170	26,48	44,67	0,59
	Вторая	583	237	36,92	29,9	1,23
	Третья	496	235	36,60	25,43	1,44
	Сумма	**1950**	**641**	**100**	**100**	



а



б

Рис. 4. Отношение правдоподобия для выделенных зон оползневой опасности: а) на основе способа взвешенных сумм; б) на основе способа взвешенных произведений

Анализ результатов районирования, полученных с использованием различных подходов (способа взвешенных сумм и способа взвешенных произведений) показал, что способ взвешенных произведений позволяет получить более равномерное распределение зон с различной оползневой опасностью по площади исследуемой территории.

Оценка риска от оползневых процессов

Риск (risk) – совокупная мера вероятности и ущерба от проявления опасного геологического процесса (ОГП), оказывающего воздействие на людей, инженерные сооружения и природную среду.

Количественно риск оценивается выражением:

$$R = O \times U \times E \qquad (4)$$

где R – риск, O – опасность, U – уязвимость, E – элементы риска.

Это уравнение включает:

- вероятность возникновения угрозы, (например, оползня заданной величины);
- оцениваемые атрибуты риска (элементы риска);
- сумму ущерба от реализации угрозы, выраженную как отношение нанесенного ущерба к полной стоимости элемента риска (уязвимости).

При наиболее общем подходе, методы региональной оценки рисков можно разделить на два основных класса: качественные и количественные. При рассмотрении качественных методов, следует иметь ввиду, что имеется принципиальная возможность перевода всей качественной информации в количественную форму.

Анализ риска, на основе формулы (4), может быть представлен в виде куба (рис. 5). В этом случае, при переходе к бальной оценке на основе «принципа светофора», когда 1 соответствует низкой категории опасности (уязвимости, стоимости), а 3 – высокой категории, можно заметить, что категории риска изменяются от 1 до 27 и имеют неравномерный характер. При подобном подходе, целесообразно рассматривать следующие категории риска: 1–4 низкая категория риска; 6–8 средняя категория риска; 9–27 высокая категория риска.

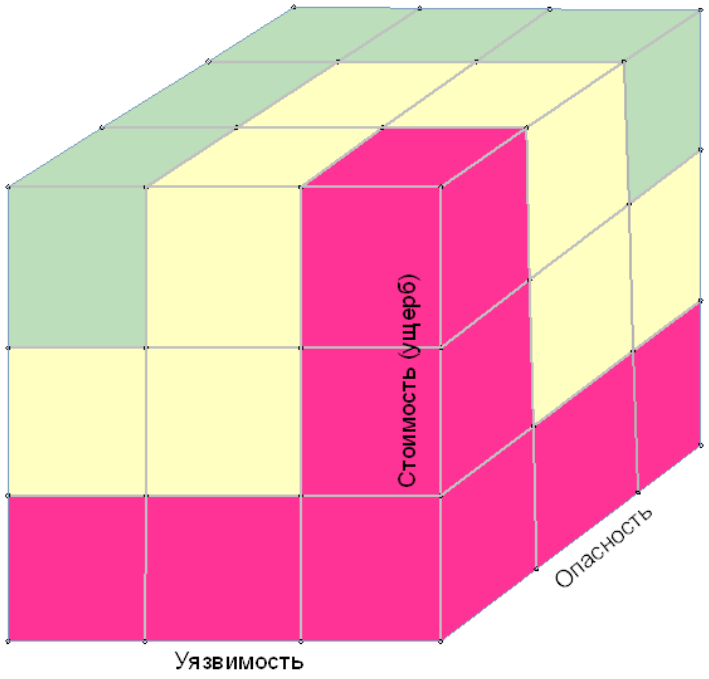


Рис. 5. Оценка риска в виде куба

В табл. 3 приведены категории качественной оценки социального риска для исследуемой территории, на рис. 6, приведена построенная на описанном выше подходе, карта социального риска от оползневых процессов.

Таблица 3

Категории качественной оценки социального риска

Тип риска	Зона	Категории риска	Уровень риска
Социальный	Первая	2–4	низкий
	Вторая	6	средний
	Третья	9–18	высокий

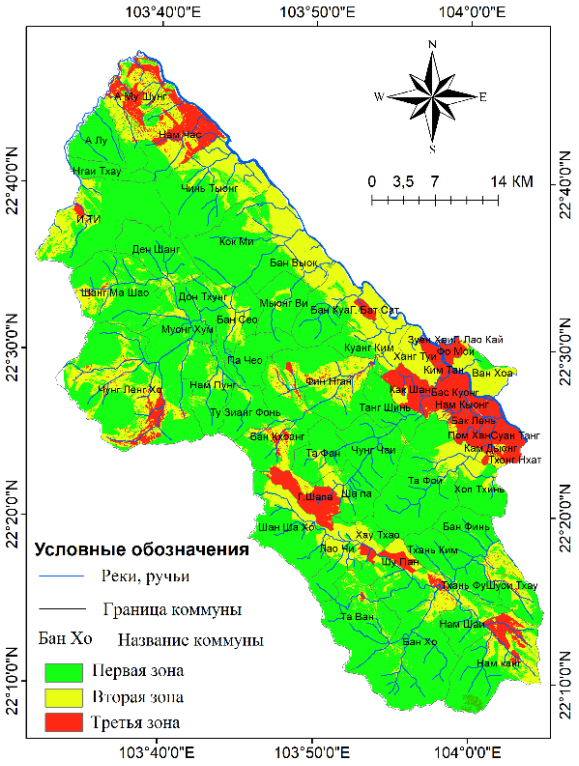


Рис. 6. Карта социального риска от оползневых процессов северо-западной части провинции Лаокай

Список литературы

1. Исследование геологических катастроф в некоторых ключевых областях на северо-востоке Северного Вьетнама с целью планирования социально-экономического развития этого региона: отчет о НИР / Т.Т Ву, К.Т. Ле, Х.Т. Фам, Н. Дам, С.Н. Нгуен, Д.Т. Нгуен, В.Х. Фам. Ханой: Институт геологических наук и минеральных ресурсов Вьетнама, Министерство природных ресурсов и окружающей среды Вьетнама, 2007. 294 с. (На вьетнамском языке.).

2. Нгуен Т.И. Оценка оползней и селей в некоторых горных районах Вьетнама и рекомендации противооползневых мероприятий: отчет о НИР. Ханой: Государственный проект, 2006. 134 с. (На вьетнамском языке.)
3. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. М: ЛЕНАНД, 2015. 320 с.
4. Применение метода анализа иерархий при региональной оценке оползневой опасности (на примере района северо-западный Лаокай, Вьетнам) / Ч.К. Нгуен, И.К. Фоменко, В.В. Пендин, К.Т. Нгуен // Геоинформатика. 2017. № 3. С. 53–66.
5. Saro L, Application of Likelihood Ratio and Logistic Regression Models to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS // Environmental Management. 2004. Vol. 34. № 2. P. 223–232.
6. Spatial prediction of rainfall-induced landslides for the Lao Cai area (Vietnam) using a hybrid intelligent approach of least squares support vector machines inference model and artificial bee colony optimization / T.D. Bui, A.T. Tran, D.N. Hoang, Q.T. Nguyen, B.D. Nguyen, V.L. Ngo, P. Biswajeet // Landslides. 2017. Vol. 14. № 2. P. 447-458.

Воскресенский И.С.[1], Сучилин А.А.[1], Ушакова Л.А.[1], Шафоростов В.М.[2], Энтин А.Л.[1]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, г. Москва
[2]ООО «Геокорд», г. Москва, info@geokord.ru

ГНСС И ВОЗДУШНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Для мониторинга трасс магистральных трубопроводов (на интенсивно освоенных территориях центра Русской равнины) в целях их безопасной эксплуатации, необходимо оперативное получение анализа проявлений опасных экзогенных геологических и рельефообразующих процессов территории трассы трубопровода.

Постановка проблемы

«Оперативность» достигается комплексной методикой с применением беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и фиксацией дистанционного мониторинга средствами глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), в сочетании с наземными геоморфологическими исследованиями. Материалы наблюдений аккумулируются в среде геоинформационной системы (ГИС) для анализа, оценки и прогноза развития оползневых процессов.

Актуальность разработки комплексного метода исследований определяется выявлением локального фактора (или факторов) проявления опасных экзогенных геологических и рельефообразующих процессов и выбором оптимальных способов инженерно-геологических методов обследования объекта с последующим определением мер инженерной защиты территории.

Материалы и методы исследований

Картографические источники, включая геолого-геоморфологические, и цифровые материалы дистанционного зондирования БЛА, после необходимой трансформации, приведены в единую систему координат (СК) проекта и формализованы в виде отдельных слоев в базе данных (БД) ГИС.

Для решения задач пространственного анализа с использованием ГИС применяется набор специальных операций и оверлейных функций, позволяющие получить различные производные характеристики объекта исследований (углы наклона, вычленение и обобщение, объем явления и т.п.).

Модель, составленная по материалам дистанционной крупномасштабной съемки с учетом геолого-геоморфологических характеристик сгруппированных в ГИС, позволила на основании эгзогеодинамического анализа сформировать

комплексную инженерно-геоморфологическую оценку состояния участка трассы в виде выделения инженерно-геоморфологических участков, ранжирования и кластеризации данных и определить качественный прогноз состояния элементов эрозионных и оползневых форм рельефа.

Оценка и прогноз динамического состояния склонов на опорном участке террасы долины р. Протва, позволила на их основании провести на участке газопровода исследования для определения морфологических показателей оползневых блоков и эрозионных рытвин (уклоны поверхности и их изменения по длине и т.п.). В результате исследований были установлены геоморфологические элементы по условиям экзогеодинамики:

- участки активной денудации с преимущественным выносом продуктов разрушения горных пород и рельефа, в том числе возможного загрязнения, за пределы трассы;
- участки динамического равновесия с транзитом и локальным накоплением материала в пределах трассы;
- участки преимущественной аккумуляции продуктов денудации и возможного загрязнения, в пределах трассы трубопровода или непосредственной близости от нее,

и как следствие составлен экзогеодинамический прогноз ситуации при дальнейшей эксплуатации.

Выводы

Применение современных методов ГНСС, материалов воздушного зондирования БЛА и ГИС, позволяет проводить дальнейшие инженерно-геоморфологические исследования, опираясь на сгруппированные материалы в БД ГИС, добавлять новые параметры объектов непосредственно в «полевых» условиях, получать по запросу характеристику имеющихся объектов, проводить необходимое моделирование, и т.п.

Исследование проведено по согласованию с территориальным подразделением Газпрома.

Эппель Д.И., Кишеев А.А.

ООО НИПИИ ЭТ «Энерготранспроект», г. Москва, info@energotransproekt.ru

ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ СДВИГОВЫХ СТАНДАРТНЫХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НОРМАТИВНОЙ И ПРОГНОЗА ДЛИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕЙ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА (ЮБК) И УЧАСТКА ВОЛГО-БАЛТА

На всей территории ЮБК насчитывается более 450 оползней.

Современные оползни объемом 500–1000 м^3 развиваются в границах древних оползней и по механизму представлены двумя типами: структурными (оползнями скольжения) и пластическими (оползнями течения). Они чаще всего возникают в рыхлых оползневых накоплениях, которые представлены тремя комплексами пород, являющихся продуктами разрушения коренных отложений известняков верхнеюрского возраста и песчано-сланцевых пород таврической серии и средней юры.

Первый оползневой комплекс представлен темно-серыми глинами с дресвой аргиллитов, второй – темно-серыми суглинками со щебнем аргиллитов, алевролитов и песчаников, третий комплекс представлен желто-бурыми суглинками с обломками известняков.

Наиболее часто (70%) оползневые смещения возникают в породах двух первых комплексов.

Прочностные свойства оползневых накоплений изучались в течение более 20 лет путем постановки больших целиков грунта в шурфах сечением 2×2 м, диаметром 50 см (площадь 1962 см^2) при различной влажности. Глубина испытаний составила от 5 до 10 м от поверхности. Такое почти массовое полевое опробование щебенисто-глинистых оползневых накоплений, проведенное через 3–5 км по всему южному берегу на глубину до 10,0 м позволило статистически обработать около 700 показателей свойств и установить возможные значения величин прочности оползневых накоплений в трех интервалах влажности: до 10%, от 10 до 15% и при полном водонасыщении (21,5–25%).

На основе результатов статистической обработки сдвиговых испытаний была составлена таблица показателей прочностных свойств оползневых накоплений, которой успешно пользуются специалисты при выполнении инженерно-геологических изысканий на оползневых склонах ЮБК. Главным образом при расчетах устойчивости оползней.

В частности, при проектировании новых и реконструкции существующих зданий на территории пионерского лагеря Артек в 2015–2017 гг. (лагери «Степной», «Полевой», «Озерный»).

Общеизвестно, что оценка устойчивости склонов заключается в расчетах и сопоставлении отношения сил, удерживающих от смещения пород к силам сдвигающим, которое сравнивается с единицей (единица – условие предельного

равновесия, более единицы – склон устойчив, менее – неустойчив) при различных воздействиях кроме силы тяжести (сейсмические, перегрузка, подрезка и т.д.). Это так называемая нормативная устойчивость склона.

Однако, в строительной практике при освоении склонов (жилая застройка, строительство дорог и других коммуникаций) требуется не только знание устойчивости склона, но и временно́й характер поведения пород – скорость их смещения, время дол обрушения, а также величина возможной подвижки.

Такие задачи решаются путем постановки реалистических испытаний. Эти испытания проводились на основе теоретических разработок профессора А.Я. Будина по средствам применения полевой реологической установки изобретения автора (Авторское свидетельство № 1004525), а также разработанной им методики полевых работ.

Испытания проводились путем длительных сдвигов целиков грунта в шурфах на глубине до 5,0 м. Исследовались деформации ползучести в зависимости от смещения пород (объемную и контактную).

Первые исследования реологических свойств оползневых накоплений были выполнены на трех типичных оползнях ЮБК: Халымбашском, Воронцовском и Карасанском, находящихся на разных этапах оползневого процесса. Общая продолжительность всех испытаний – 1 828 часов.

В процессе исследований были определены следующие реологические характеристики: начальный порог ползучести, предел длительной прочности, порог установившейся ползучести и коэффициент вязкости.

Для оценки достоверности полученных реологических характеристик были выполнены прогнозные расчеты по методике А.Я. Будина, результаты которых сопоставились с наблюдаемыми оползневыми деформациями. Так скорость смещения пород Халымбашского оползня 5,8 см/год, реально наблюдаемая 6,6 см/год. Расчетная величина смещения Воронцовского оползня не превышает 0,32 м, по данным инструментальных наблюдений 0,4 м.

На одном из участков Волго-Балта исследовались озерно-ледниковые глины, слагающие борта канала, в которых были отмечены оползневые деформации, угрожающие значительному сужению судового хода. Исследования реологических характеристик этих глин и выполненные расчет определили время до обрушения откосов, что было своевременно предупреждено выполнением соответствующих мероприятий и обеспечило бесперебойную пропускную способность трассы канал.

Таким образом, хорошая сходимость данных натурных наблюдений и расчетных величин оползневых деформаций показала эффективность применения в полевых условиях методики определения реологических свойств грунтов. Кроме того, надежная работа полевой установки показала рациональность ее использования при реологических исследованиях.

Лосив В.М.

Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве», филиал «АИИС-Дальний Восток»,
г. Владивосток, dv@oaiis.ru

НОВАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ХАНКАЙСКОГО МАССИВА (ХМ) И СИХОТЭ-АЛИНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ СИСТЕМЫ (САСС) И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ СЕЙСМООПАСНОСТЬ ЮГА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Введение

Достоверная расшифровка процессов прошлого какой-либо территории позволяет более обоснованно говорить о возможном направлении их развития и, соответственно, о геологических предпосылках современного уровня ее сейсмической активности [5]. Это весьма актуально для юга Приморского края, т.к. эта часть его территории является наиболее обжитой и именно здесь находятся самые крупные города, включая городскую агломерацию г. Владивостока, г. Находку и др.

Методика исследований

Включает: 1. Разработку обоснованной фактическим материалом новой геодинамической модели зоны сочленения ХМ и САСС. 2. Определение в ее структуре зон долгоживущих сквозькоровых разломов. 3. Анализ распределения инструментальных и палеоземлетрясений относительно этих разломов. 4. Оценку возможного влияния сквозькоровых разломов на сейсмоопасность с учетом современной геодинамики региона.

Результаты исследований

Проработка всех данных о геологическом строении Южного Приморья и детальный структурно-формационный анализ развитых здесь, прежде всего, и имеющих принципиальное значение для районирования региона окраинно-континентальных вулканогенных, вулканогенно-терригенных, терригенных и карбонатных накоплений перми, триаса, юры и раннего мела с позиций аккреционно-террейновой тектоники плит позволили уточнить их принадлежность к ХМ или САСС. Это, в свою очередь, дало возможность впервые достоверно установить место прохождения и современный характер границы между этими главными структурами региона, разработать новую модель развития южного фланга зоны их сочленения, а также определить возможные направления и закономерности проявления здесь современных тектонических процессов (рис.).

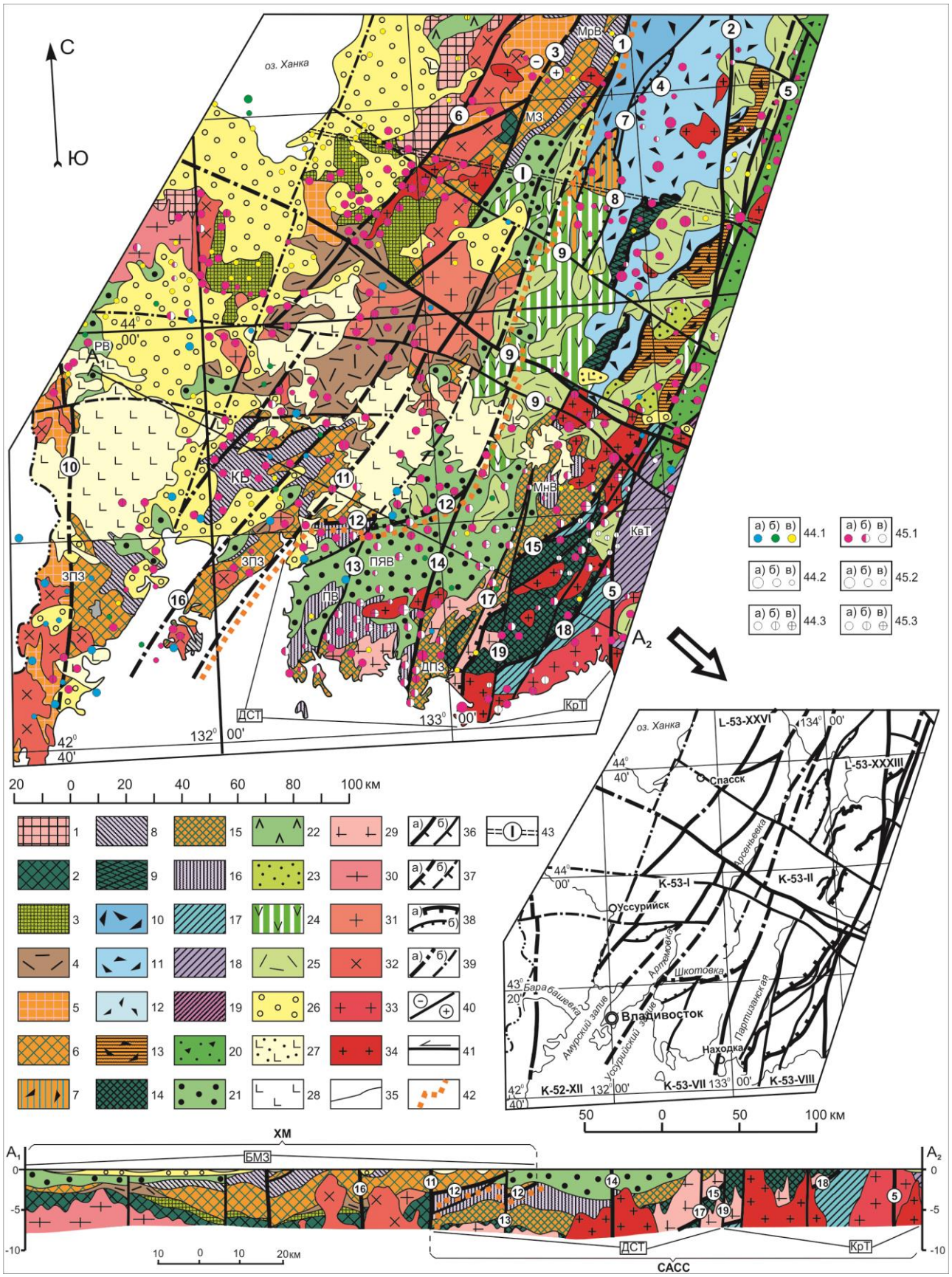


Рис. Структурно-геодинамическая схема и разрез южного фланга зоны сочленения ХМ и САСС* и размещение инструментальных и палеоземлетрясений на территории Южного Приморья: 1–33 – структурно-геодинамические комплексы (СГДК), структурно-

формационные комплексы (СФК) и образуемые ими структуры: 1–9 – СГДК ХМ: 1 – СФК раннепротерозойского салического фундамента, 2 – СФК позднепротерозойского мафического фундамента; 3–5 – СГДК наложенных континентально-рифтогенных структур: 3 – позднепротерозойско-раннепалеозойский раннерифтовый СФК (Спасская СФЗ – СЗ, Вознесенская СФЗ – ВЗ), 4 – ранне-среднепалеозойский позднерифтовый СФК вулканоструктур осевых частей рифта (Южно-Синегорская впадина); 5–8 – СГДК пермской активной континентальной окраины-островной дуги, нерасчлененный (Малиновская СФЗ – МЗ, Западно-Приморская СФЗ): 5 – на салическом фундаменте**; 6 – на мафическом фундаменте, 7 – то же, «надвинутые» на образования СГДК САСС и включаемые в ее состав; 8 – СФК синтрансформых (отраженных) континентальных рифтогенных прогибов (Марьяновская впадина – МрВ, Комаровская впадина – КВ); 9–19 – СГДК САСС: 9–13 – СГДК приконтинентальных акреционных зон скучивания: 9 – СФК позднепалозойского метаофиолитового основания зоны скучивания; 10–13 – Центральная СФЗ (средняя-поздняя юра): 10 – Хорско-Ариадненская подзона (сегмент), 11 – Самаркинская подзона (сегмент); 12 – Васильевская подзона (сегмент), 13 – Окраинский синседиментационный террейн; 14–16 – Дунайско-Сергеевский трансляционный террейн (фрагмент Сино-Корейской плиты): 14 – СГДК протоплатформ, СФК позднепротерозойского мафического фундамента, 15 – СГДК пермской активной континентальной окраины-островной дуги нерасчлененный (Дунайско-Партизанская СФЗ – ДПЗ); 16 – СФК синтрансформых (отраженных) континентальных рифтогенных прогибов (Петровская впадина – ПВ, Монакинская впадина – МнВ); 17–18 – трансляционные террейны СГДК приконтинентальных акреционных зон скучивания: 17 – Кривинский террейн (юра) – КрТ, 18 – Киевский террейн (средняя-поздняя юра) – КвТ, 19 – Верхоуссурийский террейн (средняя юра – ранний мел); 20 – СГДК внутриколлизионного прогиба (окраинного моря), Восточная зона – (ранний мел); 20–21 – СФК «pull-apart» впадин (готерив-сеноман): 21 – терригенно-угленосный (Партизанско-Яковлевская впадина), 22 – вулканогенно-терригенный (Алчанская впадина); 23 – СФК вторичного синколлизионного прогиба (альб) (Соколовский прогиб); 24 – СФК предвулканогенных межгорных впадин (альб-турон); 25 – СГДК активной континентальной окраины андийского типа – ВСВП (турон-даний), 26–28 – СГДК квазиплатформ (эоцен-квартер): 26–27 – СФК континентально-рифтогенных впадин (эоцен-миоцен): 26 – терригенно-угленосный, 27 – вулканогенно-терригенный; 28 – СФК платобазальтов (миоцен-квартер); 29–34 – интрузивные СФК: 29–33 – коллизионные: 29 – раннепалезойский плагиогранит-гранитовый, 30 – раннепалеозойский диорит-гранитовый, 31 – каменноугольный гранитовый, 32 – позднепермский габбро-диорит-гранитовый, 33 – раннемеловой гранодиорит-гранитовый; 34 – субдукционный позднемеловой гранодиорит-гранитовый; 35–39 – геологические границы: 35 – ненарушенные, 36–39 – разломы (а – главные, б – прочие): 36 – субвертикальные и крутопадающие с указанием направления падения, достоверные, 37 – то же, выделяемые по геофизическим данным и проявленные фрагментарно, 38 – пологопадающие с указанием направления падения, достоверные, 39 – разломы, перекрытые отложениями наложенных структур; 40–41 – перемещения блоков по разломам: 40 – вертикальные, 41 – горизонтальные; 42 – контур границы ХМ на плане; 43 – профиль ГСЗ: I – г. Спасск-Дальний-бух.Зеркальная; 44.1–44.3 – инструментальные землетрясения: 44.1 – глубина очага: а) – глубокофокусные (100-600км), б) – коровые (1–100 км), в) – глубина не установлена; 44.2 – магнитуда: а) – сильные (6,5<M<8), б) – средней силы (5<M<6,5), в) – микроземлетрясения (K<10) и слабые (M<5); 44.3 – интенсивность: а) – 7 баллов, б) – 8 баллов, в) – 9 баллов; 45.1–45.3 – палеоземлетрясения: 45.1 – глубина очага рассчитанная: а) – III тип (>20км), б) – II тип (10-20км), в) – I тип

(<20км); 45.2 – магнитуда рассчитанная: а) – сильные (М>6,3), б) – средней силы (5,2<М<6,3), в) – слабые (4,1<М<5?2); 45.3 – интенсивность рассчитанная: а) – 7 баллов, б) – 8 баллов, в) – 9 баллов;

Разломы, показанные на схеме: 1 – Арсеньевский, 2 – Меридиональный, 3 – Крыловский, 4 – Самаркинский, 5 – Центральный Сихотэ-Алинский, 6 – Чернореченский (Западно-Сихотэ-Алинский), 7 – Лесогорский, 8 – Полынихинский, 9 – Спасско-Валентиновская группа разломов, 10 м Западно-Приморский, 11 – Уссурийский, 12 – Стеклянухинский, 13 – Аскольдовский, 14 – Западно-Партизанский, 15 – Фроловский, 16 – Муравьевский, 17 – Партизанский, 18 – Кривинский, 19 – Ратный.

* При составлении схемы использованы материалы всех ГС-50, ГГК-200, ГГК-1 000, таматических и научных работ региона.

** Типы фундаментов показаны на схеме и на разрезе по результатам интерпретаций геофизических материалов, выполненных В.К. Клюевым и С.Н. Антиповой.

*** Инструментальные и палеоземлетрясения нанесены по данным А.В. Олейникова (2009).

ХМ, представляющий собой осколок Северо-Восточного выступа Китайской платформы, является сложной гетерогенной структурой, основу которой образуют блоки дорифейского гранитоидного кристаллического фундамента. Эти блоки разделены разломными зонами субширотного и северо-западного простирания, к которым приурочены позднепротерозойско-среднепалеозойские континентально-рифтогенные структуры. Одна из таких структур, представленная кембрий-силурийскими отложениями Спасской и Вознесенской структурно-формационных зон (СФЗ), и девон-раннекарбоновыми накоплениями наложенной на них Южно-Синегорской вулканической впадины занимает значительную часть территории Южного Приморья.

К северу от нее окраина ХМ перекрыта пермскими отложениями, отвечающими формациям нерасчлененного структурно-геодинамического комплекса (СГДК) активной континентальной окраины-задугового бассейна – дуги Малиновской СФЗ. На них наложены позднетриасовые накопления структурно-формационного комплекса (СФК) Марьяновского отраженно-рифтогенного прогиба, возникшего как отражение трансформного скольжения, происходившего вдоль Палеоханкайской континентальной окраины. С востока к гетерогенной окраине ХМ примыкают резко контрастные юрские-раннемеловые накопления СГДК аккреционно-коллизионной зоны скучивания Центральной СФЗ САСС, что позволяет здесь уверенно устанавливать границу между ХМ и САСС.

Южнее отложения перми, триаса и юры этого же типа, распространены на территории от границы с КНР до Центрального Сихотэ-Алинского разлома (ЦСАР). При этом они существенно различаются в разных ее частях.

Пермские накопления от границы с КНР до западного побережья Уссурийского залива сходны с развитыми в Малиновской СФЗ, и также отвечают формациям нерасчлененного СГДК активной континентальной

окраины-задугового бассейна-островной дуги. Ими здесь сложена Западно-Приморская СФЗ, состоящая из Пограничной, Барабашской и Муравьевской структурно-формационных подзон (СФПЗ), различающихся формационными наборами, которые определены особенностями морфотектонических условий их формирования. Основанием для них, вероятно, служит раздробленная краевая часть ХМ на переходе к зоне его сочленения с расположенной южнее Сино-Корейской плитой (СКП), а выше залегают триасовые и нижне-среднеюрские накопления Комаровской отраженно-рифтогенной впадины.

Пермские отложения, развитые к востоку от Уссурийского залива, соответствуют формациям нерасчлененного СГДК активной континентальной окраины андийского типа: окраинно-континентальной вулканической дуги-преддугового бассейна-недоразвитой островной дуги, которыми сформирована Дунайско-Партизанская СФЗ, состоящая из Дунайской и Партизанской СФПЗ. Для них основанием выступают позднепротерозойские, т.н. «сергеевские», метагабброиды. Выше залегают триасовые, юрские и юрско-раннемеловые накопления Петровской, Трудненской и Монакинской впадин. Состав и временные интервалы формирования этих накоплений в разных впадинах заметно различаются.

Существенные отличия состава, строения, временных интервалов формирования и геодинамической природы накоплений Дунайско-Партизанской СФЗ и наложенных на них впадин от отложений Западно-Приморской СФЗ и Комаровской впадины, которые заведомо находятся в положении «in situ» относительно окраины ХМ, служат основанием для вывода о том, что они не могут рассматриваться как сформированные на этой же окраине, и что вместе с метагабброидным основанием они являются частью чужеродного блока – Дунайско-Сергеевского террейна (ДСТ).

Участвующие в строении этого террейна отложения Партизанской СФПЗ ранее включались в Партизанско-Окраинскую СФПЗ Центральной СФЗ САСС [4], при том, что, развитые в поле последней, «окраинские» структуры отличаются от «партизанских», как составом, так и, прежде всего, тем, что они представляют собой фрагменты Окраинского синседиментационного террейна, который был захоронен в среднеюрском-раннемеловом матриксе Самаркинской СФПЗ Центральной СФЗ и впоследствии деформирован вместе с ним, в то время как никаких данных о присутствии олистолитов «партизанских» в средне-позднеюрских олистостромовых отложениях структур, смежных с Партизанской СФПЗ, нет. Все это однозначно указывает на необоснованность объединения «окраинских» и «партизанских» структур.

Западная граница образований ДСТ на южном участке проходит по Уссурийскому разлому (11), к которому здесь приурочена впадина одноименного залива. Севернее, в верховьях р. Артемовки отложения Муравьевской СФПЗ, слагающие западное крыло этого разлома, присутствуют и в его восточном крыле. В нем они распространены на юг до долины р. Шкотовки, где широтным Стеклянухинским разломом (12) отделены от

развитых южнее триасовых накоплений Петровской впадины ДСТ. В верховьях р. Шкотовки этот разлом срезан близмеридиональным Аскольдовским разломом (13), восточное крыло которого сверху сложено меловыми накоплениями Партизанско-Яковлевской впадины, наложенной и на окраину ХМ, и на ДСТ. Так как по Аскольдовскому разлому установлены только вертикальные смещения, то, вероятно, отложения Муравьевской СФПЗ продолжаются в погребенном виде и к востоку от него.

Установлено, что Уссурийский разлом на южном участке проявлен как сдвиг, а севернее только как взброс. Это позволяет предположить, что образования ДСТ могли появиться в составе структур Южного Приморья, в результате перемещения с юга вдоль этого разлома выступа СКП на несколько сотен километров и поддвигания его по Стеклянухинскому разлому под структуры Муравьевской СФПЗ с образованием ими в восточном крыле Уссурийского разлома своеобразного козырька над образованиями выступа.

Т.к. восточнее Аскольдовского разлома только у Западно-Партизанского установлены явные признаки левосдвиговых смещений, то, вероятно, именно он является восточным ограничением этого козырька. Его размеры уменьшились, а площадь выхода образований ДСТ увеличилась в результате интенсивного воздымания в палеогене территории Южного Приморья к югу от осевого нарушения долгоживущей зоны Спасско-Валентиновской группы разломов, которая развилась из упоминавшейся выше позднепротерозойско-среднепалеозойской континентально-рифтогенной структуры. Воздымание, предположительно, явилось следствием процессов коробления, сопутствовавших интенсивным меловым левосдвиговым смещениям в поле Палеоазиатской континентальной окраины, которое, вероятно, на начальных этапах сопровождалось внедрением ранне- и позднемеловых гранитоидных интрузий. То, что последние в больших количествах выведены на поверхность в поле ДСТ, позволяет оценить масштабы воздымания в несколько километров, что является еще одним, очень важным, но практически никем не учитываемым, аргументом против объединения «партизанских» и «окраинских» накоплений в составе Партизанско-Окраинской СФПЗ [4], или Сергеевского террейна (Сергеевско-Окраинского аллохтонного комплекса) [1], а породных комплексов Центральной СФЗ, и Кривинского террейна [3] в составе Самаркинского террейна, а также против представления Сергеевского террейна в виде аллохтона на поверхности Самаркинского.

Так как самыми молодыми в ДСТ являются юрско-раннемеловые (ранний берриас) накопления Петровской впадины, а самые древние, перекрывающие его отложения, датируются поздним берриасом – ранним валанжином, то время его трансляции с юга и аккреции к окраине ХМ и Центральной СФЗ САСС ограничивается очень узким временным интервалом – средним берриасом. В результате ДСТ (выступ СКП) вошел в состав САСС, скорее всего, вместе с Кривинским террейном, поддвинутым под него (аккретированным) «всухую»

по одноименному разлому, что сопровождалось формированием на их контакте Шайгинского комплекса динамометаморфитов, датируемого берриасом.

Таким образом, в соответствии с изложенной выше моделью развития зоны сочленения ХМ и САСС, граница между этими структурами на ее южном фланге проходит по Уссурийскому, далее по Стеклянухинскому и Западно-Партизанскому (14) разломам. При этом, Уссурийский разлом, вероятно, является западной ветвью Арсеньевского разлома, а Западно-Партизанский – продолжением его восточной ветви.

Анализ горизонтальных и вертикальных перемещений, приведших к такому характеру границы между ХМ и САСС, позволяет прийти к выводу, что они являются следствием реализации мощного сжатия, существовавшего на стыке Палеоазиатской континентальной окраины и Палеотихоокеанской плиты, вызванного давлением со стороны последней, обусловленным глубинными процессами, что указывает на глубинную природу всех пограничных нарушений.

Результатом этого сжатия, интенсивность и формы реализации которого неоднократно менялись по ходу развития региона, стало формирование к концу раннего мела новой континентальной окраины Азии, представленной Сихотэ-Алинской аккреционно-коллизионной покровно-складчатой террейновой системой, включавшей и ансамбль блоков Палеояпонии. В позднем мелу-раннем палеогене (раннем дании) на его фоне был сформирован Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс.

Предположительно с позднего дания на него наложился удаленный эффект Индо-Евразийской коллизии, ставший причиной интенсивных правосдвиговых смещений по разломам Хоккайдо-Сахалинской, Цусимской [6] и Приморской, включающей ЦСАР, Уссурийский и др. систем, которые привели к формированию в эоцене-миоцене [6] впадины Японского моря. Возникшие при этом условия растяжения в Южном Приморье проявились в образовании широтных сбросов со ступенчатым опусканием южных блоков. Тогда же, по-видимому, произошло отторжение блока ДСТ от выступа СКП.

В плейстоцене-голоцене условия сжатия возобновились и проявились на юге Приморья через левосторонние сдвиги, взбросы, взбросо-сдвиги и надвиги со смещениями в десятки и сотни метров, к которым приурочены аномалии радона и гелия [2].

Их современная реализация по разломам, пограничным между ХМ и САСС, и по сопряженным с ними нарушениям может привести к серьезным отрицательным последствиям. Особенно, если учесть, что тектонический блок п-ова Муравьева-Амурского, на котором расположен г. Владивосток, зажат между Уссурийским и параллельным ему Муравьевским (16) разломами и что в зоне влияния Западно-Партизанского и Партизанского (17) разломов находится г. Находка, а все эти разломы по комплексу признаков отнесены к активным [3, 5]. В пользу этого говорит и заметная приуроченность к зонам Западно-Партизанского и Стеклянухинского разломов, в т.ч. к погребенной части

последнего, в меньшей степени к Уссурийскому и Аскольдовскому разломам, палеоземлетрясений юга Приморья, а также просматриваемая, хоть и менее отчетливая, приуроченность к ним отдельных, зафиксированных здесь инструментальных землетрясений.

Эта реализация может происходить через смещения и по сдвигам, и по связанным с ними трещинам скалывания, а также через вертикальные подвижки, как по одним и другим, так и по многочисленным существующим субширотным разломам в связи с их возможной активизацией при процессах коробления, производных от сжатия.

Современная активность первых в районе г. Владивостока подтверждается наличием эманаций радона, предположительно, связанных с раскрытием трещин скалывания, сопряженных с нарушением, субпараллельным Уссурийскому разлому. Эти эманации с плотностью потока радона более 400 мБк/см^2 были выявлены в 2008 г. при производстве комплексных инженерных изысканий под головной корпус ДВФУ и послужили одним из оснований для изменения его местоположения относительно первоначально выбранного.

Активность вторых практически не изучена, при том, что именно к ним приурочены являющиеся одними из наиболее застроенных территорий г. Владивостока долины рек Первая и Вторая Речка, р. Объяснения. Актуальность ее изучения усиливается тем, что в долинах этих рек находится ряд потенциально опасных объектов, таких как, к примеру, Первореченская нефтебаза, расположенная в приустьевой части р. Первая Речка, на сочленении широтного нарушения, проходящего вдоль ее долины, и Муравьевского разлома, а также увеличением объемов высотного строительства в условиях расчлененного горного рельефа на склонах их долин. Воздействие на эти опасные объекты и высотные здания даже незначительного сейсмического импульса, учитывая очень высокую интенсивность проявления здесь разломной тектоники, может иметь весьма серьезные отрицательные последствия.

В пользу достаточно высокой вероятности такого импульса, помимо сказанного выше о распределении палео- и инструментальных землетрясений, говорит также то, что именно сюда направлена имеющая северо-западное простирание полоса Нампонских глубокофокусных землетрясений (М.Г. Органов, 1958, Н.М. Органова, 1980), которая рассматривалась Ч.Ф. Рихтером (1963) как разлом Минно-Овари, а Вадати (1956) была выделена, как «поперечная зона глубоких толчков» [5].

Заключение

Представленная новая модель зоны сочленения ХМ и САСС является на сегодня наиболее обоснованной фактическим материалом. Имеющиеся данные об активности разломов, пограничных между ХМ и САСС, а также анализ связи с ними инструментальных и палеоземлетрясений Южного Приморья

позволяют по-новому взглянуть на потенциальную сейсмопасность этой, наиболее обжитой, части территории Приморского края, особенно, с учетом возможной реализации, возобновившихся в четвертичное время, напряжений сжатия.

Список литературы

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под. ред. А.И. Ханчука // Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
2. Коковкин А.А. Эоцен-голоценовая эволюция Синегорской рудно-магматической системы (Южное Приморье) // Региональная геология и металлогения. 2014. № 59. С. 80–88.
3. Лосив В.М. Оценка сейсмичности Приморья и региональная тектоника // Инженерные изыскания. 2015. № 14. С. 24–35.
4. Назаренко Л.Ф., Бажанов В.А. Геология Приморского края. Препр.: 1, 2, 3 ч. // Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. С. 68, с. 28, с. 58.
5. Олейников А.В., Олейников Н.А. Геологические признаки сейсмичности и палеосейсмогеология Южного Приморья // Владивосток: Дальнаука, 2001. 185 с.
6. Павлюткин Б.И. Голозубов В.В. Палеоботанические свидетельства времени возникновения Японского моря // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2010. Вып. 16. № 2. С.19–26.

Латыпов А.И.[1], Жаркова Н.И.[2], Нуриев И.С.[1], Хузин И.А.[1], Яббарова Е.Н.[1]

[1] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, г. Казань, airatlat@mail.ru
[2] École Polytechnique de Montréal, Département des génies civil, géologique et des mines, г. Монреаль, Канада

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ г. КАЗАНИ

В настоящее время на территории поселков Аки, Нагорный, Дербышки, Карьер и Царицыно, расположенных в северо-восточной части города Казани, активно происходят процессы образования карстово-суффозионных провалов, воронок, понижений и т.п. Расширение границ города и, как следствие, увеличение техногенной нагрузки на геологическую среду обусловили необходимость изучения проблемы ее карстово-суффозионной неустойчивости в этой части.

Исследуемая территория располагается в пределах Казанского карстового района, который входит в состав Волго-Вятской карстовой области в пределах Вятско-Казанских поднятий, по геоморфологическим особенностям карст относится к долинному и склоновому подтипам.

На территории имеют место как собственно карстовые, так и карстово-суффозионные процессы, характеризующиеся несколькими карстовыми котловинами и провалами (как правило, очень старыми), сотнями карстово-суффозионных воронок и блюдцеобразных понижений (в целом относительно более молодыми).

Развитию данных процессов способствуют следующие благоприятные геологические условия:

1. *Наличие растворимых карбонатных пород*, – доломитов и известняков казанского яруса средней Перми, положение в разрезе, состав и структурно-текстурные особенности которых детально описаны в [1].

2. *Тектонические условия*, определяющие повышенную трещиноватость массивов горных пород, а, следовательно, специфические гидрогеологические условия. По данным [1] и [2] исследуемая территория расположена на западном крыле высокогорской плакантиклинали, практически на границе зон отрицательных и положительных новейших морфоструктур, а также в области развития серии региональных разломов, что хорошо коррелируется с положением в пространстве многих карстовых котловин в северо-восточной части города.

3. *Наличие глубокого предакчагыльского эрозионного вреза* и системы плиоценовых долин к западу от исследуемой территории. Палеодолина имеет ассиметричное строение – относительно пологий западный борт и значительно более крутой – восточный, в пределах которого и расположены участки карстовых проявлений. С момента заложения этой палеодолины и начинается кайнозойская «карстовая история» территории Приказанского района: в

плиоцене происходит активное развитие карста на крутых склонах и под днищем волжской долины и её притоков. В результате значительно сокращается мощность сульфатных пород сакмарского яруса в прирусловой части [3], а в приводораздельных и склоновых частях формируется своеобразная кора выветривания, представленная карбонатной брекчией и мукой (совокупное влияние процессов растворения, суффозионного выноса и обрушения).

4. *Процессы выветривания*, о которых упоминается выше, привели к формированию мощной толщи карбонатного элювия, очень неоднородного по минеральному, гранулометрическому составу и строению [4]. Процесс его формирования проходил в несколько этапов: Первый этап начался в доакчагыльское время (заложение палеодолины). Начиная с эоплейстоцена (второй этап), бывшее левобережье палеодолины активно подвергается размыву, поскольку закладывается новая долина р. Волги, – здесь полностью размываются карбонатно-терригенные отложения уржумского яруса, что приводит к повторной активизации процессов выветривания (рост дезинтеграции вещества в толще элювия, наращивание мощности коры выветривания). Третий этап приходится на начало формирования долин малых рек Нокса и Киндерка (поздний неоплейстоцен), – на этом этапе размываются аллювиальные отложения нижнего неоплейстоцен – эоплейстоцена, формируются склоны, т.е. в очередной раз складываются условия, благоприятные для роста трещиноватости растворимых пород, а также формирования карбонатного элювия (рис. 1).

5. *Небольшая мощность покровных отложений и их тип*. При заложении долин р. Нокса и Киндерка (поздний неоплейстоцен), в тыловых частях коренных склонов формируются участки с неглубоким залеганием кровли карбонатных пород (как правило не более 1,5–15,0 м). При этом сохранившиеся горизонты нижнечетвертичных-эоплейстоценовых отложений зачастую характеризуются хорошими фильтрационными свойствами (пески разной крупности, супеси, редко суглинки), что значительно увеличивает риск карста и суффозии.

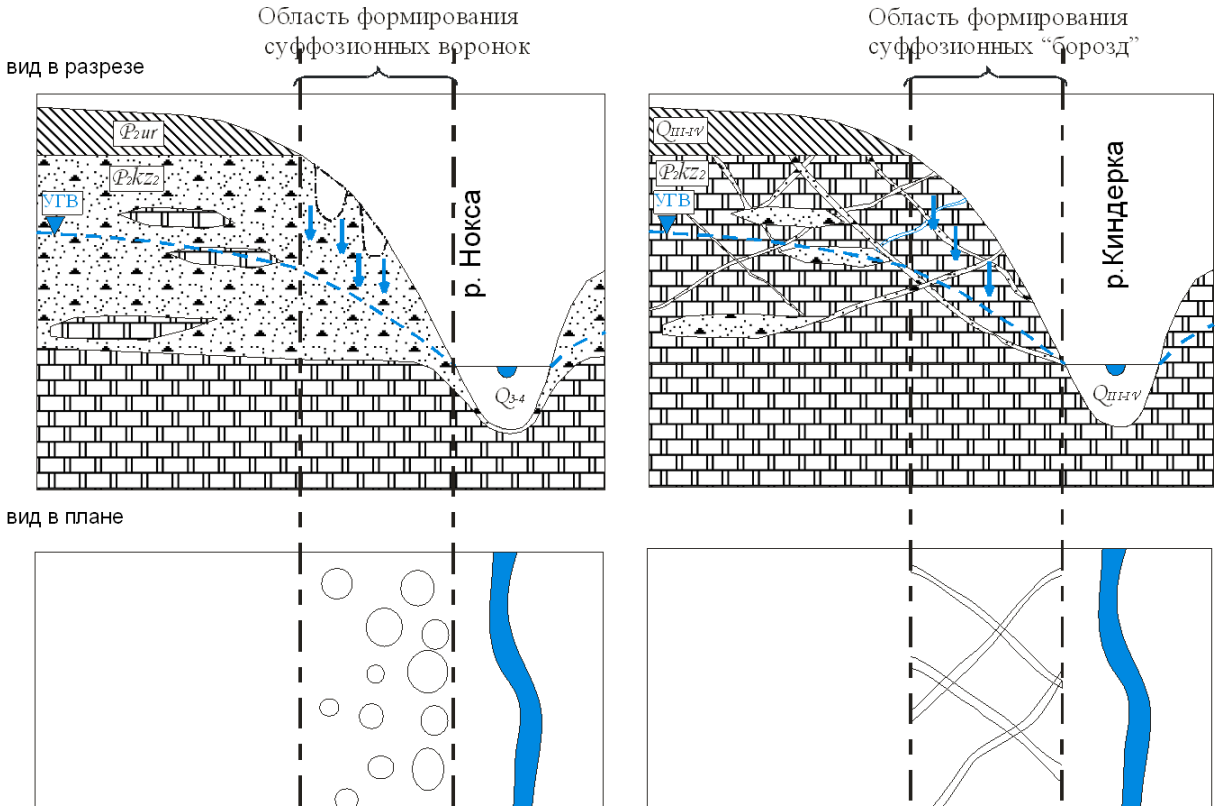


Рис. 1. Схема развития карстово-суффозионных воронок и борозд в долинах рек Киндерки и Ноксы

6. *Гидрогеологические условия*, способствующие активизации карстовых и суффозионных процессов. Первые от поверхности горизонты верховодки вскрываются уже на небольших глубинах. Разгрузка грунтовых вод происходит либо в глубинные области выноса в разуплотненных карбонатных породах (вертикальная фильтрация), либо в борта оврагов, котловин, воронок (горизонтальная фильтрация), что однозначно провоцирует активизацию суффозионных процессов. Более того, исследования агрессивности вод верховодки по отношению к минералам, слагающим толщу карбонатного элювия, показывают, что воды верховодки часто агрессивны по отношению к кальциту. Поскольку в составе карбонатно-глинистой муки в подавляющем большинстве проб встречается кальцит можно предположить, что имеет место не только механический вынос мелкообломочного материала, но и его растворение.

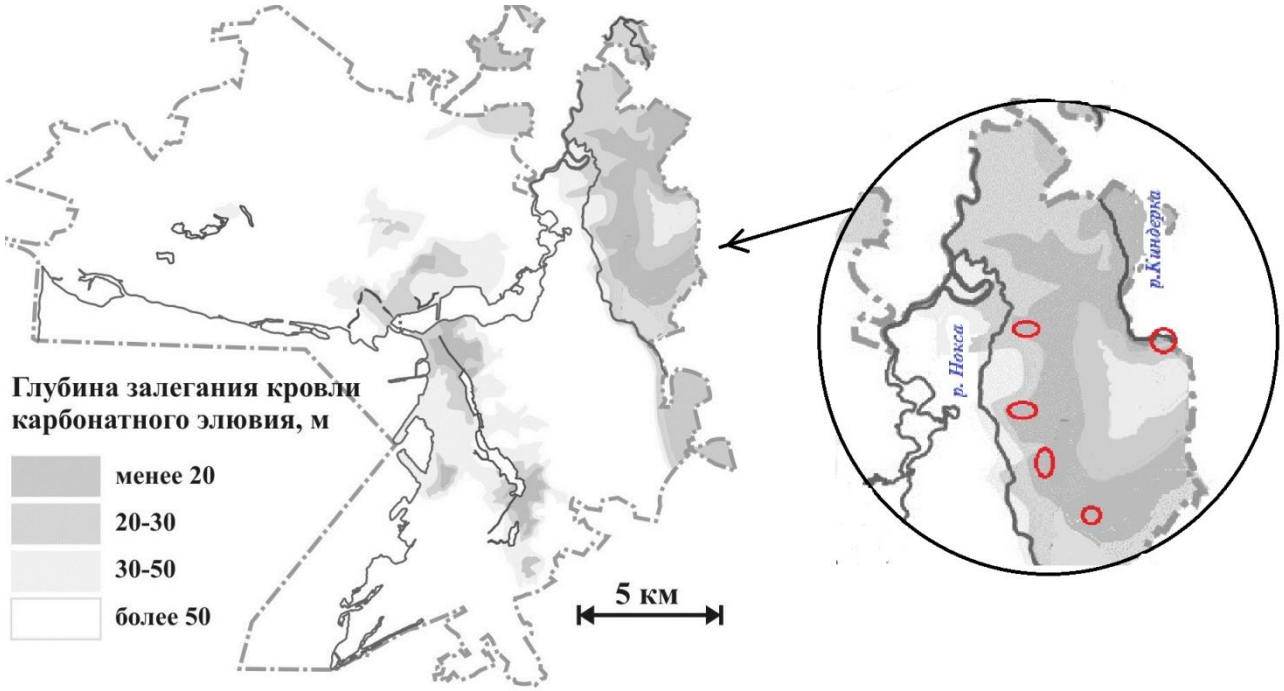


Рис. 2. Карта глубин залегания кровли карбонатного элювия (красными кругами показаны области активизации карстово-суффозионных процессов)

7. *Строение выветрелой толщи*. Тем не менее, наличие карбонатного элювия, его залегание, близкое к поверхности, наличие области выноса и пр., перечисленное выше не являются достаточными условиями для развития карстово-суффозионных процессов. На рис. 2 отчётливо видно, что площадь территории с неглубоким залеганием элювия значительно выше, чем суммарная площадь активного проявления процесса. По всей видимости, ключевую роль также играет и строение выветрелой толщи. Сокращение доли карбонатной муки и брекчии в разрезе коры выветривания, наличие мощных прослоев и линз элювиальных глин, их значительная протяжённости, часто препятствуют формированию области высоких напорных градиентов в присклоновой части речной долины, а, следовательно, и развитию суффозии. Это утверждение хорошо иллюстрирует следующий пример. На юге исследуемой территории в непосредственной близости друг от друга расположены два участка, схожих по геологическому строению (глубина залегания кровли карбонатного элювия от 1,5 до 10 м, пологий коренной склон р. Нокса, расчленённый оврагами и балками, супесчано-суглинистая покровная толща, более чем 30 метровая толща элювия, расположенная преимущественно в зоне аэрации). Единственное отличие – разный тип строения коры выветривания. В случае участка «Царицыно» толща элювия сложена более чем на 75% карбонатной мукой и карбонатной брекчией, прослои и линзы глин редки и не имеют большой протяжённости. Как следствие, здесь наблюдается максимальная для городской территории плотность карстово-суффозионных форм – 1024 шт/км^2, ежегодно формируются до десяти свежих провалов. На участке «Константиновка» толща элювия характеризуется иным строением: карбонатная мука и брекчия, как

правило, имеют подчинённое значение – их доля не превышает 25%, основная часть коры выветривания – среднепермские выветрелые глины, залегающие в виде протяжённых мощных прослоев. На поверхности участка не выявлены ни воронки, ни блюдцеобразные понижения.

Список литературы

1. Гидрогелогические и инженерно-геологические условия города Казани / под научн. ред. А.И. Шевелева. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2012. 236 с.
2. Глубинный карст и современные движения земной поверхности в Татарстане / К.М. Мирзоев, В.П. Степанов, К.М. Мирзоев, В.П. Степанов, Н.С. Гатиятуллин Н.С., Е.А. Тарасов, Р.Н. Гатиятуллин, П.И. Кашуркин, В.А. Кожевников // Георесурсы. 2006. № 1 (18). С. 44–47.
3. Малышева О.Н., Нелидов Н.Н., Соколов М.Н. Геология района г. Казани. Казань: Изд-во Казанского университета, 1965. 120 с.
4. Latypov A.I., Zharkova N.I., Mouraviev F.A. Dispersed weathering products of carbonate rock: Features and formation conditions from the construction’s point of view (by the example of Kazan, Russia) // Global View of Engineering Geology and the Environmental: proceeding of the international symposium and 9th Asian regional conference of IAEG, Beijing, China, 2013. P. 891–896.

Аникеев А.В.

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, anikeev_alex@mail.ru

ОБ УЧЕТЕ РАЗРЫХЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОЦЕНКЕ ПРОВАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ И ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬСТВА В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ

Разрыхление покровной толщи закарстованных массивов – это один из эффектов самоорганизации геологической среды. Здесь в явном виде проявляется справедливость принципа Ле Шателье–Брауна, согласно которому внешнее воздействие на находящуюся в равновесии систему вызывает развитие в ней процессов, стремящихся ослабить это воздействие. Системой в данном случае служит грунтовая толща, а внешним воздействием – появление полости в ее подошве.

Грунты, разрушаясь над полостью, увеличиваются в объеме и, если полость мала, заполняют ее, а на границе области деформирования подпирают («подбучивают» – по выражению горных инженеров) ненарушенную часть покровной толщи, не давая процессу развиваться дальше. Если же полость велика, то на земной поверхности появляется воронка, но только после того, как эта область, которую с полным правом можно назвать и областью выноса и разуплотнения грунтов, достигнет этой поверхности.

Отсюда следует, что, зная начальную и конечную пористость грунтов или коэффициент их разрыхления, мы можем ответить на вопрос, появятся или не появятся карстово-суффозионные воронки на участке изысканий, даже если они в этом районе отсутствуют. Для этого нужно сопоставить количество удаленного из покровной толщи материала с аккумуляционной емкостью закарстованных пород, то есть их способностью принимать и накапливать несвязные и разрушенные связные грунты. В случае, если воронка обязательно появится, можно оценить и вероятность того, будет ли она воронкой провала или воронкой оседания.

Понятие «аккумуляционной емкости» предполагает зависимость этой характеристики от целого комплекса условий и факторов, в том числе минерального состава, трещиноватости и растворимости пород, режима подземных вод и интенсивности техногенного воздействия. Отождествление аккумуляционной емкости с объемом отдельной карстовой полости справедливо далеко не всегда, но главное – оно не способствует постановке и решению проблемы количественной оценки этого очень важного, если не самого важного, показателя устойчивости закарстованных территорий и опасности провалообразования.

С точки зрения инженера-геолога главная особенность строительства Нижегородской атомной станции (НИАЭС) заключается в том, что все ее объекты расположены на территории развития покрытого сульфатно-карбонатного карста. В результате инженерно-геологических изысканий

выделена площадка размещения основных сооружений НИАЭС, где поверхностные формы карста отсутствуют, а мощность твердых глинистых грунтов, перекрывающих закарстованные породы, максимальна. Установлено также, что скорость растворения пород в зоне затрудненного водообмена крайне мала. В этих условиях, как показывают расчеты, основанные на сопоставлении аккумуляционной емкости закарстованного массива с объемом области разрыхления покровной толщи, площадка характеризуется 3-х–4-х кратным запасом устойчивости.

При использовании рассмотренного в докладе подхода к оценке устойчивости массивов пород в карстовых районах, в отличие от подработанных территорий, целесообразно ориентироваться на максимальные значения коэффициента первичного разрыхления пород. В противном случае прогнозируемая устойчивость массива окажется неоправданно заниженной.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-00125).

Живаев А.А., Идрисов И.Х.

ООО «НПП «Геотек», г. Пенза, info@npp-geotek.ru

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ В РЕЗОНАНСНОЙ КОЛОНКЕ

Введение

Модуль сдвига G и коэффициент демпфирования ξ грунтов являются основными характеристиками для оценки сейсмического отклика и расчета динамического взаимодействия конструкций с основанием [2]. Указанные характеристики могут быть получены как полевыми, так и лабораторными методами. Среди лабораторных методов по определению модуля сдвига G и коэффициента демпфирования ξ эталонным считается метод динамических испытаний грунтов в резонансной колонке [1] или кратко – в резонансной колонке.

Впервые резонансная колонка для испытаний дисперсных грунтов была применена японским исследователем Iida в 1937 году. Позже значительный вклад в развитие метода внесли Hardin, Drnevich и другие.

По ГОСТ Р 56353-20 испытания в резонансной колонке выполняются для двух целей:

1. Определение величин скорости прохождения поперечных волн V_S, модуля сдвига G, коэффициента демпфирования ξ в диапазоне деформаций сдвига от 10^{-6} до 10^{-3}.
2. Сейсмическое микрорайонирование.

Классические испытания грунтов в резонансной колонке предполагают следующее. Образец грунта цилиндрической формы (сплошной или полый) помещается в камеру осесимметричного трехосного сжатия с возможностью бокового расширения грунта. После завершения стадий водонасыщения и консолидации выполняют серию динамического нагружения крутящим моментом одного торца образца, при этом другой торец остаётся неподвижным (рис. 1). При каждом значении амплитуды крутящего момента выполняется нагружение в диапазоне частот, необходимом для фиксации резонанса – частоты, для которой амплитуда деформаций сдвига наибольшая для заданного крутящего момента. Амплитуда крутящего момента постепенно увеличивается таким образом, чтобы для резонансных частот величина деформации сдвига γ изменялась от 10^{-6} до 10^{-3}. Таким образом, в результате испытаний получается кривая зависимости модуля сдвига G от величины деформации сдвига γ и соответствующая кривая коэффициента демпфирования ξ.

В ГОСТ Р 56353-20 приведена следующая ниже схема нагружения образца.

Рис. 1. Принципиальная схема нагружения образца по ГОСТ Р 56353-20.

Стандарты

В настоящее время существуют следующие стандарты, регламентирующие испытания в резонансной колонке:

1. ГОСТ Р 56353-20. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов (раздел 7).
2. ASTM D 4015. Standard Test Methods for Modulus and Damping of Soils by the Resonant-Column Method.

Цели испытаний по стандартам ГОСТ и ASTM в области крутильного нагружения идентичны – это определение модуля сдвига G и коэффициента демпфирования ξ. Стоит отметить, что стандарт ASTM содержит дополнительные требования по варианту осевого нагружения образца для определения модуля упругости и соответствующего коэффициента демпфирования. Однако современные технические (для практических работ изыскателей) образцы резонансных колонок реализуют из динамического нагружения только крутильное нагружение.

Основы метода

Метод лабораторных испытаний в резонансной колонке основан с одной стороны на решении дифференциальных уравнений, описывающих гармонические колебания стержня (продольных и крутильных), и с другой стороны – на решении дифференциальных уравнений, описывающих распространение упругих продольных P и поперечных S волн в объеме тел.

На рис. 2 показана модель колеблющегося стержня (из работы [1]) – системы, состоящей из образца и части прибора, создающей крутильные колебания (активной плиты). В зарубежной литературе такая схема резонансной колонки называется «fixed-free».

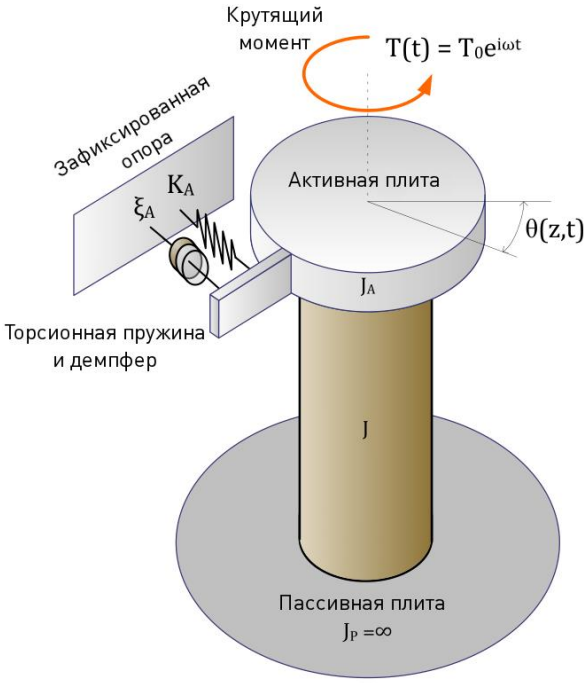


Рис. 2. Модель системы образец-прибор

Следует отметить, что в процессе испытаний измеряется отклик системы, включающей в себя образец и часть прибора. Поэтому в общем случае указанная модель включает в себя следующие параметры образца и прибора:

J – полярный момент инерции масс образца;
ρ – плотность образца;
G – модуль сдвига образца;
h – высота образца;
ξ – коэффициент демпфирования образца;
J_A – полярный момент инерции масс активной плиты прибора;
K_A – жёсткость при кручении активной плиты прибора;
ξ_A – коэффициент демпфирования активной плиты прибора;
T – крутящий момент;
Θ – угол закручивания.

Для учёта вклада прибора в отклик системы образец-прибор установка резонансной колонки калибруется. В ходе калибровки определяются полярный момент инерции масс активной плиты прибора J_A, угловая резонансная частота активной плиты прибора ω_A, коэффициент демпфирования активной плиты прибора ξ_A.

Решением дифференциального уравнения, описывающего указанную выше модель, является следующее уравнение относительно неизвестной скорости распространения поперечных волн V_S [1]:

$$\frac{\omega_r h}{V_S} tg\left(\frac{\omega_r h}{V_S}\right) = \frac{J}{J_A} \cdot \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\omega_A}{\omega_r}\right)^2\right]}, \quad (1)$$

где ω_r – угловая резонансная частота системы; ω_A – угловая резонансная частота активной плиты прибора (без образца), в случае отсутствия у активной плиты жесткости при кручении равняется 0.

Результатом решения уравнения (1) является величина скорости, по которой определяется модуль сдвига для заданного уровня деформаций сдвига [5]:

$$G = \rho V_S^2. \quad (2)$$

Резонансная частота системы определяется из экспериментальных данных, как показано на рис. 3.

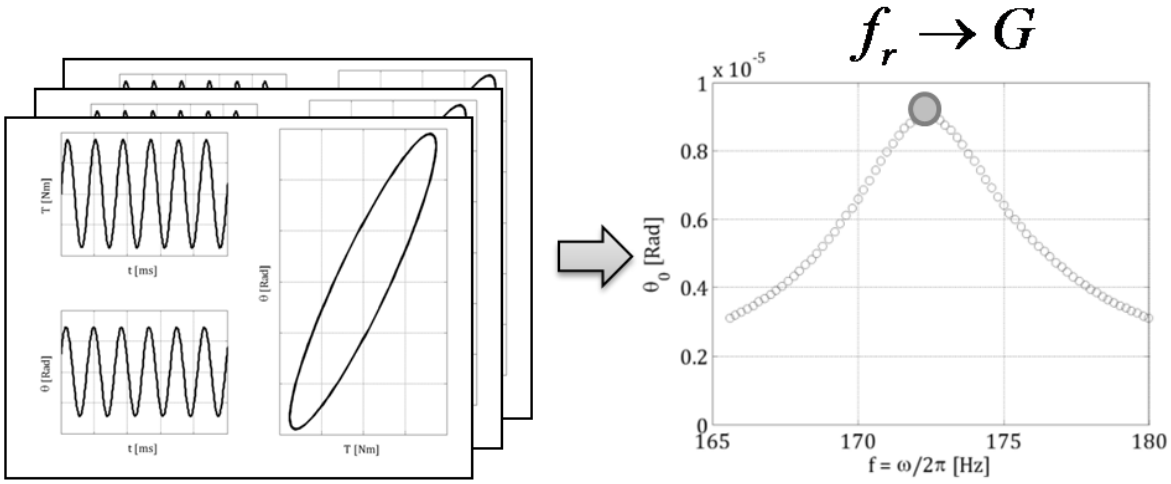


Рис. 3. Определение резонансной частоты системы

Демпфирование системы согласно ASTM может определяться двумя методами – из графика деформаций сдвига затухающих свободных колебаний, вызванных заданной начальной деформацией сдвига (рисунок 4, а), или из графика зависимости касательных напряжений от деформации сдвига при вынужденных гармонических колебаниях (рис. 4, б).

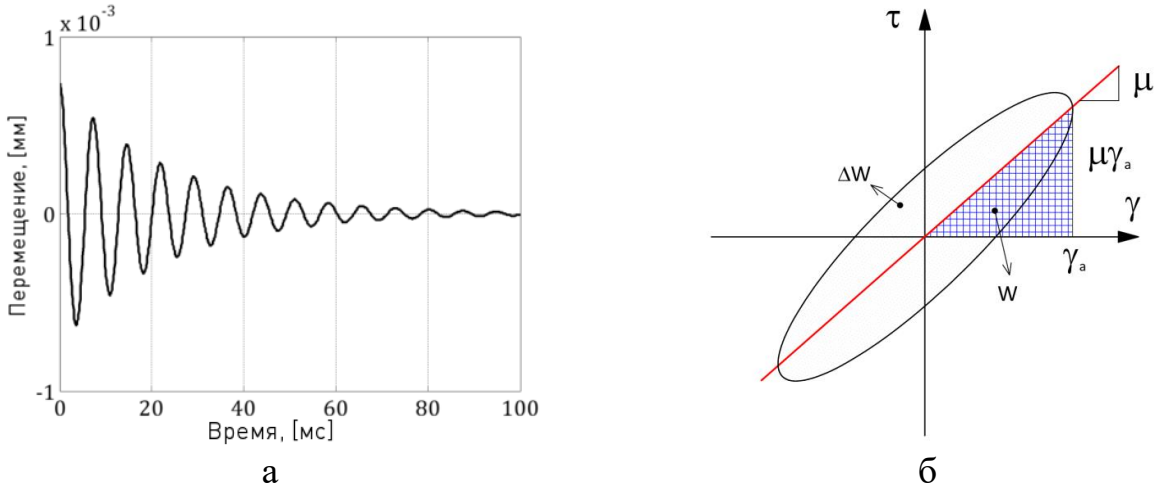


Рис. 4. Определение демпфирования системы

Коэффициент демпфирования образца ξ в конечном счёте определяется с учётом демпфирования прибора ξ_A.

Полевые и лабораторные динамические испытания

На рис. 5 (из работы [1]) показаны диапазоны деформаций сдвига и соответствующие методы, с помощью которых эти деформации создаются, также показаны источники нагрузки, вызывающие такие деформации.

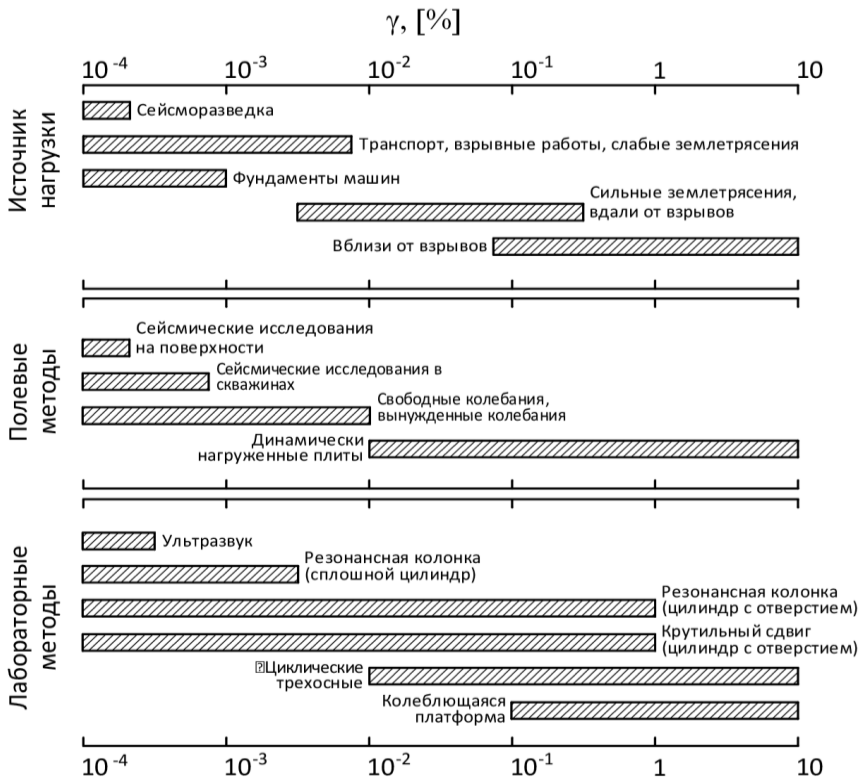


Рис. 5. Амплитуды деформаций сдвига

Общим недостатком полевых методов по определению модуля сдвига и коэффициента демпфирования является то, что уровень деформаций, при котором определяются указанные характеристики, в поле либо сложно, либо невозможно воспроизвести. Этим недостатком в меньшей степени обладают лабораторные методы. Среди лабораторных методов существуют следующие: резонансная колонка, ультразвуковые методы (как правило, изгибные «bender» элементы), крутильный сдвиг, циклические трехосные испытания и другие.

Из рис. 5 видно, что резонансная колонка обеспечивает решение большинства практических задач - в диапазоне деформаций от 10^{-4}% до 1%.

Процедура испытания в резонансной колонке

Процедура испытания грунтов в резонансной колонке включает в себя следующие этапы:

1. Водонасыщение;
2. Консолидация;
3. Динамические испытания.

Первые два этапа выполняются аналогично статическим трехосным испытаниям. Динамические испытания, как было указано выше, проводятся при различных значениях деформаций сдвига. На рис. 6 показаны типичные результаты испытания образца грунта в резонансной колонке (из работы [3]).

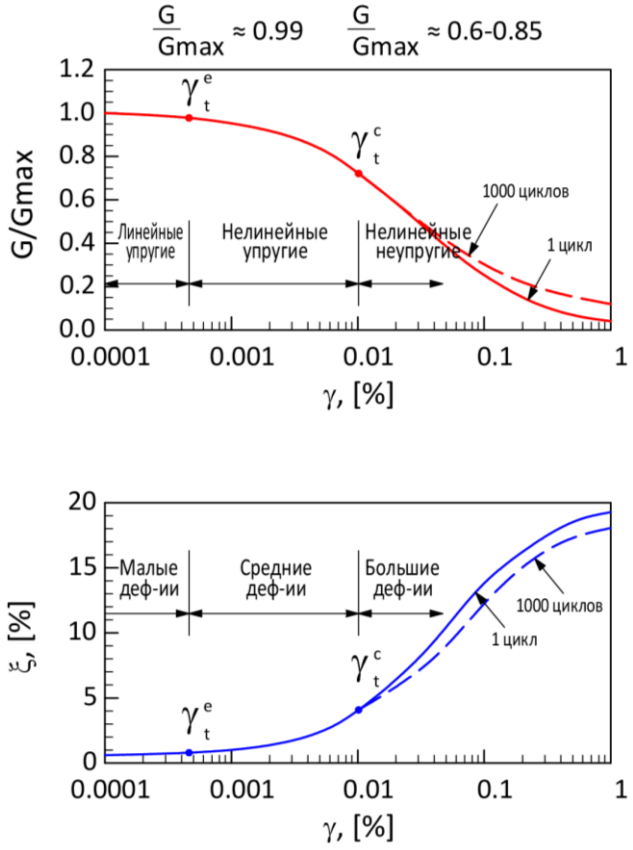


Рис. 6. Результаты испытания грунта в резонансной колонке

Из рис. 6 видно, что с увеличением деформации сдвига модуль сдвига уменьшается, а коэффициент демпфирования увеличивается. При нелинейных неупругих деформациях результаты зависят от истории нагружения, в случае гармонического нагружения результаты зависят от количества циклов.

Основные узлы установки «резонансная колонка»

На примере установки [6] можно рассмотреть основные узлы резонансной колонки – рис. 7.

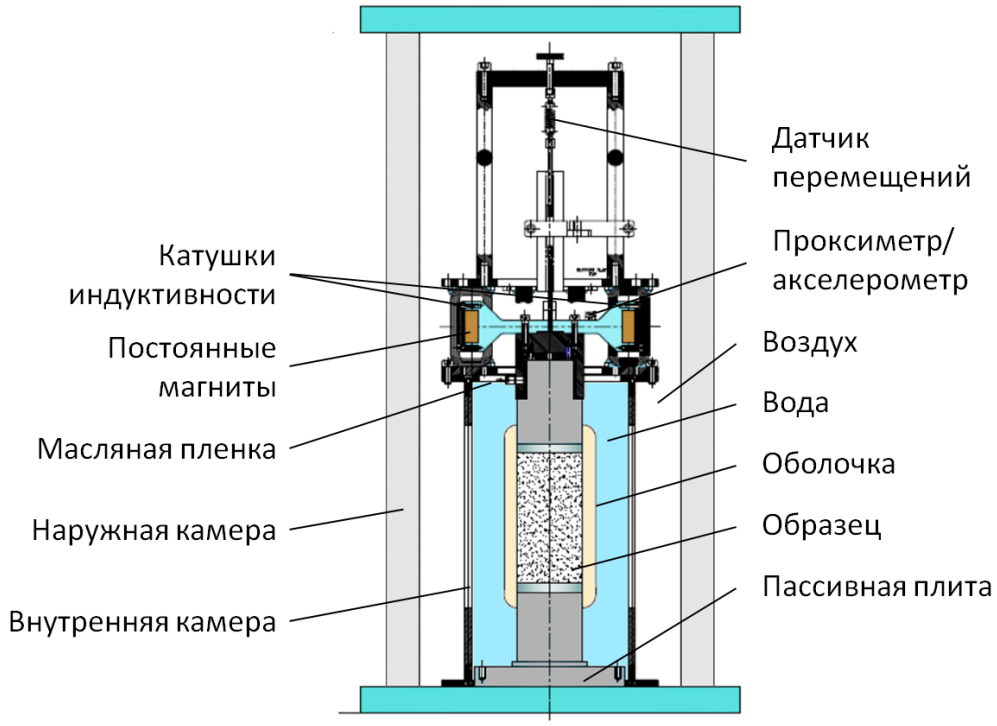


Рис. 7. Основные узлы резонансной колонки

Установка представляет собой камеру осесимметричного трехосного сжатия. Нагрузка на образец в данной установке задаётся давлением воздуха в наружной камере. При этом для исключения высыхания образца вокруг последнего находится внутренняя камера с открытым верхом, заполняющаяся водой. Для исключения испарения воды на поверхность последней добавляют небольшое количество масла. В данной установке можно выполнить только изотропную консолидацию.

Крутильные колебания создаются четырьмя магнитоэлектрическими приводами. Магнитоэлектрический привод состоит из катушки индуктивности и сердечника - постоянного магнита. При подаче напряжения на катушку индуктивности со стороны постоянного магнита на катушку будет действовать сила Ампера, пропорциональная силе тока. Каждая пара приводов создаёт

момент пары сил - крутящий момент, действующий на свободный торец образца.

Вертикальная деформация измеряется датчиком перемещения. Величина деформации сдвига контролируется по углу закручивания, для образцов сплошного сечения справедливо следующее [4]:

$$\gamma = \frac{2}{3} \cdot \frac{R}{h} \cdot \Theta_{max}, \quad (3)$$

где R – радиус образца; Θ_{max} – амплитуда угла закручивания.

Угол закручивания в свою очередь определяется по величине виброперемещения активной плиты, совершающей крутильные колебания. Виброперемещения измеряется либо проксиметрами (бесконтактными датчиками перемещения) или акселерометрами. В случае с проксиметрами измерение является прямым, в случае с акселерометрами – косвенным и при гармонических колебаниях амплитуда виброперемещения пропорциональна амплитуде виброускорения и обратно пропорциональна квадрату угловой частоты.

Заключение

В статье приведены основные сведения по испытаниям грунтов в резонансной колонке. Изложены основы метода, процедура испытаний. Рассмотрены основные узлы резонансной колонки.

Список литературы

1. Camacho Tauta J.F. Evaluation of the small-strain stiffness of soil by non-conventional dynamic testing methods // 15 WCEE, Lisboa, 2012.
2. Diego Carlo Federico Lo Presti, Nunziante Squeglia, Oronzo Pallara. Innovative triaxial / resonant column equipment // International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. 2010. 5 p.
3. Farn-Yuh Menq. Dynamic Properties of Sandy and Gravelly Soils. Galvesten, USA: University of Texas at Austin, 2003.
4. Fedrizzi F., Raviolo P.L., Viganò A. Resonant column and cyclic torsional shear experiments on soils of the Trentino valleys (NE Italy). 2015. 6 p.
5. Richart, F.E.Jr., Hall J.R.Jr., Woods R.D. Vibration of soils and foundations. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1970.
6. Resonant column, Soil mechanics testing equipment, Controls [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.controls-group.com/eng/soil-mechanics-testing-equipment/resonant-column.php.

Королёв В.А., Чжан Шэнжун

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии,
г. Москва, va-korolev@bk.ru, cash_040608@hotmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСКОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ДИСКРЕТНОЙ СРЕДЫ

Введение

Физико-механические свойства песков, как несвязных грунтов, должны рассматриваться с позиций теории дискретной среды (а не на основе теории сплошной среды, как это делается в большинстве случаев). Под дискретной средой понимается совокупность отдельных частиц, каждая из которых, взятая в отдельности, обладает всеми свойствами твердого тела, а механическое взаимодействие между ними определяется контактными напряжениями [1].

Отличительной чертой модели дискретной среды является рассмотрение отдельных элементов ее структуры как механически взаимодействующих тел, иными словами сыпучее (несвязное) тело принимается состоящим из отдельных частиц с учетом структурных связей между ними. Элементами структуры модели дискретной среды являются зерна (частицы) сыпучего материала. Наиболее простым примером модели дискретной среды является система взаимодействующих шаров или цилиндров [3].

Исходя из этого, изучение закономерностей физико-механических свойств грунтовых песчаных и песчано-гравийных смесей с помощью модели дискретной среды является одним из эффективных способов, всё более широко используемым в мире для подобных исследований [5]. Это особенно важно для решения многих теоретических и практических вопросов в связи с созданием грунтовых смесей с заданными свойствами [4].

Методика моделирования

Моделирование физико-механических свойств песчаных и песчано-гравийных смесей осуществлялось двумя способами: 1) с помощью программы «Particles flow code» (PFC), позволяющей моделировать движение и взаимодействие частиц на основе теории дискретной среды [5] и 2) с помощью аналитических математических функций, описывающих физико-механические свойства смеси на основе экспериментальных данных.

При использовании программы PFC рассматривалась модель дискретной среды для анализа контактных напряжений между частицами песчано-гравийной смеси при передаче на неё постоянной вертикальной нагрузки (σ). В результате ее воздействия приложенное вертикальное напряжение

перераспределяется между контактирующими частицами в зависимости от способа их укладки и их дисперсности.

Структура грунтовых смесей и её влияние на физико–механические свойства

При добавлении к смеси заполнителя поры между зернами постепенно заполняются (рис. 1, A–C). При этом пористость смеси постепенно уменьшается до того состояния, при котором поры между крупными частицами, составляющими «скелет», теоретически максимально заполняются более мелкими частицами заполнителя (рис.1, C). Последующее добавление заполнителя проводит к отрицательному влиянию на свойства грунтовых смесей – их пористость начинает постепенно повышаться за счет того, что поры между частицами «скелета» увеличиваются (рис.1, D–F). Причем, структура грунтовых смесей постепенно стремится к структуре заполнителя (рис.1, F). В промежуточном случае можно считать, что грунтовые смеси имеют «переходную» структуру.

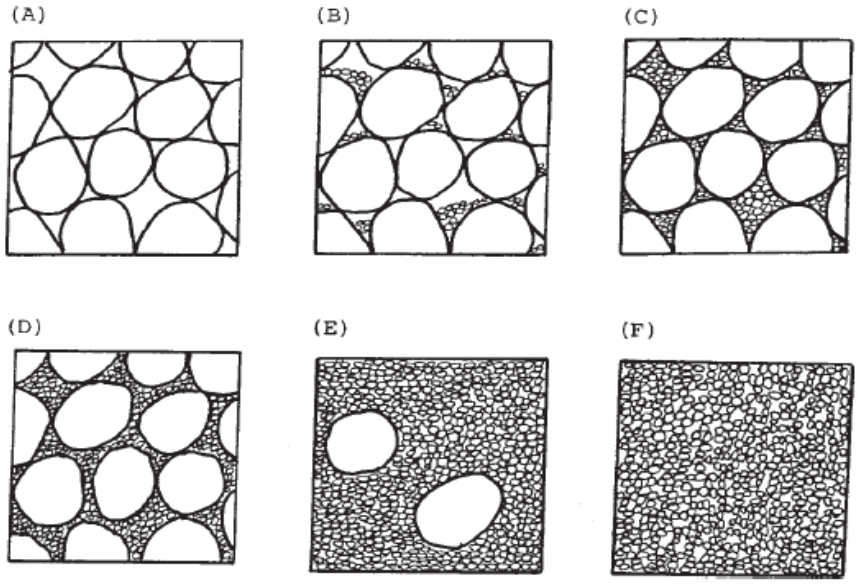


Рис. 1. Изменение структуры грунтовых смесей при добавлении заполнителя [6] в количестве: A – 0%; B – 20%; C – 30%, D – 40%; E – 70%; F – 100%

На рис. 2 представлены результаты моделирования контактных напряжений в различных смесях, полученные по программе PFC. Здесь на рисунке частицы «скелетной фракции» показаны красным цветом, более мелкие частицы (заполнитель) обозначены синим цветом, а зеленым цветом показаны контактные напряжения в виде линий, соединяющих две соседние контактирующие частицы. При этом ширина линий тем больше, чем больше контактное напряжение между ними.

Из рис. 2 следует, что передача наибольшего напряжения внутри грунтовых смесей происходит преимущественно через контакты частиц

крупных фракций (т.е. через «скелетные фракции»). Это подтверждает информацию о том, что прочность грунтовых песчано-гравийных смесей главным образом обусловлена содержанием наиболее крупных частиц [2].

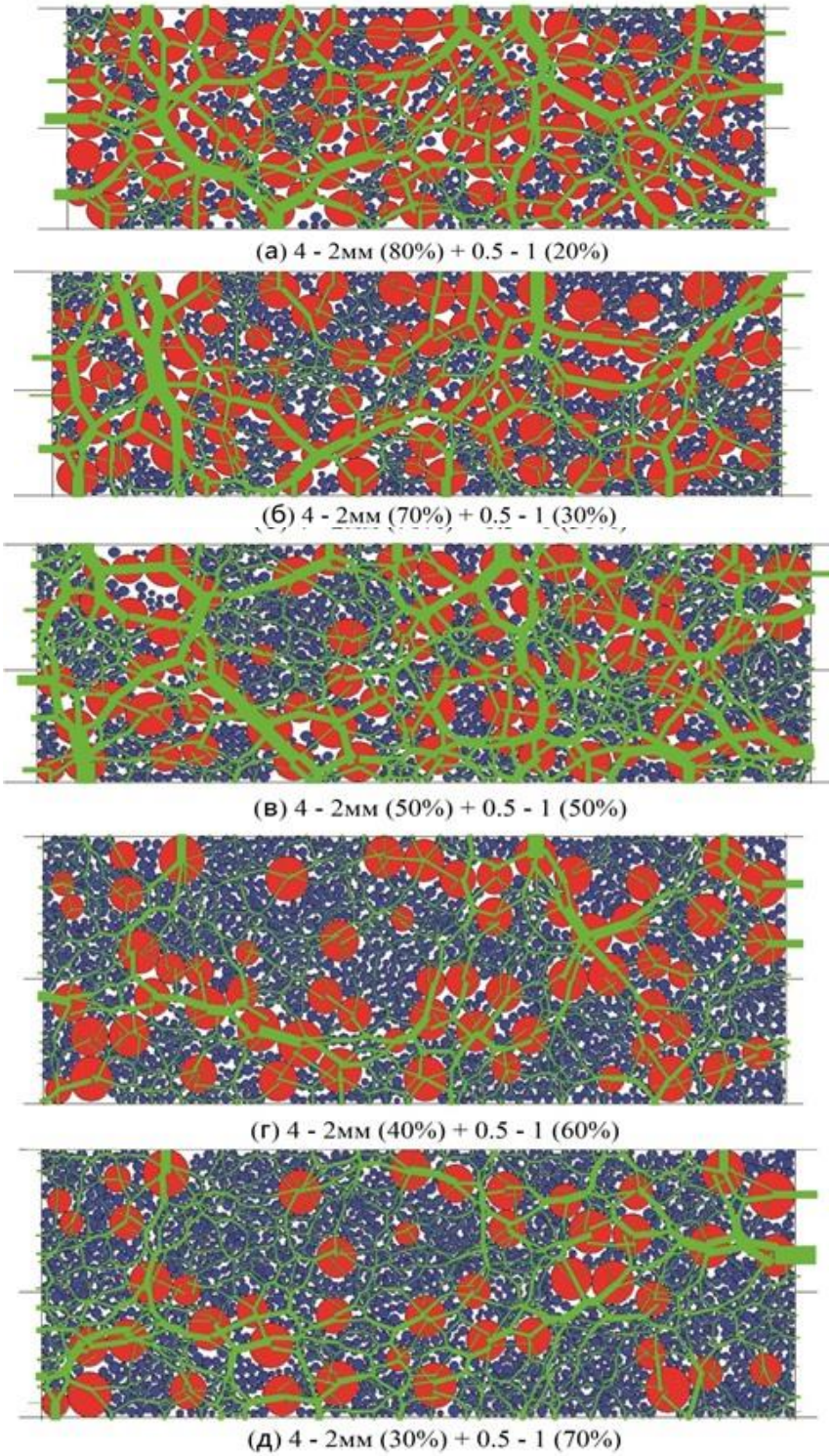


Рис. 2. Распределение контактных напряжений внутри грунтовых смесей, состоящих из фракций 4–2 мм и 1–0,5 мм, при вертикальной нагрузке, равной 400 кПа и разном содержании более мелкой фракции

Из рис. 2 также следует, что при массовом содержании в смеси заполнителя <30%, контакты между соседними частицами состоят из преимущественно контактов между частицами «скелетной фракции». При этом напряжения передаются через них, хотя при этом поры между частицами «скелетной фракции» могут заполняться более мелкими частицами. В этом случае, грунтовые смеси обычно могут сохранять свою прочность, соответствующую грунту без заполнителя.

Когда же массовое содержание заполнителя превышает 30%, то постепенно развиваются контакты между мелкими частицами, а также контакты между «скелетными» и мелкими частицами. В результате этого, рассеяние напряжения внутри грунтовых смесей постепенно увеличивается. При этом прочность песчано-гравийной смеси (например, оцениваемая по величине угла внутреннего трения) постепенно уменьшается и стремится к прочности самого мелкого заполнителя.

Математическое моделирование физико-механических свойств смесей

Наряду с дискретной моделью нами было проведено моделирование физико-механических свойств песчаных и песчано-гравийных смесей с помощью аналитических данных и математической функциональной модели.

Для исследования были выбраны кварцевые фракции, размер которых составляет 4–2 мм, 2–1мм, 1–0,5 мм, 0,5–0,25 мм, 0,25–0,1 мм, а также 0,06–0,03 мм. На основе этих исходных фракций были изготовлены разные грунтовые смеси с различным сочетанием фракций и их массовым содержанием в смеси. Всего было проанализировано около 50 типов смесей. В нашем исследовании фракция 4–2 мм служила «скелетной» для созданных грунтовых смесей: она смешивалась с другими фракциями (при разном массовом отношении), показанными на рис. 3.

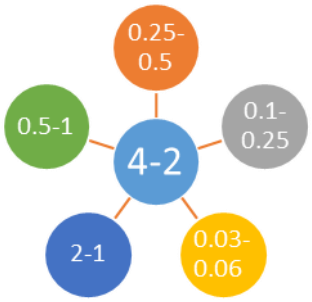


Рис. 3. Схема изготовления грунтовых смесей из фракций разного размера (мм)

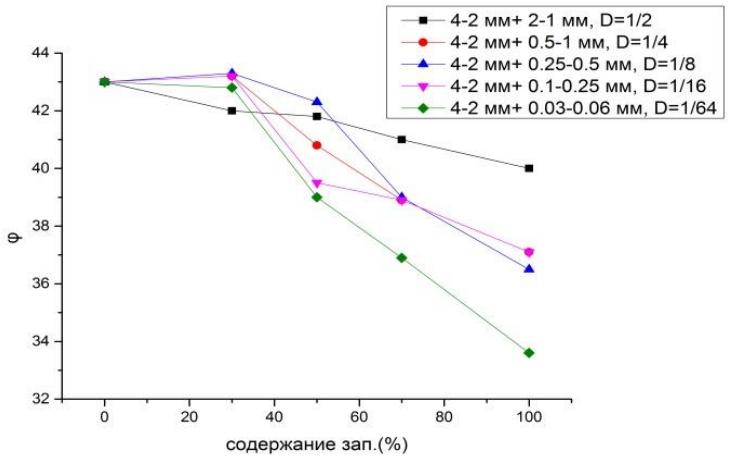


Рис. 4. Зависимость угла внутреннего трения (φ) грунтовых смесей от содержания заполнителя (Z, %) для двойных смесей. D – отношение диаметров составляющих фракций

Были определены их угол внутреннего трения в плотном состоянии и представлены ниже рис. 4.

Из полученных данных следует, что при содержании скелетных частиц (4–2 мм) в грунтовых смесях меньше 70% их величины угла внутреннего трения постепенно уменьшаются. А если массовое содержание скелетных частиц (4-2 мм) больше 70%, то созданные грунтовые смеси могут сохранять свою прочность независимо от содержания заполнителя (рис 4). Кроме того, прочность грунтовых смесей сильно обусловлена отношением диаметра фракций D. Чем меньше величина отношения диаметра D, тем резче снижается прочность грунтовых смесей.

Таким образом, можно заключить, что отношение диаметра (D) и содержание скелетных частиц (Z) являются двумя основными факторами, определяющими прочность создаваемых грунтовых смесей. Исходя из этого, нами предлагается следующая математическая функция двух переменных, которая описывает зависимость изменения угла внутреннего трения грунтовых смесей от параметров D и Z.

$$\frac{\varphi_{mix}}{\varphi_{ск}} = D^{a} * Z^{b} \qquad (1)$$

где φ_{mix} – угол внутреннего трения смеси; $\varphi_{ск}$ – угол внутреннего трения «скелетной» фракции; D – отношение диаметров фракций; Z – массовое содержание «скелетной» фракции; a и b – коэффициенты.

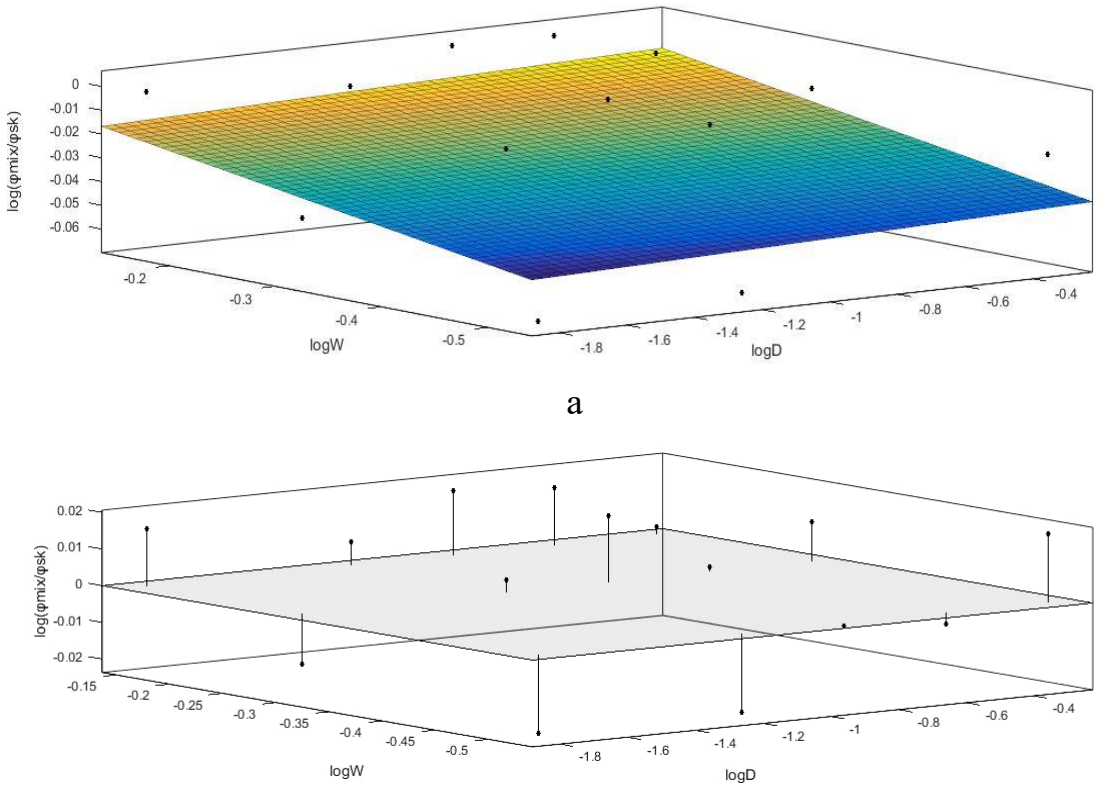
Путем логарифмирования этой функции (1), её можно переписать следующим образом:

$$\log\left(\frac{\varphi_{mix}}{\varphi_{ск}}\right) = a\log(D) + b\log(Z) \qquad (2).$$

Анализируя полученные экспериментальные данные с помощью программы MATLAB, были установлены величины коэффициентов a и b путем вычисления параметров соответствующей регрессии. В нашем случае получено, что безразмерный коэффициент a = 0,003639 и величина b = 0,07305.

Таким образом, были получены конечная функция (3) и ее график, показанный на рис. 5. Абсолютное отклонение между расчётными и экспериментальными данными составляет ±0,02, коэффициент корреляции R^2 = 0,61.

$$\log\left(\frac{\varphi_{mix}}{\varphi_{ск}}\right) = 0{,}003639log(D) + 0{,}07305log(Z) \quad (3)$$



а

б

Рис. 5. График функции, описываемой уравнением (3) (а) и диаграмма абсолютного отклонения между расчётными и экспериментальными данными (б). Точки – эксперимент, поверхность – расчет

Таким образом, полученная функция (3) может количественно характеризовать закономерность изменения величин угла внутреннего трения (φ_{mix}) грунтовых смесей под влиянием гранулометрического состава. С её помощью может быть рассчитана прочность смеси (оцениваемая по величине φ_{mix}) в зависимости от отношения диаметра фракций (D) и содержания «скелетной» фракции (Z) в грунтовой смеси.

Заключение

Компьютерная модель, построенная с помощью программы PFC, дает возможность на базе теории дискретной среды объяснить механизм изменения физико–механических свойств песчано-гравийных смесей при изменении их гранулометрического состава.

При массовом содержании в смеси заполнителя меньше 30%, контакты между частицами состоят преимущественно из контактов между «скелетными частицами». Если массовое содержание заполнителя превышает 30%, то постепенно развиваются контакты между соседними мелкими частицами, а также контакты между «скелетными» и более мелкими частицами. При этом прочность песчано-гравийных смесей уменьшается и стремится к прочности самого мелкого заполнителя.

Установлено, что отношение диаметра (D) и содержание частиц «скелетной» фракции (Z) являются двумя основными параметрами, определяющих прочность создаваемых грунтовых смесей.

Зависимость изменения величин угла внутреннего трения грунтовых смесей (φ_{mix}) под влиянием гранулометрического состава можно описать с помощью предложенной функции (уравнение 3).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00944а, а также с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского университета, за что авторы приносят свою благодарность.

Список литературы

1. Белов В.В. Компьютерная реализация решения научно-технических и образовательных задач: учебное пособие / В.В. Белов, И.В. Образцов, В.К. Иванов, Е.Н. Коноплев // Тверь: ТвГТУ, 2015. 108 с.
2. Иванов Н.Н., Охотин В.В. Дорожное почвоведение и механика грунтов. Л.: ОГИЗ, Гострансиздат, 1934. 387 с.
3. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений: учебник для гидротехнических специальностей вузов. М.: ВШ, 1985. 350 с.
4. Королёв В., Чжан Шэнжун. Моделирование песчаных грунтов с заданными физическими и физико-механическими свойствами // Инженерная геология. 2015. № 4. С. 6–14.
5. Lorig L., Gibson W. et al. Simulations with the Particle Flow Code (PFC) // News Journal. 1995. № 3 (1). P. 18–24.
6. Luis E. Vallejo. Interpretation of the limits in shear strength in binary granular mixtures // Can. Geotech. J. 2001. Vol. 38. P. 1098–1104.

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

Ефимов Г.Н., Зубинский В.И., Попадьёв В.В., Забнев В.И.

ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», Управление геодезических исследований, отдел геодезии, г. Москва, gleb@geod.ru

СЕКРЕТЫ ОТ САМИХ СЕБЯ

После появления и бурного развития спутниковых технологий и ДЗЗ засекречивание топографо-геодезической продукции стало нонсенсом. В докладе изложено мнение специалистов отрасли по вопросу отнесения к государственной тайне координат пунктов геодезических сетей, высот реперов нивелирных сетей и карт масштабов от 1:50 000 и крупнее.

Начнем с краткой истории вопроса. В «Законе РФ от 21.07.1993 N 5485-1 «О государственной тайне» геодезия и картография даже не упоминались. Зато в Перечне сведений, составляющих государственную тайну (гос. тайну), утвержденном позднее президентским указом, они опять попали под гриф. В законе чётко прописано: «Обоснование необходимости отнесения сведений к государственной тайне в соответствии с принципами засекречивания сведений возлагается на органы государственной власти, предприятия, учреждения и организации, которыми эти сведения получены (разработаны). Указанные лица несут **персональную ответственность за принятые ими решения о целесообразности** отнесения конкретных сведений к государственной тайне».

В 1985 году в СССР завершилось картографирование страны в М 1:25 000. Были созданы прекрасные высококачественные карты. Но вот для широкого использования доступен только «Сводный технический отчёт о государственном картографировании СССР в М 1:25 000». Сами же карты «скучают» на складах. Можно, конечно, их заполучить, но для этого нужно создать первый отдел, обеспечить условия для хранения секретных материалов, купить лицензию ФСБ и оформить работникам допуск. После перехода на рельсы рыночной экономики далеко не у всех изыскательских организаций найдутся такие финансовые возможности. Повезло, конечно, отделившимся от СССР республикам, много отраслей которых открыто пользуются высококачественными картами и каталогами. После массового недовольства (выступлений специалистов, обсуждений в ГИС-ассоциации, письменные обращения) был снят гриф с карт М 1:100 000, созданных не на основе карт М 1:25 000, а на основе карт очень низкого качества М 1:200 000. Очевидная абсурдность такой ситуации сподвигла, наконец, на снятие грифа секретности с карт М 1:100 000. И получилось не лучше, и даже не «как всегда», а значительно хуже, поскольку рассекретили карты, которые не были составлены на основе более качественных и актуальных на то время карт М 1:25 000.

Исследования ЦНИИГАиК 2005 года показали, что цифровая модель рельефа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), созданная по результатам измерений 2000 года и находящаяся в свободном доступе, имеет точность на территории России не хуже карты М 1:50 000. При участии организаций США и Японии создана и открыто распространяется глобальная цифровая модель рельефа ASTER. Дискретность задания регулярной сетки высот в этой модели около 30 м. Рельеф доступен потенциальному агрессору, а экономике — народному хозяйству —, в целом, наносится большой ущерб. Достаточно вспомнить хотя бы, сколько государственных средств было затрачено сначала на переоформление карт из СК-42 в СК-63, а после её отмены, карты, созданные в СК-63, пришлось переделывать обратно в СК-42. Придумана и новая «кормушка»: местные системы координат субъектов Федерации (МСК СФ). Никого не смущает, что параметры СК-63 и МСК СФ гуляют по сети и чиновников, ответственных за соблюдение секретности, эта утечка совершенно не волнует, хотя на производстве эти параметры хранятся в первом отделе. Более того, не составляет никакой проблемы с достаточно высокой точностью определить «секретное» положение осевого меридиана МСК ХХ при наличии координат точек в этой системе и по относительно просто получаемым данным ГНСС определений. Компьютерные программы для таких оценок также могут быть найдены в интернете или легко составлены самостоятельно.

Следует особо отметить полную непригодность плоских систем координат для обработки построений с помощью ГНСС (таблица).

Таблица

Сравнение традиционных методов геодезических определений и спутниковых ГНСС-технологий

Традиционные методы геодезических определений	**Спутниковые ГНСС-технологии**
передача координат выполняется от ближайших пунктов ГГС на расстояния не более нескольких километров. С остаточными ошибками из-за влияния нелинейных искажений в проекции можно не считаться, и всю обработку выполнять непосредственно в проекции, как в плоской декартовой системе координат без какого-либо использования закрытых ключей	размеры территорий работ и расстояния передачи координат существенно увеличились (десятки км). Влияние остаточных не учитываемых нелинейных искажений проекции будет уже не пренебрежимым

При выполнении работ на небольших объектах (заснять деревню или участок) **без использования ГНСС** достаточно иметь густую опору в произвольной проекции, но уже при разреженности опоры на крупном объекте невозможно ввести редукции в линейные измерения и в направления: неизвестно отстояние *y* от осевого меридиана для учёта масштабных искажений линий (и в общем случае поправок в направления за кривизну изображения

геодезической линии на плоскости). Именно по причине простоты учёта искажений была выбрана проекция Гаусса-Крюгера, но В.В. Каврайский не мог предположить, что геодезистам когда-то придётся обрабатывать измерения в проекции, параметры которой неизвестны.

Рассмотрим деятельность изыскательской организации.

Вариант 1. Имеется лицензия на работу с гос. тайной. Тогда организация обрабатывает измерения или в пространстве, или на эллипсоиде, или даже на плоскости (зная свойства государственной проекции) от пунктов с координатами в государственной системе СК-95 или ГСК-2011. Поскольку при сколь протяжённом объекте инженерные изыскания следует проводить так, как это описывает П.С. Закатов на с. 162 известного учебника [1], лишь в самом конце работ вычисляя координаты в проекции для удобства использования в других отраслях.

Итак, всё хорошо: требования точности соблюдены, работы завершены, объект сдан. И вдруг при постановке на кадастровый учёт с организации начинают требовать координаты точек объекта в МСК, которые действительно применяются «при проведении геодезических и картографических работ для обеспечения градостроительной и кадастровой деятельности, землеустройства, недропользования и иной деятельности». Почему организация должна сдавать координаты в МСК?

Вариант 2. Лицензии нет. Когда изыскательской организации выдаётся массив исходных данных в виде координат в **плоской** местной системе координат, ей не остаётся ничего другого, как обрабатывать измерения в той же **плоской** системе координат. Именно плоской, а не двумерной, потому что изыскательская организация о свойствах проекции МСК не знает ничего. Вот так изначально призванные для **ведения** кадастра (т. е. для **внутреннего пользования** Госкомзема, Роснедвижимости) МСК, образованные от СК-42 стали единственной доступной системой для **обработки измерений**!

В системе **геодезических** координат *X, Y, Z* (или же *B, L, H*) ведётся обработка **всех** спутниковых определений (как раньше обширные геодезические построения обрабатывались на эллипсоиде). Никому в голову не придёт сначала перевести измеренные от исходных пунктов векторы в проекцию Гаусса—Крюгера, и лишь затем уравнивать на плоскости сеть трилатерации.

Сейчас в практике геодезических работ вынужденно используется приближённый способ встраивания спутниковых определений в произвольную местную систему координат, называемый «калибровкой» или «локализацией» — смысла это не меняет. Приближённая методика существенно ограничивает возможности геодезического применения ГНСС-технологий на практике и усложняет их прямое использование. Более того, неизбежно приводит к увеличению ошибок преобразования координат. В зависимости от размеров территории локализации в пределах 15-20 км и удаления этой территории от осевого меридиана МСК СФ соответствующие погрешности преобразования

координат могут достигать 15-20 см из-за невозможности учета нелинейных искажений проекции МСК. На смежной границе двух таких участков локализации рассогласование положения границ смежных земельных участков может достигать уже совершенно недопустимых величин в несколько дециметров. Это особенно актуально в связи с все более широким использованием сетевых методов ГНСС определений реального времени, когда расстояния передачи координат на несколько десятков километров представляются вполне рутинной ситуацией.

Показательным практическим примером подобной ситуации могут служить результаты эксплуатации известной постоянно действующей спутниковой системы межевания земель Московской области. Вычисление координат определяемых точек в МСК-50 по результатам спутниковых наблюдений выполнялось в ней в отдельности для каждого района при протяженности их территорий, заведомо большей, чем 2-3 десятка километров. В результате продолжительной эксплуатации этой системы с целью определения координат в МСК точность самой ГГС в пределах территории Московской области была оценена на уровне 20-30 см. При том, что многократная независимая оценка точности из прямых сравнений спутниковых определений и координат пунктов ГГС в СК-42 (и СК-95) оценивалась нами не хуже 5-10 см. Такое различие нельзя объяснить ничем, кроме как влияниям остаточных неучтенных нелинейный деформаций проекции МСК-50 в процессе преобразований спутниковых определений в систему МСК при эксплуатации спутниковой системы межевания. Как результат можно ожидать большие ошибки и несогласованность в данных кадастра, особенно вблизи границ районов.

Необходимо создавать и обрабатывать геодезические сети в геоцентрической системе, а проекции использовать для инженерных изысканий и строительства только на локальных участках. При этом по мере развития цифровых технологий потребность в последних должна быстро сходить на нет.

Казалось бы, что в результате единственным массовым потребителем и пользователем данных в МСК СФ остается Росреестр с данными кадастра земель и недвижимости, формируемыми в МСК. С другой стороны, Росреестр в первую очередь должен быть заинтересован в отказе от их использования, тем более, что в этом нет, и, во всяком случае, не будет никакого стратегического смысла. Учитывая вышесказанное о возможных величинах ошибок преобразования в МСК и то, что во многих случаях требования к точности кадастра земель и недвижимости находятся на уровне 5-10 см, Росреестр должен быть в первую очередь заинтересован в отказе от использования МСК и избыточного режима секретности. Еще до того, как лавиной пойдут взаимных претензий по причине ошибок в кадастре, а крайними как всегда окажутся кадастровые инженеры.

ГНСС-определение координат в режиме реального времени (наиболее производительный режим) невозможно в системах координат, параметры

которых (ключи) по отношению к спутниковой системе координат не могут быть указаны в **явном** виде программному обеспечению спутникового приемника.

Поскольку использовать системы координат, никак не описанных в ПО геодезических приемников, невозможно вследствие закрытости ключей перехода к местным системам, то и управление механизмами в реальном времени невозможно. Как результат, потеря не менее 90% возможной экономической выгоды от массового внедрения ГНСС-технологий в различных направлениях хозяйственной деятельности. **Поэтому крайне необходима также отмена режимных ограничений на параметры проекций—ключи—МСК.**

Надо отметить беспрецедентную настойчивость и упорство первопроходца в борьбе с неправомерным засекречиванием продукции работника, а затем руководителя Дальневосточной ТИГГН В.В. Симахина. Более 30 лет назад он выступил в газете «Известия» со статьей «Секреты от самих себя». На местах были восхищены смелостью этого профессионала и искренне переживали за его судьбу. К счастью, его не репрессировали. В феврале 1989 года он снова выступил со статьей «Миллиарды под грифом» уже в газете «Правда» и предложил открыть всю топографо-геодезическую основу страны, а напечатанные миллионными тиражами карты под грифом «С» опубликовать.

В те годы на статьи в газетах еще было принято «реагировать». Процесс рассекречивания топографических карт некоторых масштабов пошел. Но в остальном секретность сохранилась и существует до сих пор. Оказалось, что в нашей стране мало что-нибудь рассекретить, надо еще начальников разных уровней убедить, что отсутствие грифа «секретно» означает именно отсутствие секретности. Мы всецело согласны с позицией и доводами Владимира Васильевича: «Как гражданин своей страны, я борюсь за рассекречивание топографических карт. Потому что убедился в анахронизме существования этого явления. Почему же, спросите вы, сегодня нет необходимости в засекречивании материалов геодезии и картографии? Как же быть с обороноспособностью, шпионажем? А дело в том, что, как только появилась возможность проводить измерения на Земле через космические спутники, да еще с фантастической точностью, секретные карты стали «секретом Полишинеля». И весь мир это, кажется, осознает: президент США Рейган вынудил Пентагон, несмотря на сопротивление, открыть систему NAVSTAR. В марте 1996 года президентом Клинтоном принимается решение о возможности коммерческого использования космических снимков с разрешающей способностью до 1 м. Что касается крупномасштабной картографии, то она в большинстве развитых стран открыта. В современных условиях нельзя спрятать то, что находится на земной поверхности. Резонно задать вопрос: кому и чем это мешает? Обеспечение секретности стоит больших денег (каких конкретно, естественно, тоже секрет).

Следует покончить с режимом секретности в геодезии и картографии, отменить все ограничивающие инструкции. Выход из тупика должен быть указан высшим руководством страны. На ведомственном уровне эту проблему решить нельзя.».

В ноябре 2005 г. была опубликована точка зрения и предложения ГИС-Ассоциации по проблеме режимных ограничений на пространственную информацию, где в частности говорилось:

«2. Защита информации не должна быть самоцелью и не может сдерживать развитие экономики и неоправданно нарушать права граждан под тем предлогом, что это увеличит затраты вероятного противника на получение информации.

3. Современное состояние методов получения пространственной информации таково, что запреты на получение информации на всей территории становятся не только неэффективными и неконтролируемыми, но и бесполезными.

4. Защите подлежат конкретные объекты, при этом мало запретить выполнение съемочных работ на территории, включающей объекты, необходимо выполнять их маскирование (природно-климатическое, электромагнитное, тепловое и т. п.), т. е. защищать нужно не координаты объекта, а предотвращать факт обнаружения объекта различными методами.».

Однако всё оказалось не так просто и понятно. В 2006 году В. Путин и С. Иванов не смогли пробить эту стену глупой секретности; те, кто пролоббировал надбавки оказались сильней целой армии геодезистов и изыскателей. Поручения были проигнорированы.

После **Постановления Правительства РФ от 14 октября 1994 г. N 1161 «О порядке и условиях выплаты процентных надбавок к должностному окладу (тарифной ставке) должностных лиц и граждан, допущенных к государственной тайне»** в первые годы для руководящего состава организаций устанавливались не слишком высокие проценты надбавок, но постепенно, в новых редакциях Постановления, они выросли, для простых исполнителей надбавки до сих пор составляют 5—10%. Было бы оправданно, если бы высокие надбавки были у исполнителей как плата за «вредность». А по факту серьёзно увеличивается зарплата начальников, а не исполнителей.

Это одно из проявлений «кормления» — узаконненой коррупции. Когда в 2014 году в стране были серьёзные экономические трудности, ни депутаты Госдумы, ни правительство не подняли вопрос об отмене этих надбавок. Предшествующее поколение работало без них многие годы. Если удастся отменить эти надбавки, то процесс рассекречивания топографо-геодезической и картографической продукции пойдёт быстрее.

Со времён статьи В.В. Симахина прошло тридцать лет. За это время производительность вычислительной техники выросла примерно на три порядка, спутники выполняют съёмку с разрешением 0,4—0,2 м, цена снимка составляет около $25 за 1 кв. км, ГНСС-навигатор уже обеспечивает точность

1 м, а при применении ГНСС-аппаратуры в дифференциальном режиме точность взаимного положения пунктов уже менее сантиметра.

Для опознавания объектов на местности геодезические пункты не являются чем-то исключительным по сравнению с другими точечными географическими объектами, и уж точно они никак не могут являться режимными объектами. ГНСС позволяют потенциальному противнику для решения своих задач легко обходиться без пунктов государственных геодезических сетей, но обеспечить определение координат географических объектов в единой системе с нужной точностью.

Единственная польза от засекречивания оказалась в том, что оно позволило избежать утери измерительной информации. При обычном хранении многое могло бы потеряться. Сейчас почти вся измерительная информация перенесена на электронные носители, тем самым её сохранность обеспечена.

Интересен следующий парадокс. Координаты смежных пунктов АГС, полученные из уравнивания классической геодезической сети и помещённые в каталог, имеют точность взаимного положения не менее 2. . .5 см, координаты тех же пунктов АГС можно получить привязкой к постоянно действующим пунктам ФАГС в государственной системе с точностью взаимного положения пунктов менее 1 см.

Что касается аппаратуры, то габариты измерительных устройств уменьшаются, на рисунке слева приведены мультисистемный двухчастотный геодезический приемник и флешка для сравнения (рисунок).

Рис. Мультисистемный двухчастотный геодезический приемник

Главную роль играют подготовка исполнителя и соблюдение методики

обработки. На двух правых рисунках показано координированное изображение участка местности из ресурса GoogleEarth, на котором: желтым - координаты точек реального забора, определенные GPS аппаратурой в системе ITRF (смещение относительно всемирно доступного изображения не превышает стратегических 2 м), красным - кадастровые границы этого же участка (оказались развернутыми по отношению к реальному забору).

На взгляд авторов напрасной была также ликвидация территориальных инспекций госгеонадзора (ТИГГН) — это были организации, способствующие не только сохранности материалов, но и осуществлявшие строгий контроль за исполнением работ на объектах, соблюдением технологии и оформлением документации. Но мы потеряли не только ТИГГН…

Существующие режимные ограничение на геодезические данные не являются препятствием для противника, но негативным образом отражается на хозяйственной деятельности. Наличие режимных ограничений на координаты пунктов ГГС является тормозом развития отечественной геодезии.

Снятие ограничений позволит:

1. Создать и опубликовать каталог координат пунктов ГГС 1-4 класса, полученных из уравнивания геодезической сети с опорой на пункты спутниковой сети.
2. Создать обновляемый каталог координат пунктов спутниковых сетей, доступный через Интернет.
3. Снизить транзакционные издержки геодезистов и уменьшить время получения координат пунктов. Соответственно, ускорить сроки выполнения инженерно-геодезических изысканий.

Список литературы

1. Закатов П.С. Курс высшей геодезии. М.: Недра, 1976. 512 с.

Половнев О.В., Ковыркин В.В.

МИИГАиК, геодезический факультет, кафедра высшей геодезии, г. Москва, vg@miigaik.ru

ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КООРДИНАТ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

Современная ситуация в индустрии такова, что основными инструментами для работы с пространственными объектами и данными являются: геодезический прибор – в «поле» и геоинформационные системы – при камеральной обработке полученной информации.

Как ни странно, сегодня как полевой прибор, так и компьютерная программа, или комплекс программ, обеспечивают сбор, систематизацию, хранение, анализ и обработку пространственных данных, а также предоставляют визуализацию всей обрабатываемой информации. Эффективное использование озвученных систем возможно при соблюдении полноты и точности координатного описания пространственных объектов и процессов, а также корректного использования существующей или создаваемой координатной основы и отдельных видов геофизических полей.

Нормативно-правовая база

Использование систем координат определено в различных нормативных и правовых документах:

– в различных ГОСТ даны основные определения и правила преобразований систем координат;

– в отраслевых и государственных нормативных актах приводится описание систем отсчета координат и правила работы с ними;

– в постановлениях правительства вводятся системы отсчета координат и основные параметры данных систем отсчета.

Установление систем отсчета координат

Установление систем отсчета координат сопровождается нормативными документами, измерениями на местности и обработкой полученной информации, а также закреплением системы координат на местности выражающееся в закреплении пунктов, имеющих в качестве основной информации – координаты в заданной системе отсчета координат.

Преобразование систем координат

Большое количество одновременно используемых систем координат и отсчетных поверхностей является источником повышенной уязвимости как

процессов обработки информации, так и непосредственно исполнителя – как ответственного исполнителя определенного рода документов.

Неточности в преобразованиях координат могут привести к ошибкам идентификации объектов, интерпретации результатов анализа каких-либо процессов и другим непредвиденным последствиях при работе с пространственными объектами.

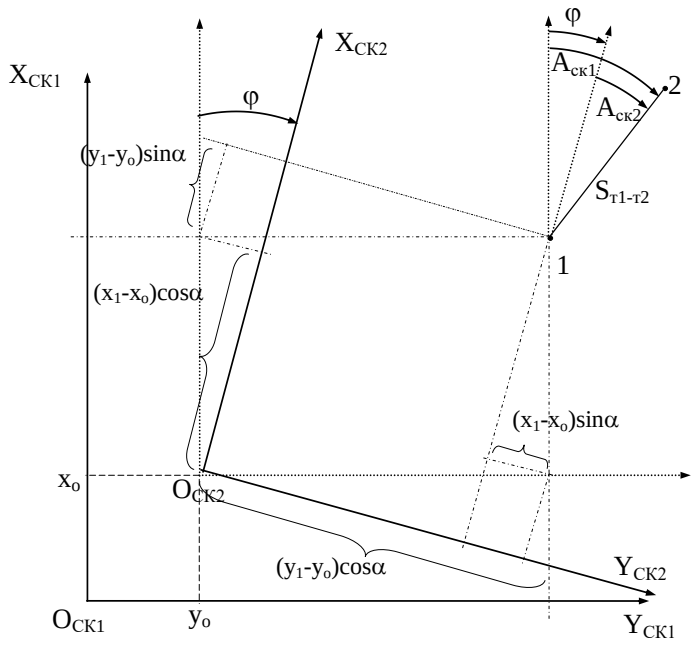


Рис. 1. Параметры преобразования прямоугольной системы координат
индексы у координат относятся к номеру точки в первой СК, индексы у азимута – номер СК для линии 1-2, индексы у расстояния – к точкам в разных системах координат

В настоящее время для преобразования координат используются различные формулы «преобразования» (ГОСТ Р 52572-2006 п.3.32 со ссылкой на ГОСТ Р 52428-2005, ст. 44) и «трансформирования» (ГОСТ Р 52572-2006 п.3.40 со ссылкой на ГОСТ Р 52438-2005, ст. 45).

Варианты формулы [1]:

ортогонального преобразования:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_B = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + R_{\omega_y} R_{\omega_x} R_{\omega_z} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_A (1+dm); \text{ (Гельмерта)} \qquad (4)$$

где X, Y, Z – прямоугольные геоцентрические координаты соответственно в системе A и B; $R_{\omega_y} R_{\omega_x} R_{\omega_z}$ – матрицы вращения вокруг осей координат; $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$ – смещения центра одной системы координат относительно другой; dm – отличие масштаба систем координат;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_B = (1+dm)\times R_{\omega_y} R_{\omega_x} R_{\omega_z} \times \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_A - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_P \right) + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_P + \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

(Молоденского Бадекаса)

где – дополнительно к (4), X_P, Y_P, Z_P – координаты точки принятой за начало преобразования;

формула преобразования плоских прямоугольных координат с общим масштабным коэффициентом:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_B = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_A (1+dm); \quad (6)$$

где – элементы аналогичные элементам в формуле (4), α - угол поворота осей;

формула преобразования плоских прямоугольных координат с масштабными коэффициентами по координатным осям:

$$\begin{bmatrix} x_B \\ y_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (1+dm_x)x^A \cos\alpha - (1+dm_y)y_A \sin\alpha \\ (1+dm_x)x^A \sin\alpha + (1+dm_y)y_A \cos\alpha \end{bmatrix}; \quad (7)$$

где – элементы аналогичные элементам в формуле (6), а также - dm_x, dm_y – изменение масштабного коэффициента по осям *x* и y соответственно.

Формула преобразования пространственных прямоугольных геоцентрических координат в геодезические эллипсоидальные:

$$\begin{aligned} X &= (N+H)\cos B \cos L \\ Y &= (N+H)\cos B \sin L \\ Z &= \left(N + H - e^2 N\right)\sin B \end{aligned}; \quad (8)$$

где X, Y, Z – прямоугольные геоцентрические координаты, B, L, H – геодезические эллипсоидальные координаты; e^2 – квадрат первого эксцентриситета; N – радиус первого вертикала.

Применяют также различные формулы преобразований из геодезических (сфероидических) координат в плоские координаты выбранных для определенной территории проекций.

Погрешности, возникающие при работе с системами координат

В теории математической обработки средняя квадратическая погрешность функции определяется следующим образом:

$$m_{X_B}{}^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial X_A}\right)^2 m_{X_A}{}^2 + \ldots + \left(\frac{\partial f}{\partial \omega_x}\right)^2 m_{\omega_x}{}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \omega_y}\right)^2 m_{\omega_y}{}^2 + \ldots + \left(\frac{\partial f}{\partial Z_{P,}}\right)^2 m_{Z_{P,}}{}^2 + \ldots \qquad (9)$$

где, $\frac{\partial f}{\partial}$ – частная производная по конкретному элементу, m - средняя квадратическая погрешность элемента или функции.

Для оценки качества преобразований воспользуемся характеристиками параметров преобразования полученных опытным путем или указанными в документах для параметров преобразований (например, в «Параметрах Земли, 1990 г.»).

Для оценки преобразований (6) и (7) с характеристиками, указанными в табл. 4, получим результат, сходящийся на уровне долей миллиметров – рис. 2.

Таблица 1

Характеристики параметров трансформирования плоских прямоугольных координат

m_X, м	m_Y, м	m_α, “	$m_{\Delta X_0}$, м	m_{dm_x}	m_{dm_y}, м
0,001	0,001	5	0,001	$1*10^{-7}$	$1*10^{-7}$

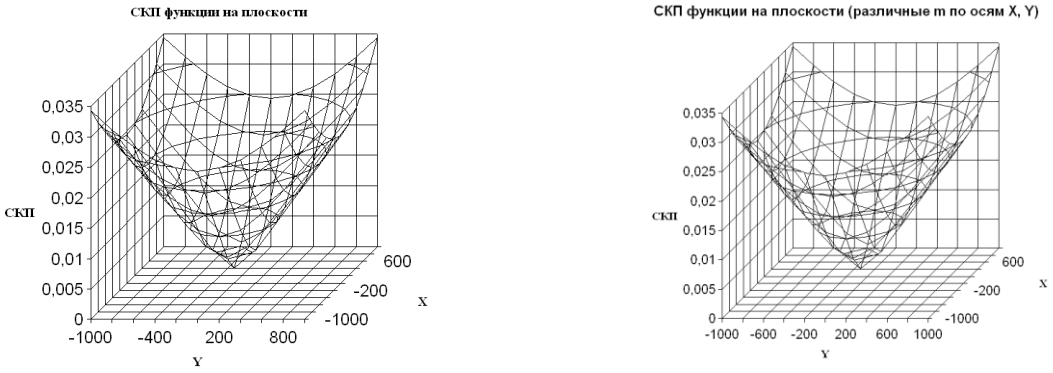


Рис. 2. Точность преобразования по формуле (6) и (7)

Для оценки преобразования (8) (для работы со спутниковой аппаратурой) рассмотрим три варианта, где основная изменяемая характеристика будет – точность большой полуоси отсчетного эллипсоида (таблица 2). Результаты оценки представлены на рис. 3.

Таблица 2

Характеристики параметров преобразования

Изменяемые характеристики			Постоянные характеристики
вариант 1	вариант 2	вариант 3	

m_a , м	m_a , м	m_a , м	m_{e^2}	m_B , “	m_L , “	m_H , м
0.5	0.1	0.0	$7*10^9$	0,01	0,01	0,01

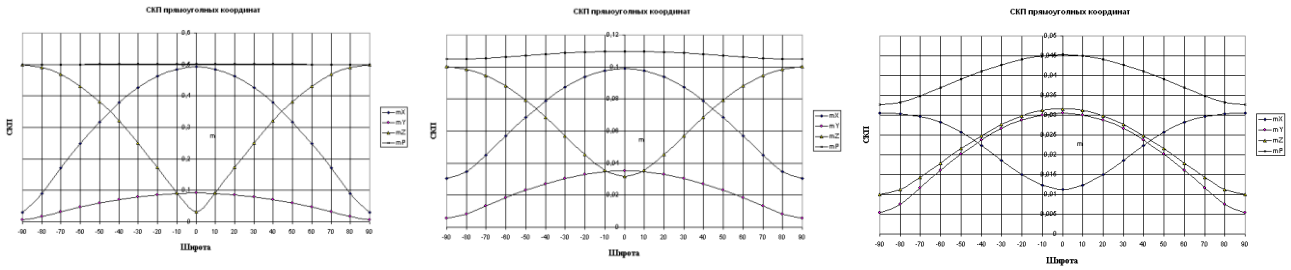


Рис. 3. Точность преобразования по формуле (8)

На точность преобразования (8) в большей степени влияет оценка большой полуоси отсчетного эллипсоида. Вариант, когда итоговая точность прямоугольных координат устанавливается на уровне нескольких сантиметров, соответствует отсутствию погрешности большой полуоси отсчетного эллипсоида.

Все формулы трансформирования или преобразования координат, которыми пользуемся, кроме математической погрешности преобразования вносят погрешность от параметров функции. Математические действия в настоящее время сомнений не вызывают (или почти не вызывают) - характеристики современных вычислительных средств таковы, что этими практически всегда можно пренебречь. Параметры преобразований, определены независимыми способами и способны нарушить идеалистическую картину - внести элемент ненадежности выполненного преобразования координат из одной системы отсчета координат в другую.

Определение параметров преобразования координат

Рассмотрим случай преобразования плоских прямоугольных координат [2]. В математике преобразование одной системы (СК1) плоских декартовых прямоугольных координат *x,y* в другую (СК2) выполняют по правилу:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_{CK2} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_o \\ y - y_o \end{bmatrix}_{CK1}, \qquad (10)$$

где φ – поворот осей, x_o, y_o – координаты начала системы СК2 в системе координат СК1 (рис.1). Чтобы определить параметры φ, x_o, y_o преобразования, необходимо располагать координатами, по крайней мере, двух пунктов в обеих системах.

При работе с координатами вообще и в проекции Гаусса-Крюгера в частности, кроме величин φ, x_o, y_o следует учитывать изменение масштаба изображения. Длина *S* одной и той же линии может оказаться различной в

разных системах координат, и масштаб изображения, т.е. отношение $S_{СК2}/S_{СК1}$, будет отличен от единицы:

$$S_{СК2}/S_{СК1} = 1 + m, \qquad (11)$$

где $S_{СК1}$ и $S_{СК2}$ – длина линии в первой и второй системах координат соответственно, m – отличие масштаба отображения от единицы.

С учетом изменения масштаба уравнение (10) записывают в виде

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_{СК2} = (1+m)\begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x - x_o \\ y - y_o \end{bmatrix}_{СК1}. \qquad (12)$$

В отличие от (10), уравнение (12) содержит четыре неизвестных параметра – m, φ, x_o, y_o. Для определения первых двух необходимо иметь в обеих системах координаты двух пунктов; смещение начала координат при известных m, φ можно найти по координатам одного пункта.

В локальной области целесообразно разделить определение масштаба и угол разворота от определения смещения начала координат.

Если параметры m, φ, x_o, y_o малы, выражение (12) можно упростить. Полагая $\cos\varphi = 1$, $\sin\varphi = \varphi$ и не учитывая квадраты и произведения параметров m, φ, x_o, y_o, получим

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_{СК2} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_{СК1} + \begin{bmatrix} m & \varphi \\ -\varphi & m \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_{СК1} - \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \end{bmatrix}, \qquad (13)$$

Так как в системе Гаусса – Крюгера координаты не превышают 10^7 м, при φ = 5” ошибка преобразования не превысит $x\varphi^2/2$ = 3 мм. Поэтому преобразование (13) можно использовать, если угол поворота φ составляет несколько секунд.

После нахождения параметров преобразования координаты любого пункта из одной системы в другую можно перевести по формуле (13).

Уравнение (13) аналогично уравнению (12), при малых величинах m, φ, x_o, y_o формулы для определения параметров значительно проще, поскольку в этом случае фактически выполнена линеаризация выражений (12). Формулу (13) можно использовать при сравнении разных реализаций государственных систем координат. Если же сравнивать местные системы координат (МСК) с государственными, то применяют формулу (12), поскольку в этом случае угол φ и координаты x_o, y_o могут иметь любые значения. Удобнее в этом случае сравнивать длины и азимуты линий, вычисленных в обеих системах согласно (11).

Влияние особенностей систем координат, геофизических полей и погрешности внешних датчиков прибора

Особенности преобразования при расположении объекта одновременно в различных зонах проекции Гаусса-Крюгера.

Аффинное – преобразование с не ортогональным углом между осями второй системы координат с различными масштабными коэффициентами по каждой оси.

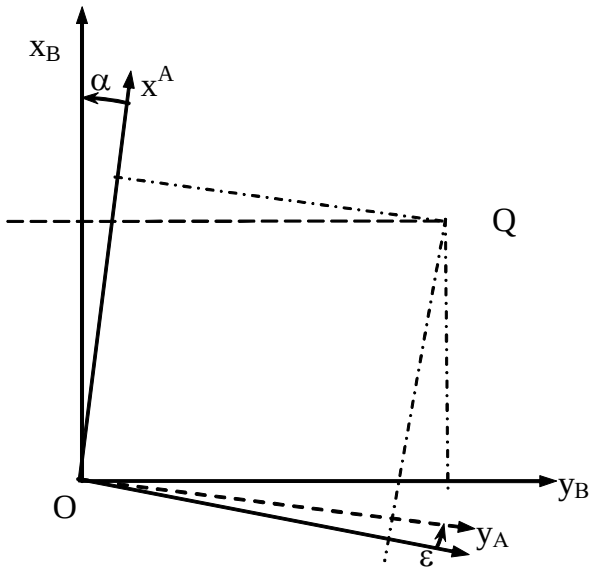


Рис. 4. Схема аффинного преобразования координат пункта из системы *A* в систему *B*

Поскольку значения параметров m и α определяются независимо по каждой из осей координат, при аффинном преобразовании из местной уравненной сети в государственную геодезическую сеть могут деформироваться и углы, и длины линий.

Преобразование координат из системы *A* в систему *B* производится с использованием шести параметров по следующим формулам

$$\begin{bmatrix} x^B \\ y^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\alpha_x & -\sin\alpha_x \\ \sin\alpha_y & \cos\alpha_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^A \\ y^A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1+m_x & 0 \\ 0 & 1+m_y \end{bmatrix} \tag{14}$$

или

$$\begin{bmatrix} x^B \\ y^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (1+m_x)x^A \cos\alpha_x - (1+m_y)y^A \sin\alpha_y \\ (1+m_x)x^A \sin\alpha_x + (1+m_y)y^A \cos\alpha_y \end{bmatrix} \tag{15}$$

где m_x, m_y – поправки в масштаб по осям x, y соответственно; α_x, α_y – направления проективного соответствия в направлениях каждой из координатных осей; x_0, y_0 – смещение центра систем координат; остальные обозначения соответствуют обозначениям на рис. 1.

В соответствии с основными формулами тригонометрии:

$$\begin{aligned}\sin(\alpha_y) &= \sin(\alpha_x + \varepsilon) = \sin\alpha_x \cos\varepsilon + \cos\alpha_x \sin\varepsilon \\ \cos(\alpha_y) &= \cos(\alpha_x + \varepsilon) = \cos\alpha_x \cos\varepsilon - \sin\alpha_x \sin\varepsilon\end{aligned} \quad (16)$$

если $\varepsilon \le 1'$, то

$$\begin{aligned}\sin\alpha_x \cos\varepsilon + \cos\alpha_x \sin\varepsilon &= \sin\alpha_x + \cos\alpha_x \sin\varepsilon \\ \cos\alpha_x \cos\varepsilon - \sin\alpha_x \sin\varepsilon &= \cos\alpha_x - \sin\alpha_x \sin\varepsilon\end{aligned} \quad (17)$$

Тогда

$$\begin{bmatrix} x^B \\ y^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (1+m_x)x^A \cos\alpha_x - (1+m_y)y^A(\sin\alpha_x + \cos\alpha_x \sin\varepsilon) \\ (1+m_x)x^A \sin\alpha_x + (1+m_y)y^A(\cos\alpha_x - \sin\alpha_x \sin\varepsilon) \end{bmatrix} \quad (18)$$

Формулами аффинного преобразования целесообразно пользоваться в том случае, когда пункты государственной геодезической сети определены точнее, чем пункты местной сети, которая трансформируется в государственную.

Влияние геофизических полей

Одно из основных влияний геофизических полей - уклонение отвесной линии при перемещении прибора на объекте, можно описать аналогично процедуре трансформирования координат в двух пространственных системах координат Рис. 5:

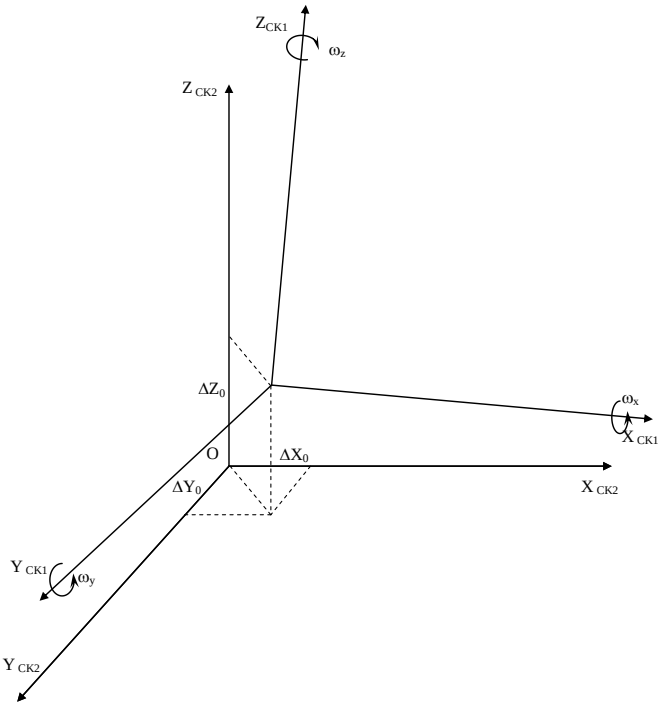
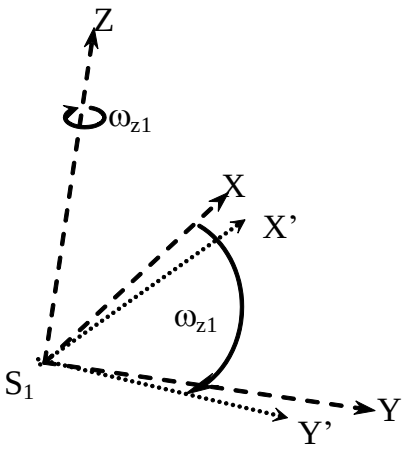


Рис. 5. Связь пространственных систем координат (на примере геоцентрических)

Связь между пространственными системами координат выразим формулой

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{CK2} = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + R_{\omega_x} R_{\omega_y} R_{\omega_z} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{CK1} (1+m) \qquad (19)$$

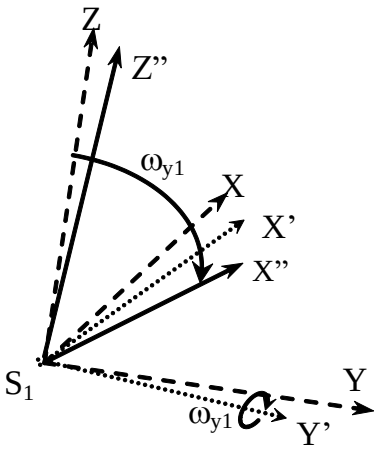
При перевычислении прямоугольных геоцентрических координат из одной системы в другую, применяют следующие последовательности действий и формулы:



$$R_{\omega_z} = \begin{bmatrix} \cos\omega_z & \sin\omega_z & 0 \\ -\sin\omega_z & \cos\omega_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

(вращение по часовой стрелке)

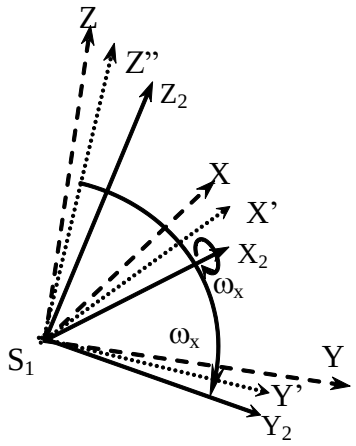
Рис. 6. Поворот вокруг оси Z



$$R_{\omega_y} = \begin{bmatrix} \cos\omega_y & 0 & -\sin\omega_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\omega_y & 0 & \cos\omega_y \end{bmatrix};$$

(вращение по часовой стрелке)

Рис. 7. Поворот вокруг оси Y



$$R_{\omega_x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega_x & \sin\omega_x \\ 0 & -\sin\omega_x & \cos\omega_x \end{bmatrix}.$$

(вращение против часовой стрелки)

Рис. 8. Поворот вокруг оси X

При рассмотрении уклонений отвесных линий вращения происходят в плоскости меридиана – вокруг оси Y, и в плоскости первого вертикала – вокруг оси X. Вращение вокруг оси Z происходит только в том случае если направления плоских осей координат не совпадают с источником.

Последовательность применения матриц преобразования при прямом и обратном преобразовании должна сохраняться, а при малых углах разворота она не влияет.

Влияние погрешности внешних датчиков прибора

Основное влияние внешних датчиков – уровней, а также конструктивная «разболтанность» всех шарнирных соединений вызывает погрешности двух типов. В качестве основного условия примем, что рассматриваем только конечное влияние.

Первое влияние оказывает погрешность уровня и электронных компенсаторов – если таковые в приборе есть. В данном случае можно рассматривать вариант, показанный формулой (19). При этом вращение вокруг вертикальной оси можно считать как существующее.

Второе влияние – влияние погрешности пунктов, закрепленных на объекте с применением данного прибора. Применение координат, определенных с погрешность выражается формулой (9) при преобразовании координат.

Список литературы

1. Половнев О.В. Анализ точности операций с координатами пространственных объектов при переходе в различные координатные системы отсчета. Сборник статей по итогам научно-технических конференций. Вып. 7, в 2-х частях. Ч. 1. М.; МИИГАиК. 2014. 184 с. //

Приложение к журналу Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2014. № 6. С. 42–44.

2. Огородова Л.В., Половнев О.В. Учебно-методическое пособие по курсу «Высшая геодезия и основы координатно-временных систем». М.: Издательство МИИГАиК, 2016. 60 с.

Веселов В.В.

ОАО «Атомэнергопроект», г. Москва, Veselov_VV@aep.ru

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АЭС

Геодезический мониторинг АЭС включает в себя три основных направления:

- геодезический мониторинг деформаций инженерных объектов АЭС, выполняемый в рамках геотехнического мониторинга по СП 22.13330.2016 [13];
- геодезический мониторинг, выполняемый в рамках геодинамического мониторинга современных движений земной поверхности (СДЗП) в соответствии с НП-064-05 [8];
- геодезический мониторинг, выполняемый в рамках оценки устойчивости опорной геодезической сети, являющейся основой для оценки локальной геодинамической активности территории промплощадки АЭС в соответствии с СП 11-104-96 [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Геодезический мониторинг деформаций инженерных объектов АЭС отличается количеством, уникальностью и прецезионностью, длительностью и высокой цикличностью повторных измерений, а также тонкими техническими решениями и особыми методами обработки результатов. Это связано с тем, что:

- количество объектов, подлежащих наблюдениям на одной станции может составлять от 50 до 150 сооружений в соответствии с требованиями [9, 11];
- требования к точности проведения измерений достаточно жестки и могут составлять от 0,5 – 1,0 мм [16, 13, 14].
- геодезический мониторинг выполняется в закрытых условиях, с ограничениями по рабочему пространству и с жесткой фиксацией во времени [12];
- сам геодезический мониторинг носит комплексный характер, включая как классические измерения – высокоточное нивелирование и линейно-угловые измерения, так и современные методы – методы спутникового координирования, высокоточной инклинометрии, высокоточного гидростатического нивелирования (реже).

Геодезический мониторинг СДЗП на локальных ГДП выполняется в рамках проведения обязательного для АЭС (по НП-64-05) геодинамического мониторинга как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации и отличается комплексностью, включая различные формы геодезических измерений – высокоточное нивелирование и спутниковое координирование, дифференциальную интерферометрию (D-InSar) и высокоточные лидарные съемки.

Непосредственное ведение геодезического мониторинга позволило расставить необходимые акценты организации БД и определить необходимые возможности СУБД как для деформационного мониторинга, так и мониторинга СДЗП и мониторинга геодинамической активности промплощадки АЭС, включающие использование и визуализацию статистического аппарата метода панельных функций, что позволяет выполнять слияние, обработку и оценку точности результатов измерений, выполненных различными исполнителями.

К основным таким акцентам относятся следующие:

1. для структуры БД:

- наличие двух массивов данных хранимых на физическом уровне для каждого объекта - исходного и преобразованного, который сохраняется после устранения грубых ошибок, компенсации систематических погрешностей и приведения к виду, соответствующему последующим расчетам на уровне метаданных;
- наличие БД нормативной и технической литературы на ссылочном и физическом уровне, а также БД графических, табличных и текстовых шаблонов для организации вывода.

2. К структуре СУБД

- организация контроля к доступу и уровня доступа;
- наличие расчетного модуля, позволяющего выполнять основные статистические и прогнозные расчеты как в табличном, так и в графическом виде;
- возможности взаимного конвертирования в основные офисные и специальные программы;
- возможности использования графических, табличных и текстовых шаблонов для организации вывода.

Наличие двух массивов данных (исходных и преобразованных) связано с тем, что организация БД связана с использованием архивных данных (во отдельных случаях на «глубину» 20-30 лет и более), полученных данных морально устаревшими методами, способами и приборами и поэтому требующими предварительной обработки.

Наши исследования и практический опыт показал, наиболее приемлемым способом такой аналитической предварительной обработки являются методы, используемые в эконометрике при панельном анализе временных рядов и показанные в литературе [1, 4, 10]. Как оказалось, в пределах одного и того же объекта, временные ряды параметров деформаций (как и результатов наблюдений) носят коррелированный взаимозависимый характер, что и позволяет использовать выделенные взаимосвязи (в виде простейших аналитических функций) для контроля исходных данных и компенсации систематических погрешностей.

Наличие специализированного расчетного модуля в составе СУБД обусловлено, тем, что в процессе обработки и анализа, исполнитель пользуется как минимум 6–10 программами, например: ACAD, Excel, Credo, Corel Draw,

Surfer, Matcad, Statistica и пр., используя при этом от 10% до 20% их возможностей. Все это в конечном итоге не добавляет достоверности расчетным данным, т.к. данные хранятся в различных местах и в различных форматах, при конвертировании могут терять свои свойства, а сам уровень использования программных средств самим исполнителем ограничен из-за их количества и разнообразия.

Как показывает наш опыт, оказалось, что проще и эффективней иметь один расчетный модуль, объединяющий основные используемые средства с возможностью вывода в стандартные офисные средства для их окончательной доработки, либо иметь средства для консольного вызова соответствующей программы с параллельным конвертированием данных.

Исходя из современных требований к геодезическому мониторингу, включая рекомендации МАГАТЭ [7, 6] и на основании опыта его проведения показана необходимость совершенствования расчета искомых основных параметров деформаций, определяемых по результатам геодезических измерений, таких как средняя осадка, относительный крен, максимальная осадка и относительная разность осадки.

Средняя осадка, ранее определяемая как простое среднее из всех полученных вертикальных смещений, может быть использована лишь в крайне редких случаях, когда деформационные знаки расположены симметрично относительно сторон фундамента, что на практике невозможно как по техническим условиям, так и из объективной утраты марок. Решением этой задачи является использование процедуры аппроксимации вертикальных смещений для определения уравнения поверхности вертикальных смещений и дальнейшим определением значения средней осадки в геометрическом центре фундамента.

Оценки относительной разности осадки, как и максимальной осадки, являются функцией двух переменных, определяющих местоположение указанных величин. При этом, выводным параметром в обоих случаях должна карта (схема), указывающая на положение вычисленного параметра.

Как оказалось, прогнозирование параметров геодезического [8, 3], да и ко всего геотехнического мониторинга в соответствии с требованиями СП 22.13330 [13] и СП 47.13330 [15] носит лишь общий декларативный характер, не поддерживаемый никакими нормативными ресурсами.

Как показала наши исследования и практика, для прогноза необходимо использование полноценного аппарата обработки и идентификации временных рядов применительно как для решения задачи расчета скорости протекания процесса, так и решения задачи статистического прогнозирования.

Разработан алгоритм для решения задачи расчета скорости протекания процесса, основанный на использовании на рекуррентном анализе каждого последующего (предыдущего) члена временного ряда, укладывающегося в диапазон, определяемый точностью выполненных измерений, выбираемый в процессе линейной аппроксимации. При этом минимальный ряд, позволяющий

выполнять оценку скорости протекания процесса должен составлять не менее 4 значений и должен иметь оценку доверительного интервала.

Исследованы и апробированы основные методы прогнозирования, включая модели Хольта [18], Хольта–Уинтерса [20], Тейла-Вейджа [19], основанные на методе экспоненциального сглаживания, позволяющим выполнять прогнозирование небольших рядов (до 10 членов) с условием их эквидистантности, что предопределяет использование сплайн-интерполяции различного типа - кубической, билинейной и рекомендуемой нами при помощи сплайнов Акимы [17].

Однако для длинных рядов (более 10 членов) наиболее удобным и достоверным является метод анализа временных рядов, основанный на преобразовании одномерного временного ряда в многомерный ряд с последующим применением к полученному многомерному временному ряду метода главных компонент или SSA (от англ. Singular spectrum analysis или Анализ сингулярного спектра). В литературе этот метод носит название «Гусеница» по аналогии с особенностью алгоритма и опубликован в литературе [5, 2].

Разработка оригинальной СУБД и использование полновесной БД позволили по-новому взглянуть на результаты геодезического мониторинга объектов АЭС в целом.

Так из анализа результатов определена взаимосвязь оценок устойчивости опорных сетей и оценок геодинамической активности промлощадки АЭС, что позволило разработать алгоритм зонирования и, соответственно, совершенствовать подходы к размещению знаков опорной геодезической основы и уточнить процедуру выбора исходных геодезических знаков.

В совокупности это дало возможность провести комплексный анализ результатов геодезического деформационного мониторинга зданий и сооружений АЭС и геодинамической активности территории промплощадок (по оценкам устойчивости опорных геодезических знаков).

Как оказалось, деформации зданий и сооружений носят не только техногенный характер, но и определяются свойствами палеорельефа территории. Так установлено, что, не смотря на выемку (до 20 м), замещение грунта, проведение планировочных работ, направление градиентов скоростей вертикальных смещений (тоже, что и приращение величины и направления относительного крена) по сооружениям в основном повторяют направления бортов ранее существующей овражно-балочной сети, а долгопериодическая компонента скоростей вертикальных смещений деформационной сети марок более развита на месте залегания тальвега бывшего оврага.

Список литературы

1. Берндт Э. Практика эконометрики: классика и современность. М.: Юнити-Дана, 2005.

2. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: СПб: Изд-во СПбГУ, 2004.
3. ГОСТ Р 53778-2010 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния
4. Доугерти К. Введение в эконометрику: Пер. с англ. М.: ИН-ФРА-М, 1999.
5. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. М.: Финансы и статистика. 2003.
6. МАГАТЭ, No.NS-R-3 Оценка площадок для ядерных установок / Вена, 2012.
7. МАГАТЭ, No.SSG-35 Оценка и выбор площадок для ядерных установок / Вена, 2016.
8. НП-064-05 Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии.
9. ПиН АЭ – 5,6. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа.
10. Ратникова Т.А. Анализ панельных данных в пакете STATA. М.: ГУ ВШЭ, 2005.
11. РД ЭО 1.1.2.99.0007-2011 Типовая инструкция по эксплуатации производственных зданий и сооружений атомных станций.
12. СП 2.6.1.28-2000 Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций (ПРБ АС-99).
13. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений.
14. СП 43.13330.2012 «СНиП 2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий».
15. СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
16. СТО СРО-Г 60542954 00007–2015. Геодезический мониторинг зданий и сооружений в период строительств и эксплуатации.
17. Hiroshi Akima. A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures, Изд.: ESSA Research Laboratories, Institute for Telecommunication Sciences, Boulder Journal of the ACM (JACM) Volume 17 Issue 4, 1970. С. 589–602.
18. Holt C.C. Forecasting trends and seasonals by exponentially weighted moving averages // O.N.R. Memorandum, Carnegie Inst. of Technology. 1957. № 2.
19. Theil H., Wage S. Some observations on adaptive forecasting // Management Science. 1964. Vol. 10. Mb 2.
20. Winters P.R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages // Management Science. 1960. Vol. 6. № 3.

Фялковский А.Л.

МИИГАиК, геодезический факультет, кафедра геодезии, г. Москва, a.fialkovskii@mail.ru

КОНЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РАЙОНАХ АКТИВНОГО ПРОТЕКАНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Геодезический мониторинг инженерных сооружений подразумевает высокую точность производства измерений и регулярность выполнения работ. Для этого необходимо иметь стабильные исходные пункты, которые с течением времени сохраняют своё положение. Такие опасные геологические процессы, как землетрясения и оползни, вызывают смещения пунктов геодезических сетей. Изменение координат исходных пунктов не позволяет связать воедино результаты измерений, полученные до и после сдвига. А регулярные смещения исходных пунктов (что характерно для ряда регионов России) делают ведение геодезического мониторинга практически невозможным на должном уровне качества и точности.

Для решения обозначенной проблемы разрабатывается следующая концепция геодезического мониторинга инженерных сооружений в районах активного протекания опасных геологических процессов:

1. Развитие геодезической сети на территории изучаемого объекта и определение координат деформационных марок производится на основе линейно-угловых построений с использованием электронного тахеометра.
2. В качестве исходных пунктов геодезической сети используются постоянно действующие базовые станции (ПДБС) Глобальных Навигационных Спутниковых Систем (ГНСС), совмещённые с призмами 360° для возможности визирования на них и измерения расстояний.
3. ПДБС необходимо устанавливать в местах, благоприятных для спутниковых наблюдений – на открытых территориях при отсутствии отражающих поверхностей, при отсутствии препятствий для сигнала от спутников. На территории промышленных площадок целесообразно закреплять пункты на сооружениях, возвышающихся над окружающими объектами. Кроме того, расположение исходных пунктов должно удобно для выполнения наблюдений на них с земли.
4. Во-первых, высокая динамика района работ (вызванная, например, сейсмической или оползневой активностью), во-вторых, закрепление пунктов ПБДС на высоких сооружениях, приводит к тому, что координаты этих пунктов могут постоянно изменяться. Смещения пунктов могут носить периодический характер (вызванный, например, нагревом-остыванием сооружения, на котором он закреплён), эпизодический характер (смещения пунктов после землетрясений) либо иметь тренд (например, при слабо выраженной оползневой активности).

5. На основе выводов в пункте 4 можно заключить, что исходным пунктам сети нельзя приписывать постоянные координаты. Точные значения координат исходных пунктов должны регулярно переопределяться из обработки ГНСС-наблюдений. В этом случае могут быть учтены все смещения, которым подвержены исходные пункты. Актуальные координаты исходных пунктов регулярно выкладываются в Интернет для обеспечения возможности постоянного доступа.
6. Координаты ПДБС, полученные в глобальной системе координат (СК), должны быть пересчитаны в локальную систему координат с целью их возможного использования в качестве исходных пунктов линейно-угловых сетей.
7. Дальнейшие работы по деформационному геодезическому мониторингу (съёмка деформационных марок, повторные топографические съёмки склонов и т. д.) выполняются с использованием электронного тахеометра в локальной системе координат. Съёмочное обоснование развивается либо с помощью обратных линейно-угловых засечек, либо путём проложения тахеометрических ходов. Привязка всех линейно-угловых построений выполняется к круговым призмам, расположенным под антеннами ПДБС.
8. При привязке линейно-угловых построений к исходным пунктам следует использовать актуальные координаты, представленные в локальной СК. При этом либо тахеометр или контроллер автоматически получают актуальные координаты пунктов, либо сохранённые ранее в тахеометре координаты уточняются и изменяются вручную.

При реализации предложенной концепции необходимо более подробно рассмотреть некоторые вопросы:

- Вычисление координат ПДБС при условии, что пункты обладают динамикой.
- Точность координат исходных пунктов и необходимость учёта ошибок исходных данных.
- Сохранение стабильности системы координат со временем.
- Совместное использование спутниковой сети и линейно-угловых измерений.

Обработка данных ПДБС на динамическом объекте

При решении вопроса обработки данных ПДБС на динамических объектах следует помнить, что использование режима RTK хотя и позволяет сразу получать актуальные координаты, но, во-первых, подразумевает наличие стабильной базовой станции, во-вторых, приводит к понижению точности результатов в сравнении с обработкой в режиме «статика». Обработка в режиме

«статика» обеспечивает наибольшую точность определения координат, однако не учитывает возможную динамику пункта.

Для выявления смещений каждого пункта необходимо временной ряд разделить на интервалы, каждый из которых следует обработать в режиме «статика». Длительность интервала для каждого пункта определяется индивидуально в зависимости от динамики пункта. Для повышения детальности траектории смещений пункта следует воспользоваться наложением интервалов (рис. 1). Методика обработки результатов мониторинга динамических объектов подробно исследована и описана [1, 2].

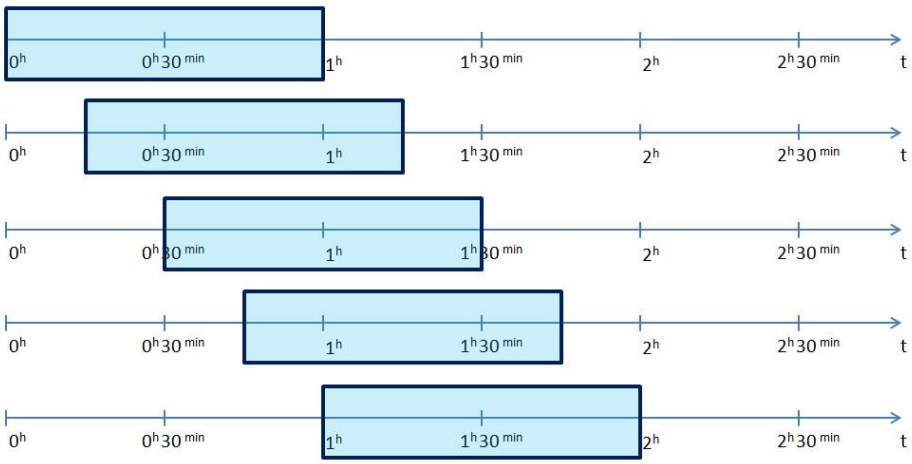


Рис. 1. Наложение интервалов, каждый из которых обрабатывается в режиме «статика»

Точность координат исходных пунктов и необходимость учёта ошибок исходных данных

Использование метода наложения интервалов совместно с обработкой в режиме «статика» позволяет получить точность определения траектории смещающегося объекта (при слабой динамике) на уровне заявленной точности работы оборудования [1].

При использовании ПДБС, совмещённой с призмой 360°, следует учитывать точность наведения на отражатель. Для призм 360° общая 3-D точность наведения на отражатель составляет 2-5 мм в зависимости от характеристик конкретного отражателя. Объединение этих ошибок (ошибки определения координат из обработки ГНСС-наблюдений $m_{гнсс}$ и общей 3-D ошибки наведения на отражатель $m_{отр}$) позволяет получить ошибку пункта $m_п$, с которой координаты этого пункта доступны наблюдателю (табл. 1).

В таблице 2 показаны расстояния, для которых ошибка координат пункта $m_п$ в три раза меньше суммы ошибок измерения расстояния и измерения горизонтального угла. Вычисления в таблице 2 приведены для тахеометров с разными ошибками измерения горизонтального угла $m_β$ и ошибками измерения

расстояния (ошибка измерения расстояния выражена в виде $x_{мм} + y_{мм}\ ppm$). При расстояниях до исходных пунктов больших или равных значениям, указанным в таблице 2, ошибки исходных данных могут не учитываться, так как они будут незначительны относительно ошибок измерений. При геодезическом мониторинге инженерных сооружений расстояния до исходных пунктов, обычно, бывают меньше расстояний, указанных в таблице 2. В этом случае ошибки координат исходных пунктов следует учитывать.

Таблица 1

$m_{гнсс}$, мм	$m_{отр}$, мм	$m_{п}$, мм
3	2	3,6
3	3	4,2
3	4	5,0
4	4	5,6
4	5	6,4
5	5	7,1
6	3	6,7
6	4	7,2
6	5	7,8

Таблица 2

$m_{п}$, мм	min расстояние, км							
	$m_{\beta} = 1''$		$m_{\beta} = 2''$		$m_{\beta} = 5''$			
	1+1ppm	2+2ppm	1+1ppm	2+2ppm	2+2ppm	3+2ppm	5+2ppm	5+3ppm
4	2,16	1,56	1,14	0,90	0,39	0,30	0,00	0,00
5	2,76	2,16	1,44	1,26	0,52	0,45	0,00	0,00
6	3,36	2,76	1,74	1,56	0,66	0,60	0,35	0,33
7	3,96	3,36	2,04	1,86	0,80	0,72	0,54	0,51
8	4,56	3,96	2,34	2,16	0,94	0,85	0,69	0,67

Сохранение стабильности системы координат со временем

Локальная система координат, применяемая для наземных построений, может быть задана произвольно исходя из удобства решения конкретных задач. При условии высокой динамики района работ нельзя закреплять систему координат по одному из пунктов сети (нет никакой гарантии в стабильности этого или любого другого пункта). Надёжнее закреплять СК совокупностью всех пунктов сети. Наличие непрерывных измерений на каждом из пунктов позволяет с необходимой регулярностью выполнять обработку и уравнивание сети по длительным интервалам наблюдений. Судить о стабильности сети можно по сохранению её геометрических параметров, т. е. по взаимному положению пунктов.

Совместное использование спутниковой сети и линейно-угловых измерений

Координаты X_i, Y_i, Z_i при спутниковых измерениях вычисляются в глобальной системе координат. При линейно-угловых измерениях в локальной системе координат используется действительное поле силы тяжести, соответственно, вертикальная ось ориентирована по направлению вектора силы тяжести и не связана с направлением нормали к поверхности эллипсоида, применяемого в геодезической системе координат. Для связи этих систем координат необходимо знать уклонение отвесных линий и ориентировку локальной системы координат относительно глобальной. Для нахождения уклонений отвесных линий необходимо проведение высокоточных астрономических наблюдений, что является трудоёмким и затратным процессом. Однако существуют алгоритмы, позволяющие выполнить связь глобальной и локальной систем координат без выполнения астрономических наблюдений.

Одним из таких алгоритмов является метод Прокруста [3, 4]. В методе Прокруста применяется принудительное приведение одних результатов к другим. Исходными данными являются координаты пунктов X_i, Y_i, Z_i в глобальной системе координат и результаты линейно-угловых измерений между всеми пунктами сети. Для этой цели электронный тахеометр устанавливается на один из исходных пунктов в центре сети, последовательно выполняется визирование на остальные исходные пункты и измеряются: β_i – горизонтальный угол между направлениями на соседние пункты, ν_i – вертикальный угол на каждый из пунктов, D_i – наклонная дальность до каждого из пунктов.

Следует отметить, что при отсутствии видимости с одного исходного пункта на остальные, необходимые величины β_i , ν_i , D_i можно вычислить по результатам наблюдений, выполненных электронным тахеометром путём развития наземной сети.

По результатам линейно-угловых измерений вычисляются приращения координат между пунктами в локальной СК (1) и строится уравнение связи координат пунктов в локальной и глобальной системах координат (2):

$$S_i \cdot \begin{bmatrix} \cos\beta_i \cdot \cos\vartheta_i \\ \sin\beta_i \cdot \cos\vartheta_i \\ \sin\vartheta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ z_i - z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ z_i - z_0 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Основной задачей связи локальной и глобальной систем координат является нахождение вектора параметров $R(\varphi, \lambda, \Sigma)$, который зависит от

астрономической широты φ, астрономической долготы λ и от разворота Σ локальной СК относительно глобальной.

Метод Прокруста позволяет определить неизвестные параметры φ, λ, Σ. Зная и астрономические и геодезические (из обработки ГНСС-наблюдений) координаты исходного пункта, можно вычислить уклонения отвесных линий [3, 4].

Вычисленные параметры перехода $R(\varphi, \lambda, \Sigma)$ позволяют осуществлять пересчёт координат между локальной глобальной системами координат. Строго говоря, эти параметры определяются только для центрального пункта сети, с которого были выполнены линейно-угловые наблюдения на остальные исходные пункты. Применение вычисленных параметров перехода для всего района работ возможно при условии сравнительно небольшого размера территории и спокойного характера поля силы тяжести и определяется индивидуально в каждом конкретном случае.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00391 мол_а.

Список литературы

1. Фялковский А.Л. Методика повышения детальности траектории и точности вычисления координат динамических сооружений при мониторинге с использованием ГНСС // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка». 2016. Т 60. № 4. С. 48–55.
2. Фялковский А.Л. Создание современных комбинированных сетей для оценки деформационной опасности городских агломераций и промышленных площадок // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка». 2013. № 6. С. 16–19.
3. Awange J.L., Grafarend E.W. Solving algebraic computational problems in geodesy and geoinformatics. Springer-Verlag. 2005. 333 p.
4. Grafarend E.W., Krumm F.W., Schwarze V.S. Geodesy – the challenge of the 3rd millennium. Springer-Verlag. 2003. 473 p.

Аникин А.С.[1], Козыренко О.Н.[1], Тимофеев А.Н.[1], Чухвачева Ю. Е.[2]

[1]ООО «Новосибирский инженерный центр», г. Новосибирск, nica.nsk@mail.ru
[2]АО «Сибгеоинформ», г. Новосибирск, info@sibgi.ru

ПЕРЕВОД ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В РЕГИОНАЛЬНУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ И РАБОТА С НИМИ НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Существующее положение топографо-геодезических и кадастровых работ в Новосибирской области

Постановлением Администрации Новосибирской области № 471-па от 25 декабря 2009 г. в отношении территории Новосибирской области (НСО) установлена местная система координат (МСК НСО) [3], а постановлением № 608-п от 28 декабря 2011 г. она введена в действие [4]. Согласно приведенным документам система координат МСК НСО служит для проведения геодезических и топографических работ при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров, использования наземной инфраструктуры областного сегмента глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС.

Можно выделить два основных преимущества МСК НСО:

1) она является единой системой координат на всю территорию НСО;

2) она основана на СК-95 которая существенно менее деформирована, чем СК-42.

В НСО имеется большой фонд инженерно-топографических материалов населенных пунктов в местных системах координат на базе СК-42. Реально систематизированный фонд инженерно-топографических планов ведется только в г. Новосибирске (в МБУ «Геофонд») с 1998 года, а с 2004 года с ним работают абсолютно все топографо-геодезические организации, проводящие работы в городе по единой технологии. Новосибирск – один из первых городов в России, в котором весь фонд топографических планов масштаба 1:500 переведен в цифровую форму. Технология ведения самого фонда, включая выдачу топографических планов, их приемку и контроль, «отточена» годами. Также проверена временем и единая технология обновления топографических планов широким кругом пользователей и является достоянием региона.

Основная технология обновления планов базируется на программном обеспечении MicroStation и Descartes. На момент ее разработки это было единственное ПО, способное выполнять обновление растров.

В пригороде Новосибирска и в области ситуация обстоит по-другому. Кадастровые работы в полном объеме выполняются в системе МСК НСО. Топографо-геодезические работы выполняются в различных локальных системах координат, основанных на СК-42, либо вообще не связанных с государственными системами координат. Во многих случаях, исходные данные

по установлению таких локальных систем координат (параметры или ключи) – потеряны. В одном населенном пункте можно встретить несколько слабо связанных систем, основой которых были строительные сетки. Для сопряжения кадастровых границ участков и геодезических планов требуется пересчет координат, при условии достаточно высоких и непостоянных на территории области деформаций между системами СК-42 и СК-95.

Возникает необходимость реализации ведения как фондов инженерно-топографических материалов населенных пунктов, так и самих топографо-геодезических и кадастровых работ в единой системе МСК НСО.

Основные проблемы решения этого вопроса:

– перевод имеющихся топографических материалов в систему МСК НСО;

– создание разграфки и номенклатуры листов карт и планов в МСК НСО;

– согласование прямоугольной разграфки топографических планшетов местных систем координат населенных пунктов с картографической разграфкой;

– определение точностных характеристик перевода топографических планов из прямоугольной сетки в картографическую;

– выбор лицензионной ГИС-системы, позволяющей выполнять вышеуказанный комплекс работ, а так же имеющей возможность адаптации под отработанную технологию ведения фондов в МБУ «Геофонд» с перспективой перехода на растр-векторный формат данных.

Перевод имеющихся топографических материалов в систему МСК НСО

Перевод топографических планов населенных пунктов, представленных в цифровом растровом или векторном виде, из одной системы в другую мало чем отличается от пересчета координат точек из системы в систему, и особых проблем не вызывает. Если имеются параметры связи локальной системы координат населенного пункта и местной МСК НСО, то дальнейший перевод графического материла (топопланов) в новую систему выполняется различными ГИС-системами, например, такими как MapInfo, AutoCad Map, ГИС Карта и другими. На рисунке 1 приведена схема пересчета координат точек, а также топографических планов из локальных систем координат в МСК НСО.

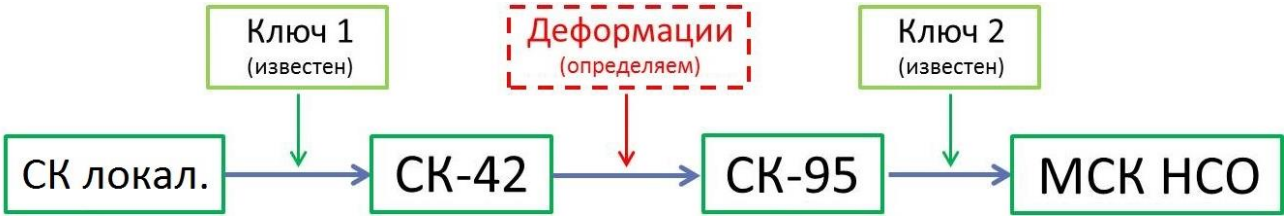


Рис. 1. Схема пересчета координат из локальных систем координат в МСК НСО

Разграфка и номенклатура листов карт и планов в МСК НСО

В основе построения разграфки в МСК НСО предлагается использовать листы масштаба 1:100 000 в проекции Гаусса-Крюгера и принцип государственной разграфки топографических карт и планов, но рамки листов сместить относительно рамок листов соответствующего масштаба в государственной разграфке и привязать к границам зон МСК НСО. Такая схема позволит при сохранении стандартного принципа государственной разграфки обеспечить ее связь с местной системой координат, используемой в регионе [5].

Территория НСО разделена на 4 трехградусные зоны. Таким образом, каждая 3-градусная зона будет включать в себя 6 колонн и 13 рядов листов масштаба 1:100 000.

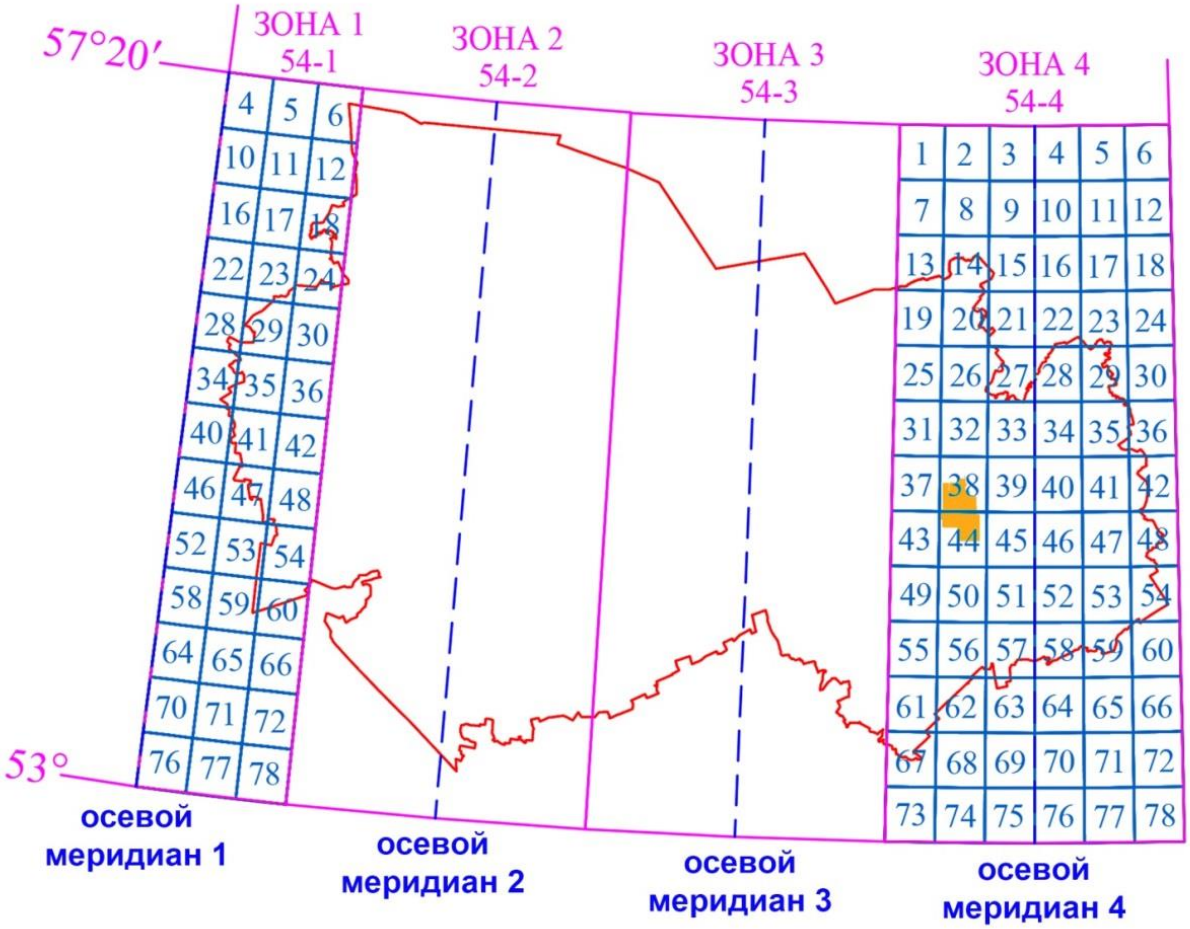


Рис. 2. Схема разграфки листов карт масштаба 1:100 000 в МСК НСО

Дальнейшее деление разграфки выполняется в соответствии с установленными требованиями: лист масштаба 1:100 000 делится на 256 листов масштаба 1:5 000; делением листа масштаба 1:5 000 на девять частей получаем

лист масштаба 1:2 000 [2]. Фрагменты разграфки и номенклатуры показаны на рис. 3-4.

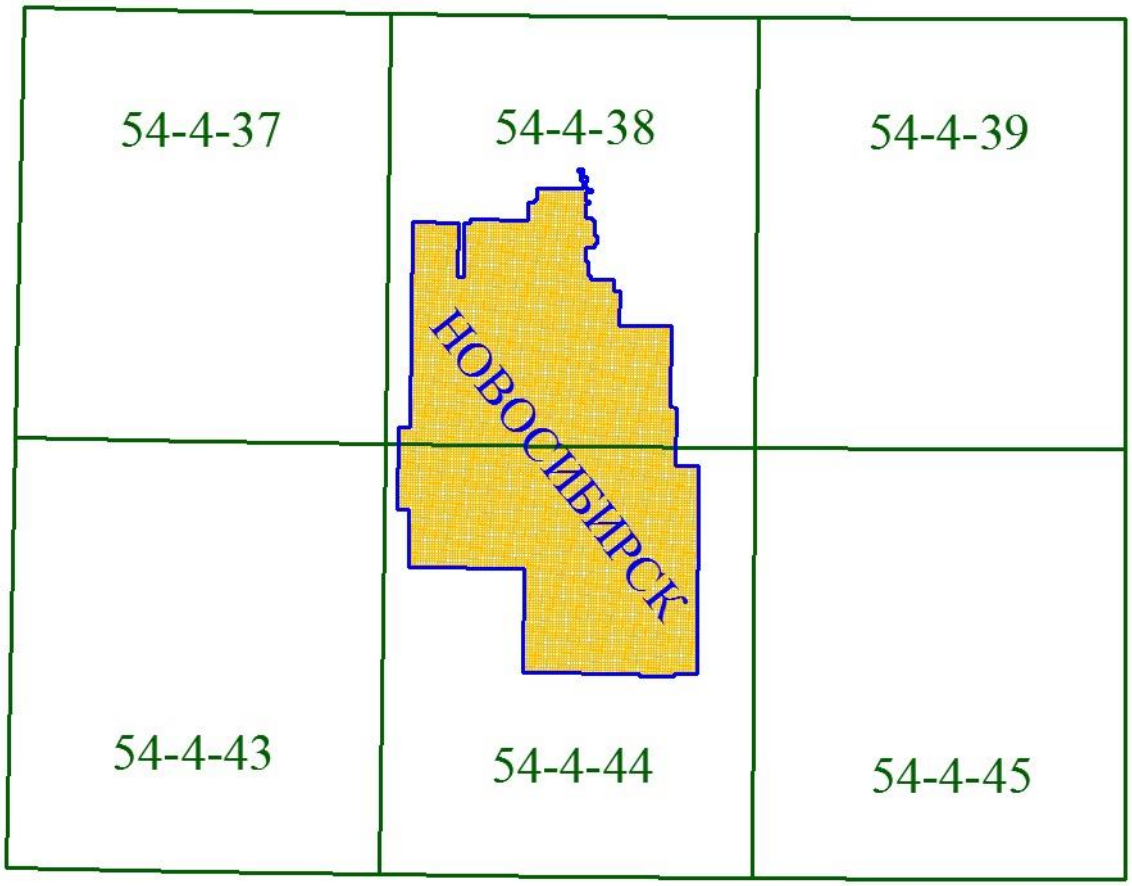


Рис. 3. Схема расположения планов г. Новосибирска
на листах масштаба 1:100 000

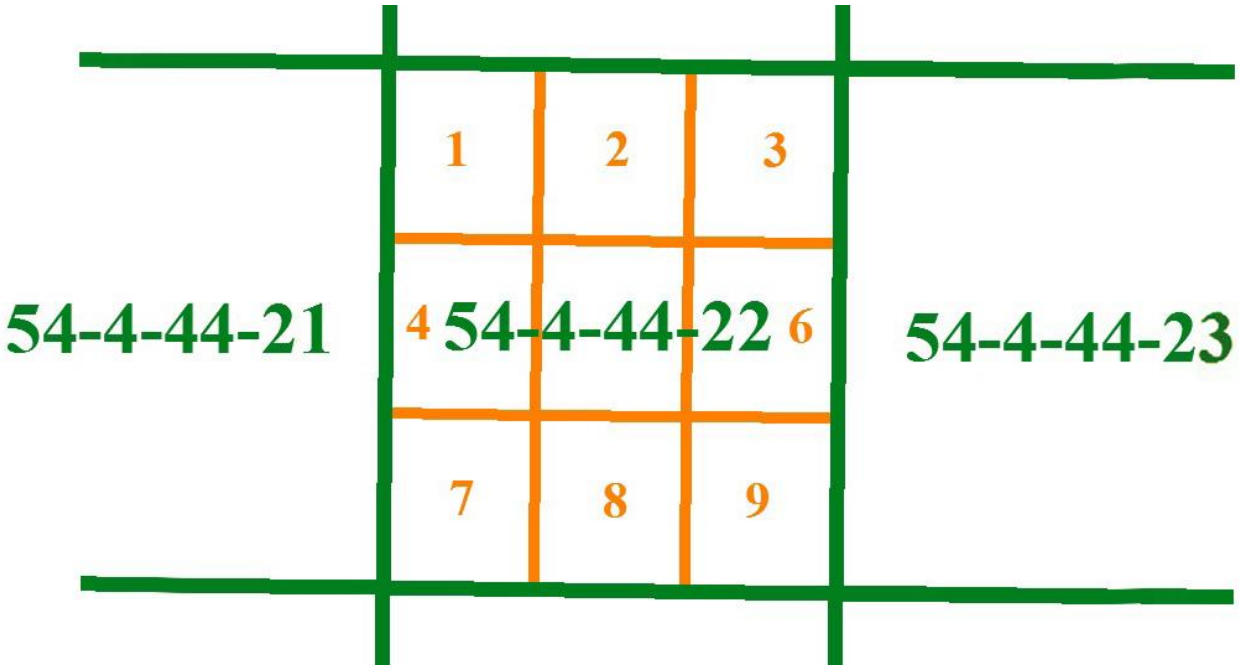


Рис. 4. Фрагмент разграфки листа 54-4-44-22 на листы масштаба 1:2 000

Согласование прямоугольной разграфки топографических планшетов местных систем координат населенных пунктов с картографической разграфкой

В этом разделе возникает один из ключевых моментов, а именно согласование существующего большого накопленного фонда топографических планов населенных пунктов в локальных системах координат с прямоугольной координатной сеткой и картографической сетки.

«Местной системой координат принято называть систему плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса с местной координатной сеткой. Местные системы создаются в государственной системе геодезических координат в проекции Гаусса с элементами эллипсоида Красовского. Термин «местные системы координат» не относится к пространственным прямоугольным координатам *X, Y, Z* и к геодезическим координатам *B, L*. Для точки с координатами *B, L* плоские прямоугольные координаты *x, y* в проекции Гаусса-Крюгера и $x_м$, $y_м$ в проекции Гаусса с местной координатной сеткой разные» [5].

Таким образом, в основе местных и локальных систем лежат абсолютно разные принципы разграфки и номенклатур, с разными геометрическими характеристиками, но с одинаковой проекцией Гаусса-Крюгера и на одном эллипсоиде. Эти системы закреплены на местности одними и теми же геодезическими пунктами с разницей в числовом представлении координат.

Обратим внимание на тот факт, что сегодня, при компьютерных технологиях работы с топографическими планами, пользователь работает с понятием «территория» и его не интересует, из каких частей складывается цифровой план этой территории. Топографические планы масштаба 1:500, повсеместно используемые в населенных пунктах, исторически представляли собой планшеты на жесткой основе размером 50*50см – в период ручного обновления топографических планов это был оптимальный размер для комфортной работы с документом. При компьютерной обработке аналогичный планшет – слишком малая единица топографических данных.

Наиболее приемлемое решение – кардинальный переход с локальной разграфки на картографическую, суть которой – в выборе в качестве единицы информации картографической трапеции масштаба 1:2 000 и преобразовании существующих растровых топографических планов прямоугольной разграфки (планшетов масштабов 1:500, 1:1 000, 1:2 000) в картографическую разграфку (в единое растровое поле с рамкой трапеции и номенклатурой листа масштаба 1:2000). При этом детальность топографического плана, требования к его содержанию и оформлению сохранятся.

Лист плана масштаба 1:2 000 имеет форму трапеции, однако отличия от прямоугольника минимальны и визуально их не определить. В результате создается единое непрерывное поле картографических данных на всю территорию области. Используемую повсеместно в населенных пунктах

прямоугольную разграфку нельзя распространить на такую большую территорию без учета поправок за кривизну Земли.

В местной разграфке топографических планов предлагается использовать следующий порядок номенклатуры листов:

54-X-XX-(XXX)-Y,

где 54 – идентификатор Новосибирской области, «X» – номер зоны МСК НСО (от «1» до «4»), «XX» – порядковый номер листа масштаба 1:100 000 (от «01» до «78»), «XXX» – порядковый номер листа масштаба 1:5 000 (от «001» до «256»), «Y» – буква, соответствующая листу масштаба 1:2 000 (от «а» до «и»).

Определение точностных характеристик перевода топографических планов из прямоугольной сетки в картографическую

В связи с тем, что осевые меридианы МСК НСО и местной системы координат г. Новосибирска не совпадают (осевой меридиан МСК НСО проходит приблизительно в 50 км восточнее г. Новосибирска), топопланы города Новосибирска, представленные в виде планшетов, окажутся в МСК НСО немного развернутыми, а также будут представлены в виде трапеций, пусть и с незначительными искажениями.

Применительно к Новосибирской области, максимальные искажения длин линий при редуцировании на плоскость в проекции Гаусса составят около 1/8 100, а, применительно к городу Новосибирску – около 1/23 000.

Выбор лицензионной ГИС системы

Основными требованиями к программному обеспечению является его отношение к классу геоинформационных систем и максимальное обеспечение всех технологических приемов, отработанных годами в системе ведения цифрового плана г. Новосибирска, особенно обновления растровых данных. Этим основным критериям отвечает Российская геоинформационная система «Панорама», разработанная в КБ «Панорама»(г. Ногинск, МО).

Профессиональная ГИС «Панорама» – это универсальная геоинформационная система, имеющая средства создания и редактирования цифровых карт и планов городов, обработки данных ДЗЗ, выполнения различных измерений и расчетов, поисковых операций, построения 3D моделей, обработки растровых данных, средства подготовки графических документов в цифровом и бумажном виде, обмена данными с другим наиболее распространенным ПО, а также инструментальные средства для работы с базами данных. «Гибкость» в настройке позволяет полностью адаптировать программу под нужды конкретного пользователя – от изменения вида рабочего

окна и редактирования классификатора до создания дополнительных приложений.

Программа позволяет реализовать действующую в настоящее время в Новосибирске технологию обновления растровых материалов, а также содержит инструменты для обновления векторных данных, обеспечивающие автоматизированную стыковку планшетов как по элементам геометрии, так и по семантике объектов.

Кроме того, ГИС «Панорама» позволяет наладить обмен данными с пользователями удаленно, посредством серверных решений, что является очень актуальным и создает потенциал для создания единого фонда пространственных данных на территорию региона.

Список литературы

1. Федеральный закон от 30.12.2015 N 431-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Приказ Минэкономразвития России от 06.06.2017 N 271 «Об утверждении требований к государственным топографическим картам и государственным топографическим планам, включая требования к составу сведений, отображаемых на них, к условным обозначениям указанных сведений, требования к точности государственных топографических карт и государственных топографических планов, к формату их представления в электронной форме, требований к содержанию топографических карт, в том числе рельефных карт».
3. Постановление администрации Новосибирской области от 25.12.2009 № 471-па «О местной системе координат, устанавливаемой в отношении Новосибирской области».
4. Постановление Правительства Новосибирской области от 28.12.2011 № 608-п «О введении в действие местной системы координат Новосибирской области».
5. Герасимов А.П. Спутниковые геодезические сети. М: ООО «Издательство «Проспект», 2012. 176 с.

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

Стурман В.И.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности, г. Санкт-Петербург, st@izh.com

КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Карта применяется при инженерно-экологических изысканиях так же, как и при других видах исследований Земли, в двух разных функциях: инструмента исследования при планировании и выполнении работ, и важнейшей формы представления результатов в составе графических приложений. Роль инструмента выполняют топооснова, космофотоснимки, созданные ранее тематические карты. Своды правил, от СНиП 11-02-96 [1] к СП 47.13330.2012 [2] и далее к СП 47.13330.2016 [3] регламентируют использование картографических материалов в самом общем виде.

Топографическая карта, помимо средства ориентирования на местности, выполняет также роль её модели. Работу с картой начинают с выделения речной и овражно-балочной сети: оконтуривают днища речных долин, оврагов, балок и других понижений рельефа. Междуречные пространства разделяют по крутизне на элементарные контуры с примерно одинаковыми расстояниями между горизонталями. Выявляемые перегибы поверхностей редко бывают случайными, поэтому во многих случаях таким образом можно предварительно наметить участки с разными почвами и подстилающими их грунтами.

Работу с топографическими картами дополняют изучением космических снимков, в т.ч. доступных в интернете. Эти материалы позволяют выявить участки нарушенных земель и границы территорий с разным характером использования, особенно на незалесенной местности. Для техногенных элементов, как правило, характерны прямолинейные или угловатые очертания. Резкая смена фотоизображения по прямолинейным границам обычно отражает смену угодий, полей севооборота и др. Такие границы интересны как границы производных (антропогенных) модификаций фаций и урочищ. При дешифрировании используются как прямые признаки объектов, непосредственно видимые на снимке, так и косвенные, базирующиеся на закономерных связях, существующих в природных комплексах.

Состав картографических приложений итоговых документов инженерно-экологических изысканий в сводах правил регламентируется, но не всегда оптимально. В числе отчетных материалов во всех трех нормативных документах указаны:

– карта фактического материала;

– карта современного экологического состояния;

– карта прогнозируемого экологического состояния;

– карты почв, растительности, животного мира;

– другие картографические материалы.

Карта фактического материала – традиционный элемент графической части отчетных материалов. Все точки получения экологической и другой информации показываются значками и нумеруются. Описания обнажений, скважин, результаты анализов и опытов приводятся в текстовых приложениях под теми же номерами. Таким образом, карта фактического материала выполняет роль «ключа» ко всему отчету, показывая какие именно данные имеются для тех или иных точек и участков местности. Некоторые проблемы существуют с отображением биологических наблюдений, выполняемых в маршруте непрерывно, без обязательной привязки к отдельным точкам. Возможным решением здесь может быть показ трасс маршрутов способом линий движения.

Карта существующего экологического состояния. Её содержание, регламентируемое согласно п. 8.23 СП 11-02-96 [1], должно включать как элементы и характеристики местности, реально необходимые для оценки экологической обстановки (распространение различных типов ландшафтов, расположение основных источников загрязнения и их характеристики, результаты геохимических, гидрохимических, радиационных и других исследований), так и дублирующие характеристики (функциональное зонирование территории, расположение особо охраняемых участков и зон ограниченного использования, оценку современного экологического состояния территории и районирование по условиям экологического благополучия природной среды), и не вполне однозначные показатели, не обеспеченные методиками определения (возможные пути миграции и участки аккумуляции загрязнений, расположение участков особой чувствительности к воздействиям опасных природных и техноприродных процессов). Для оценки экологического состояния ландшафтов может применяться классификация экологических ситуаций по Б.И. Кочурову [4], в зависимости от характера использования земель. Эта классификация далека от совершенства и официального статуса не имеет, но другие подобные разработки отсутствуют.

Карта прогнозируемого экологического состояния согласно п. 8.23 СП 11-02-96 [1] должна содержать:

– ожидаемые изменения в ландшафтной структуре территории (деградация почв, трансформация растительных сообществ, сокращение лесных площадей и т.п.);

– ожидаемые изменения отдельных компонентов окружающей природной среды (подъем уровня грунтовых вод, развитие заболачивания, подтопления, засоления, дефляции и других опасных процессов, деградация мерзлоты);

– динамику предполагаемого распространения различных типов и видов загрязнений;

– ожидаемые изменения общих оценок территории по степени экологического благополучия природной среды.

За исключением изменений в ландшафтной структуре, связанных с отводом и застройкой земель в связи с намечаемой деятельностью, остальные виды возможных изменений (подъем уровня грунтовых вод, развитие заболачивания, подтопления, засоления, дефляции и других опасных процессов, деградация мерзлоты) не подкреплены методиками их прогнозирования и оценки. Для расчета распространения загрязнений в водной и воздушной среде методики существуют, но их реализация требует материалов технологической части проекта, чего на стадии изысканий быть не должно. Обоснованный прогноз воздействия объекта невозможен без его технических характеристик. Расчеты загрязнения водной и воздушной среды создаются на стадии разработки проектной документации и представляются в составе ПМ ООС.

Как результат, на практике содержание карт прогнозируемого экологического состояния сводится к декларированию отсутствия ожидаемых изменений экологического состояния, за исключением смены характера почв и растительности на территориях, отводимых под проектируемый объект. Поэтому в рамках существующей нормативной базы целесообразность составления карт прогнозируемого экологического состояния вызывает сомнения, по крайней мере, на стадии изысканий.

Другие картографические материалы. Карты почв, растительности, животного мира опираются на многолетние традиции почвенного, геоботанического и зоогеографического картографирования. Остальные картографические материалы в целом имеют ситуативный характер. Однако среди них следует особо отметить ландшафтную карту, как удобную основу для составления карт существующего и прогнозируемого экологического состояния. В современном понимании ландшафт как природный комплекс включает не только его морфолитогенную основу и закономерно увязанную с ним экосистему, но и его хозяйственное использование с вытекающими экологическими последствиями. Поэтому карта современного экологического состояния, как основной результат инженерно-экологических изысканий, едва ли много потеряла бы в информативности, если бы её содержание ограничилось показом природных и техногенных ландшафтов наиболее низкого иерархического уровня (фации и субфации) и характеристик загрязнения, с детализацией их по видам загрязнения на отдельных дополнительных картах.

Масштабы и территориальные рамки отчетных карт инженерно-экологических изысканий. Инженерные изыскания для строительства могут и должны быть включены в общегосударственный процесс создания и обновления, хранения и регламентированного использования топографических, геологических, почвенных, лесных, землеустроительных и других карт. Фондовые материалы – необходимый информационный источник на стадии разработки программ подготовки к полевым работам, а результаты инженерных

изысканий для строительства должны включаться в изученность территории и повышать её уровень. Однако текущая практика изысканий, в частности инженерно-экологических, не вполне этому соответствует.

Вопрос о том, какими критериями следует руководствоваться при определении границ территории изысканий, в сводах правил не только не решен, но даже не поставлен. Предполагается, что пятном застройки можно ограничиваться, когда речь идет о внутренних аспектах экологической безопасности объекта [5] (опасные природные процессы, радиационная обстановка). В вопросах же внешней экологической безопасности (воздействия объекта на атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, биоту) территорию изысканий следует расширять, как минимум, на санитарно-защитные зоны нормативного размера. Поэтому было бы полезно оговорить в своде правил возможность разного территориального охвата для разных видов работ инженерно-экологических изысканий.

Для прикладных карт понятие масштаба включает не только соотношение длин отрезков на карте и расстояний на местности, но и требования к содержанию: точности определения положения объектов и обозначения природных границ, детальности классификаций и т.п., полноте отображения определенных элементов содержания. С этой точки зрения, трудно охарактеризовать рекомендованные в п. 8.3.1.4 СП 47.13330.2016 [3] и аналогичных пунктах предыдущих сводов правил масштабы (1:10000 - 1:5000, а при необходимости и 1:2 000–1:1 000 для площадных объектов) иначе, как избыточно крупные. Это требование подталкивает исполнителей к использованию в качестве топоосновы результатов инженерно-геодезических изысканий и вследствие этого - к ограничению территории инженерно-экологических изысканий пятном застройки.

Масштабы карт, создаваемых при инженерно-экологических изысканиях, следовало бы увязать с масштабами (и детальностью) соответствующих карт, созданных в рамках систематического изучения природных ресурсов страны и хранящихся в фондах и архивах: 1:200000–1:50000 для геологических, 1:50000-1:10000 для почвенных и лесных.

Список литературы

1. Кочуров Б.И. География экологических ситуаций (экодиагностика территории). М., 1997. 131 с.
2. СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
3. СП 47.13330.2012 «СП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
4. СП 47.13330.2016 «СП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
5. Стурман В.И. Вопросы внутренней и внешней экологической безопасности проектируемых объектов // Инженерные изыскания. 2016. № 5–6. С. 40–45.

Сердцев П.О.

ООО «НПО «Империал», г. Ижевск, istvi@yandex.ru

ДЕТАЛИЗАЦИЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТИ ГРУНТА

Речь в данной работе пойдёт о детализации и практической классификации грунтов, а также об опасности присвоения неверного класса и фальсификации данных (без проведения биотестирования). Ответственность за нарушение Закона, со всеми вытекающими последствиями, в сложившейся на сегодняшний день системе лежит на изыскателях. Однако не стоит забывать о полной зависимости последних от заказчиков, которые вполне могут повлиять на заключения изыскателей.

В нашей стране сложилась ненормальная ситуация с определением класса опасности грунтов при проведении инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации для строительства, а точнее при санитарно-экологическом обследовании грунтов. Иными словами, в настоящее время грунту без должных исследований может быть присвоен V класс опасности, что позволяет использовать его без ограничений, а ответственные за это органы исполнительной власти никаких прав и возможностей проверить достоверность данной информации не могут.

Особенно неприятно, что происходит это в том числе и в мегаполисах, а также в моногородах, где в полной мере функционирует система обращения с грунтами, образующимися в ходе проведения строительных/монтажных работ.

Может возникнуть вопрос – кому может понадобиться такая опасная фальсификация? Какая выгода, собственно, изыскателям? А ответ простой: рыночная экономика, прижимистые заказчики, отсутствие контроля и просто жадность…

Цена и нормативные документы

В соответствии с Приложением 1 Постановления Правительства Москвы «О введении в опытную эксплуатацию Системы регулирования, учета и контроля перемещения грунта на строительные объекты г. Москвы» № 259 от 06.04.1999 (с изм. от 06.03.2013), на грунты распространяются требования природоохранного законодательства РФ в части обращения с отходами производства и потребления. Следовательно, определение класса их опасности является обязательным для принятия решения о направлении на утилизацию или перемещение, когда грунты не могут быть использованы на строительной площадке.

Согласно статьи 4.1 Федерального закона «Об отходах производства и потребления» № 89-ФЗ от 24.06.1998 (с изм. на 29.06.2015) (далее – Закон), отходы в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую

среду подразделяются в соответствии с критериями, установленными федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим государственное регулирование в области охраны окружающей среды. Такие критерии установлены Приказом Минприроды России «Об утверждении критериев отнесения отходов к I – V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» № 536 от 04.12.2014 (действует с 11.01.2016; далее – Приказ).

Данным Приказом отнесение отхода к классу опасности для окружающей среды (ОС) может осуществляться в соответствии с двумя критериями:

Критерий (1): по кратности разведения водной вытяжки из отхода, при которой вредное воздействие на гидробионты отсутствует (биотестирование водной вытяжки отхода на двух тест-объектах из разных систематических групп);

Критерий (2): по степени опасности отхода для ОС (по результатам лабораторного определения химических показателей отхода).

В соответствии с п.15 Приказа, «для установления класса опасности отхода применяется: либо Критерий (1) – (…), либо Критерий (2) – (…)». Однако, в п.17 Приказа совершенно четко указано, что «в случае, если на основании применения Критерия (1) (…) получен V класс опасности, для его подтверждения проводится проверка с применением Критерия (2) (…)».

Таким образом, присвоение грунту V класса опасности на основании расчета без проведения биотестирования грунта является прямым нарушением действующего законодательства Российской Федерации.

В соответствии с п.4 ст.10 Закона, «при ликвидации горных выработок могут использоваться вскрышные и вмещающие горные породы … в соответствии с проектом ликвидации горных выработок». Таким образом, грунты V класса опасности могут использоваться при засыпке (рекультивации) карьеров, проведении вертикальной планировки территории и т.п. без дополнительного обезвреживания.

В то же время грунты IV класса опасности подлежат обезвреживанию – предварительному разбавлению песком на местах образования грунтов или на площадках депонирования с целью снижения в них концентрации загрязняющих химических веществ (до V класса опасности), что влечет за собой значительные дополнительные финансовые и временные затраты.

Кроме того, согласно ст. 9 Закона, обязательным является лицензирование деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I–IV классов опасности, что неизбежно ведет к удорожанию процесса обращения с грунтами, образовавшимися в процессе проведения земляных работ.

Расценки на проведение биотестирования (определение токсичности) в настоящее время включены в прейскуранты многих организаций, работающих на рынке лабораторных услуг. Стоимость проведения биотестирования образца на двух тест-объектах варьирует в диапазоне 6000-12000 руб. Таким образом,

если провести данный анализ для участка площадью 1 га (примерно 10 образцов), то дополнительные расходы Заказчика составят всего 60 000–120 000 руб. Конечно, это несопоставимо меньше, чем разница в стоимости утилизации грунтов IV и V классов опасности. Может быть, именно поэтому некоторые подрядчики не заинтересованы в снижении затрат, оперируя без этого куда большими суммами?

Оценка должного уровня контроля над Исполнителем

Одной из основных проблем является отсутствие функции контроля в существующем порядке согласования документации. Дело в том, что экспертиза проектной документации и результатов инженерных изысканий проводится на основании Положения, утвержденного Постановлением Правительства РФ «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий» №145 от 05.03.2007. Настоящим положением не установлен порядок экспертизы определения класса опасности грунта (как отхода). Следовательно, руководствуясь только ПП № 145 от 05.03.2007, ни одна организация, проводящая экспертизу проектной документации (МГЭ, ГГЭ, любая негосударственная экспертиза и др.), не вправе проверять достоверность определения класса опасности грунтов. Например, в заключениях МГЭ указывается санитарная категория грунтов в соответствии с СанПиНом 2.1.7.1287-03 и вообще никак не упоминается класс опасности. В то же время грунт с высокой категорией загрязнения, перемещаемый со строительной площадки, может относится и к III, и к IV, и к V классу опасности для ОС (присвоение последнего, как мы знаем, корректно только с применением Критерия (2)).

В Москве, например, на основании заключения экспертизы, в котором указан лишь объем подлежащего к перемещению грунта и его санитарная категория («чрезвычайно опасный», «опасный», «допустимый» и т.д.), Департамент строительства города выдает Разрешение на перемещение отходов строительства, сноса, в том числе грунтов, руководствуясь в своей деятельности постановлениями Правительства Москвы «Об утверждении регламента подготовки Департаментом строительства города Москвы запрашиваемых заявителями документов» № 254-ПП от 10.04.2007 и «О введении в опытную эксплуатацию Системы регулирования, учета и контроля перемещения грунта на строительные объекты г. Москвы» № 259 от 06.04.1999, а также распоряжением Правительства Москвы «О координации действий участников процесса обращения с отходами строительства и сноса в городе Москве» № 1210-РП от 17.06.2004. Так как в заключении экспертизы отсутствует упоминание о классе опасности грунтов, Департамент строительства вынужден запрашивать у заявителя результаты инженерных изысканий по объекту, ПОС и другую проектную документацию с целью

выяснения класса опасности грунта (отхода), т.к. перемещение и размещение отходов производится с разделением по классам опасности. Но вышеуказанными постановлениями и распоряжениями на Департамент строительства города Москвы не возложена функция контроля корректности присвоения класса опасности перемещаемым отходам (грунтам). Департамент обязан «принимать на веру» выводы, сделанные исполнителями при проведении инженерных изысканий и проектировании объекта.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что на сегодняшний день в вопросе определения класса опасности грунтов, особенно при присвоении грунтам V класса опасности для ОС, у органов экспертизы и исполнительной власти отсутствует контрольная функция, ставка сделана на добросовестность изыскателей и проектировщиков. Такая ситуация противоречит федеральному законодательству в области обращения с отходами и чревата распространением загрязненных грунтов.

Правильным решением было бы внесение изменений в ПП 145 от 05.03.2007.

Необходимо только знать и помнить: присвоение отходам, в том числе грунтам, V класса опасности для ОС без проведения биотестирования – противозаконная процедура. И ответственность за нарушение Закона, со всеми вытекающими последствиями, в сложившейся системе лежит только на вас, изыскатели.

Решетников М.В.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, геологический факультет, лаборатория геоэкологии, г. Саратов, rmv85@list.ru

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Одной из основных проблем современных инженерно-экологических изысканий при строительстве является отсутствие обоснованных подходов к определению:

– места расположения точек опробования компонентов окружающей среды;

– количеству точек опробования компонентов окружающей среды для линейных и площадных объектов;

– количеству определяемых элементов и веществ в компонентах окружающей среды.

Особое значение отсутствие общих подходов к решению этих вопрос имеет для литогеохимического опробования почвенного покрова, так как почвенный покров является депонирующей средой, в которой отражается многолетняя концентрация загрязняющих веществ. Основными загрязняющими веществами почвенного покрова в условиях освоенных территорий являются тяжелые металлы. Концентрация тяжелых металлов в почвенном покрове урбанизированных территорий определяется различными факторами, среди которых можно отметить: кислотно-щелочной показатель почв, содержание физической глины, концентрация органического вещества, а также концентрация оксидов и гидрооксидов железа, наличие источников антропогенного поступления тяжелых металлов в окружающую среду.

В своей работе мы хотели бы рассмотреть одни из возможных подходов к решению проблемы с выбором места расположения, количества точек опробования и количеству определяемых элементов в почвенном покрове при инженерно-экологических изысканиях на урбанизированных территориях – это комплексное эколого-геохимическое и петромагнитное опробование почв. Суть петромагнитного метода заключается в измерении магнитной восприимчивости почв, физической величины, отражающей концентрацию ферромагнитных оксидов и гидрооксидов железа в почве. Оксиды и гидрооксиды железа обладают высокими сорбционными свойствами по отношению ко многим катионам металлов, входящих в группу тяжелых металлов. Соответственно, чем больше в почве оксидов и гидрооксидов железа, тем выше магнитная восприимчивость почв и сорбционная способность почв. Исходя из этих предпосылок результаты петромагнитного исследования почв, можно использовать для оптимизации сети эколого-геохимического опробования на урбанизированных территориях при проведении инженерно-экологических

изыскании. Особенностью петромагнитного метода является его дешевизна, и способность в кратчайшие сроки получать большой массив данных, а также наличие приборной базы, как для полевых, так и для лабораторных исследований.

Проводить петромагнитные исследования можно на стадии рекогносцировочных полевых исследовании, на основании полученных данных можно оптимизировать схему эколого-геохимического опробования почв на исследуемой территории, а именно в местах аномального увеличения значений магнитной восприимчивости сгущать сети опробования, а на территориях со значениями магнитной восприимчивости разряжать сеть опробования.

Рассмотрим результаты комплексных петромагнитных и эколого-геохимических исследований на некоторых урбанизированных территориях Саратовской области.

А) Схема суммарного загрязнения почвенного покрова г. Саратова валовыми концентрациями ТМ относительно фоновых концентраций

Б) Схема распределения магнитной восприимчивости ($\times 10^{-5}$ ед. СИ) в почвенном покрове г. Саратова

Рис. 1. Пространственное распределение коэффициента суммарного загрязнения почв валовыми концентрациями тяжелых металлов (А) и распределение магнитной восприимчивости почв (Б) на территории города Саратова [2]

Почвенные геохимические аномалии ТМ на территории города формируются в тесной взаимосвязи с петромагнитными аномалиями. Сопоставление петромагнитной карты с картами почвенной геохимической съёмки свидетельствуют о высоком уровне пространственного совпадения

петромагнитных аномалий с ореолами повышенных концентраций кадмия, никеля, свинца, хрома, ртути и ряда других металлов.

Пространственное совпадение петромагнитных и геохимических аномалий позволяет предполагать положительную корреляционную связь между содержаниями ТМ в пробах и их магнитной восприимчивостью. Для почвенного покрова территории г. Саратова подобные связи на значимом уровне были установлены в системах (по убыванию *r*): «*k* – подвижные формы Cu» (*r* = 0,83), «*k* – валовые формы Cd» (*r* = 0,71), «*k* – валовые формы Cu» (*r* = 0,66), «*k* – валовые формы Ni» (*r* = 0,52), «*k* – валовые формы Zn» (*r* = 0,29).

А) Схема суммарного загрязнения почвенного покрова г. Красный Кут подвижными формами ТМ относительно фоновых концентраций

Б) Схема распределения коэффициента магнитности в почвенном покрове г. Красный Кут

Рис. 1. Пространственное распределение коэффициента суммарного загрязнения почв подвижными формами тяжелых металлов (А) и распределение коэффициента магнитности в почвах (Б) на территории города Красный Кут [1, 3]

Почвенные геохимические аномалии ТМ на территории города формируются в тесной взаимосвязи с петромагнитными аномалиями. Сопоставление петромагнитной карты с картами почвенной геохимической съёмки свидетельствуют о высоком уровне пространственного совпадения петромагнитных аномалий с ореолами повышенных концентраций кадмия, никеля, свинца, хрома, ртути и ряда других металлов.

Таким образом, мы подходим к выводу о том, что результаты петромагнитных исследований можно использовать при обосновании и оптимизации сети эколого-геохимического опробования при инженерно-экологических изысканиях.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-77-10040).

Список литературы

1. Концентрация подвижных форм тяжелых металлов в почвах города Красный Кут (Саратовская область) / М.В. Решетников, В.В. Кузнецов, А.С. Шешнёв, Р.М. Мамедов // Экология урбанизированных территорий. 2016. Вып. 2. С. 70–75.
2. Решетников М.В., Добролюбова Н.В. Магнитная восприимчивость и концентрация тяжёлых металлов в почвах урбанизированных территорий (на примере г. Саратова) // Цветные металлы. 2009. Вып. № 11. С. 15– 18.
3. Решетников М.В., Шешнёв А.С., Соколов Е.С. База данных «Концентрация подвижных форм тяжелых металлов и петромагнитные свойства почвенного покрова города Красный Кут (Саратовская область)»: свидетельство о государственной регистрации № 2017620146; заявка № 2016621691 от 20.12.2016; дата гос. регистрации в Реестре баз данных 07.02.2017 // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». 2017 № 2. 1 с. ISSN 2313-7487 URL: http://www1.fips.ru/wps/PA_FipsPub/res/Doc/PrEVM/RUNW. (дата обращения 20.02.2017).

Светличный С.А., Косинова И.И.

Воронежский государственный университет, геологический факультет, кафедра экологической геологии, г. Воронеж, len00112@mail.ru

Авария на Чернобыльской атомной электростанции стала крупнейшей катастрофой XX века. Масштабному негативному воздействию подверглись значительные территории не только Украины, но и многих стран Европы, Белоруссии, а также Российской Федерации. Воронежская область так же оказалась в числе подверженных радиационному загрязнению. По физико-географическим условиям территория области разделена рекой Дон на две неравные части. Левобережье Дона (большая по площади часть) представляет собой равнину, слабо расчлененную речной и овражно-балочной сетью. Абсолютные высоты её поверхности колеблются от 140 до 173 м. Правобережье Дона представляет собой средне расчлененную возвышенность, для которой характерно широкое развитие балок и оврагов, глубоко врезанных в дочетвертичные породы [3]. Поверхность водоразделов достигает высоты 180–216 м над уровнем моря. Наиболее низкие участки рельефа приурочены к долине р. Дон, урез воды в котором изменяется от +89,5 до +82,5 м. Считается, что современный почвенный покров в Воронежской области сформировался приблизительно за 8000 лет. Основным типом почв являются черноземы, зональные для данной территории. Приурочены они к междуречьям и занимают около 80 % территории Воронежской области, среди них выделяют: оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные и южные черноземы. В целом, природный растительный покров складывался под действием изменяющихся во времени физико-географических условий и антропогенного фактора.

В настоящее время леса занимают 10% территории в виде небольших рощ. В настоящее время область покрыта лесами неравномерно, леса на её территории расположены отдельными вкраплениями и небольшими массивами. Они распространены в долинах рек, балках, а также на водоразделах. Современные леса представляют собой вторичные насаждения, появляющиеся на месте вырубок и гарей, или леса, выросшие при активном вмешательстве человека. В последнее время намечается тенденция омоложения лесов Воронежской области: молодые монокультурные посадки сменяют зрелые, климаксные растительные сообщества, что не лучшим образом отражается на биоразнообразии. Более крупные лесные массивы (в основном дубравы и сосновые боры) объявлены заповедными (Шипов лес на р. Осередь, Теллермановский лес на р. Ворона и др.) [5].

В геологическом строении Воронежской области принимают участие два крупных структурно-формационных мегакомплекса. Нижний мегакомплекс сложен сильно дислоцированными метаморфическими образованиями кристаллического фундамента. Верхний представлен осадочным чехлом, который отделен от нижнего резким угловым несогласием. Породы чехла

сложены отложениями девонской, каменноугольной, юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем. Они повсеместно распространены на территории области. Локально встречены выходы на дневную поверхность докембрийских гранитов. Особенности геологического строения района исследований представлены на рис. 1.

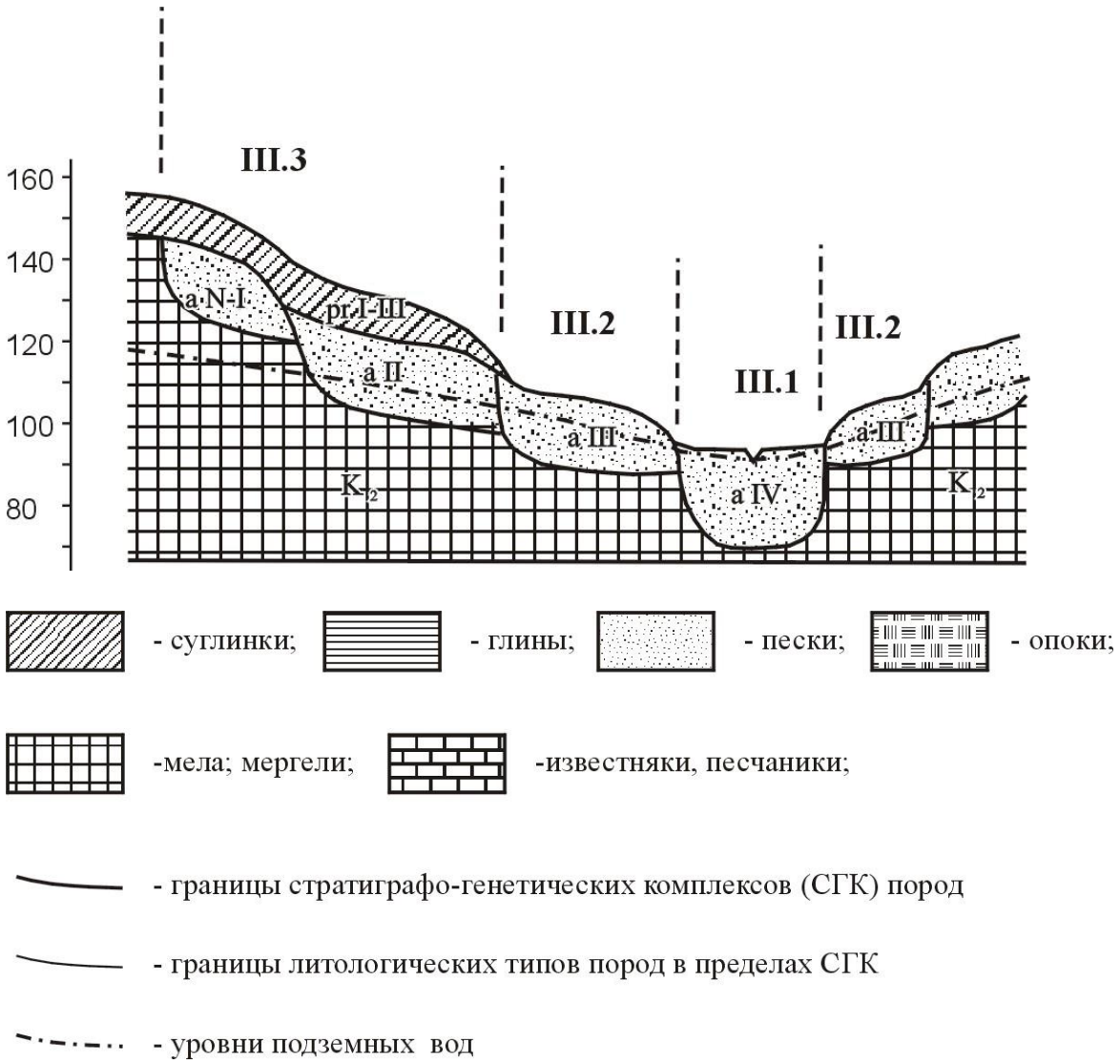


Рис.1. Особенности геологического строения участка исследований

В результате чернобыльской аварии на территории Воронежской области образовались обширные аномалии повышенного содержания цезия-137 (рис. 2). Особенно явно данная аномалия проявилась в пределах Острогожского района. Однако, ввиду того, что с момента аварии прошло уже свыше 20 лет, многие стали забывать о наличии данной аномалии и ее возможном влиянии на жизнь и здоровье проживающих на данной территории людей.

Представленная схема иллюстрирует пространственные закономерности распределения радиационных аномалий в пределах области.

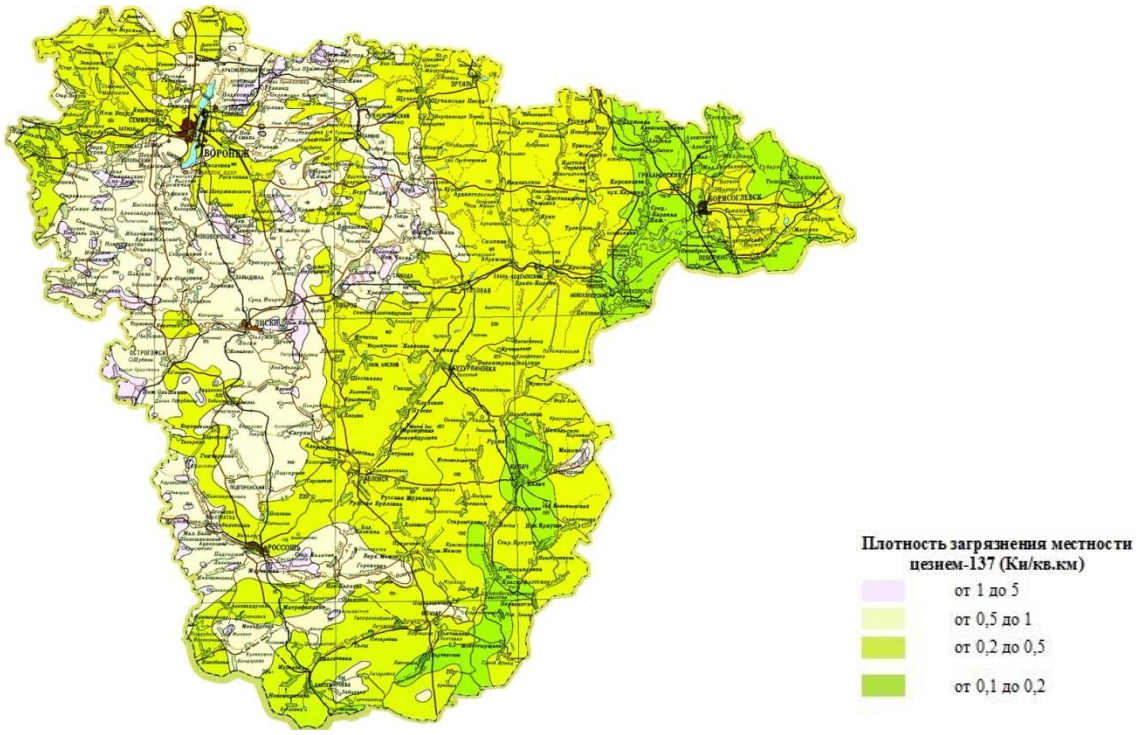


Рис. 1. Карта плотности загрязнения Воронежской области цезием-137 [1]

Анализ данной карты иллюстрирует приуроченность повышенных показателей радиационного поля в пределах Среднерусской возвышенности, которая представляет западную часть области, правобережье р. Дон. Многие ореолы загрязнения приурочены к островным лесам. В частности, в пределах Острогожского района, в самой его западной части расположен объект исследований, характеризующийся высокими значениями радиационных показателей.

В целях определения уровня радиационного загрязнения в пределах аномалии в Острогожском районе были проведены эколого-геологические исследования. Они включали замеры радиационных показателей по определенной схеме на поверхности, а также в грунтах зоны аэрации Глубина исследований определялась типом грунтов и составляла 1–3 м. Размещение точек наблюдения было установлено в зависимости от ожидаемой структуры полей загрязнений, расположения лесных массивов, транспортной и пешей доступности (рис. 2)

Оценка радиационной обстановки производилась в каждой точке наблюдения. В точках 1-1 – 1-9 и 2-1 – 2-11 замеры экспозиционной дозы гамма излучения производились на глубинах 0 м, 0,4 м и 1 м. В точках 3-1 – 3-6 замеры производились на глубинах 0 м, 1 м, 3 м, а также на глубинах перехода верхнего почвенного слоя в нижележащие глинистые слои.

В точках опробования 3-1, 3-3, 3-6 произведены замеры уровня радона с целью выявления возможного влияния природных факторов на радиационный фон территории [2]. Исследования уровня радона не показали существенных

данных, на основе которых значения радиационного фона на данной территории можно было бы отнести к естественным источникам.

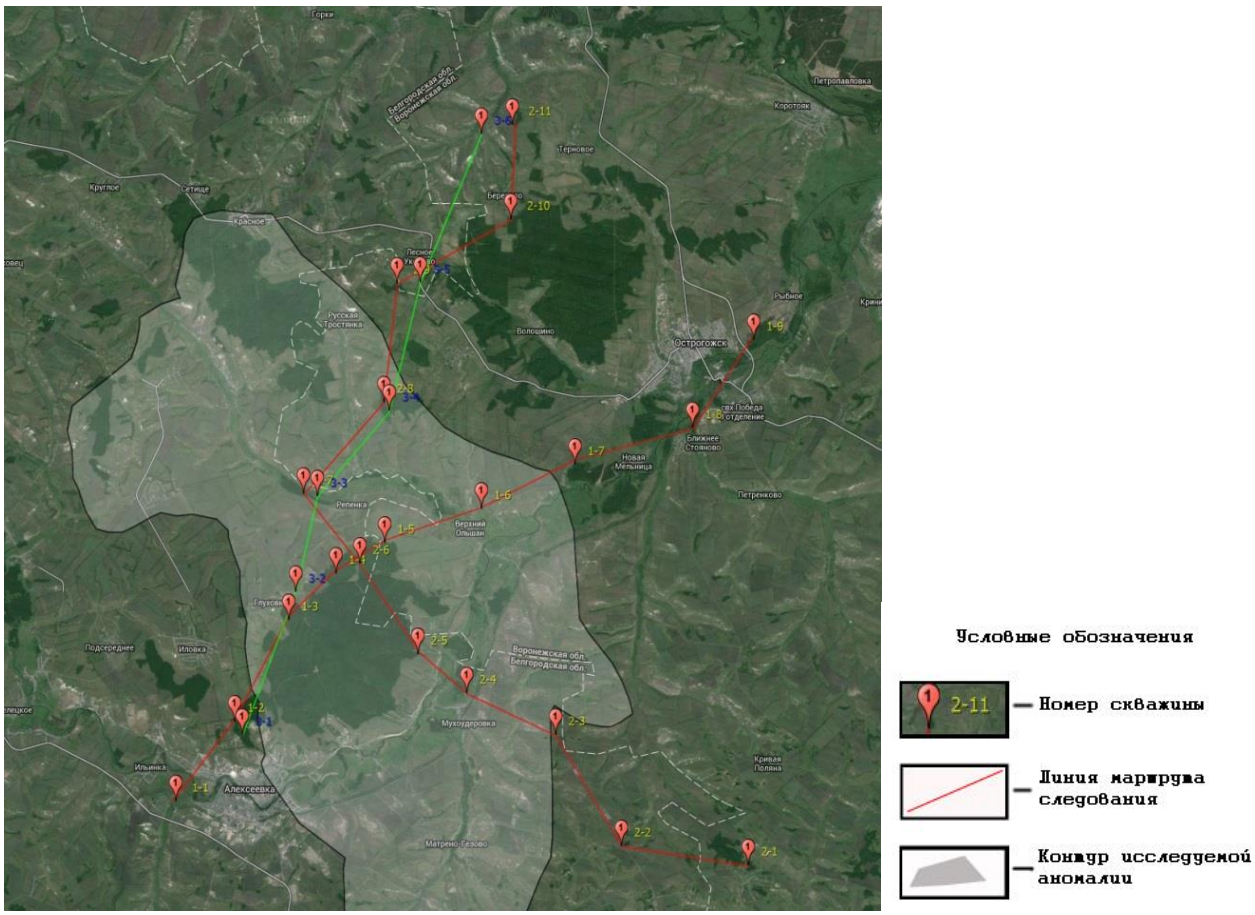


Рис. 2. Карта точек замеров радиационного загрязнения

По результатам исследований были построены карты экспозиционной дозы гамма излучения в пределах исследуемого района на поверхности и глубинах 0,4 м, 1 м, и 3 м (рис. 3–4).

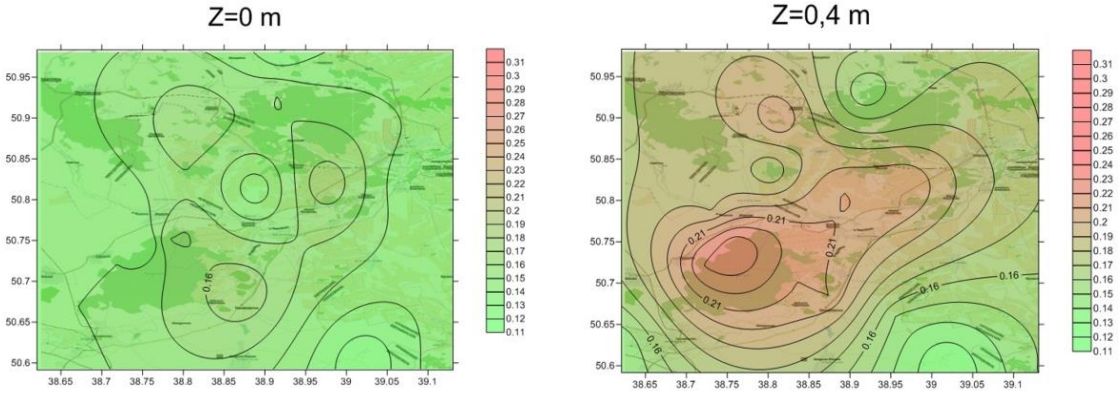


Рис. 3. Схема распределения экспозиционной дозы гамма излучения на поверхности и глубине 0,4 м

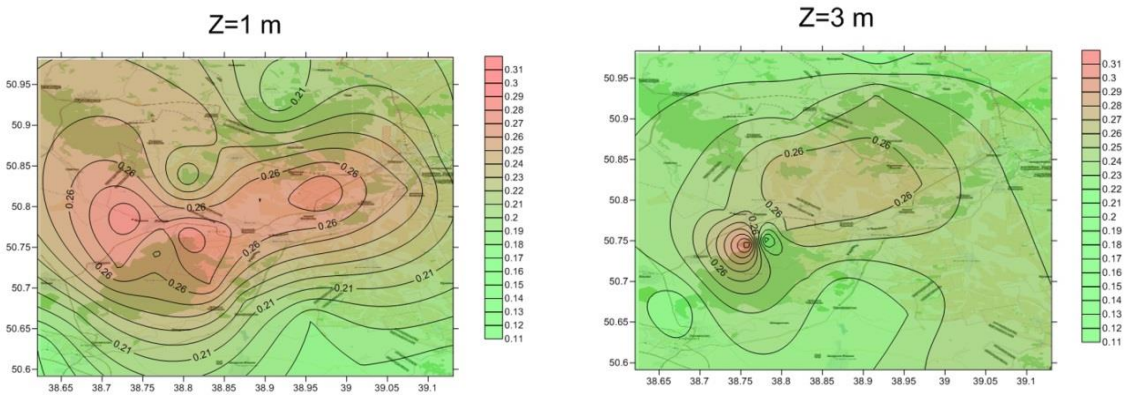


Рис. 4. Схема распределения экспозиционной дозы гамма излучения на глубине 1 и 3 м

Из построенных карт видно следующее:

1. На поверхности и в верхнем почвенном слое аномалия повышенного содержания цезия-137 не отслеживается. Значения экспозиционной дозы гамма излучения колеблются на уровне 0,17-0,20 мкЗв/ч, что составляет фон на данной территории.

2. На границе перехода от почвенных отложений к супесям (0,4 м) данная аномалия проявлена слабо. Значения экспозиционной дозы гамма излучения располагаются в интервале 0,21–0,25 мкЗв/ч, в 2 раза превышая фоновые значения.

3. С погружением до глубины в 1 м границы исследуемой аномалии проявляются четко. Значения экспозиционной дозы гамма излучения достигают 0,31 мкЗв/ч, что существенно превышает фон и величины ПДУ. Эти данные сопоставимы с картой значения pH на данных глубинах, вследствие чего можно предположить, что исследуемая аномалия сорбируется в суглинистом грунте ввиду щелочной среды.

4. При погружении на глубину до 3 м (граница перехода от суглинков к карбонатным породам) значения экспозиционной дозы гамма излучения снижаются до 0,25–0,28 мкЗв/ч, указывая на то, что аномалия ниже не распространяется. Тем не менее, следует отметить превышение фона в 2 раза.

В соответствии с выше представленными данными можно сделать следующие выводы:

1. Пространственные закономерности распределения радиационного загрязнения в пределах Воронежской области проявились в общем погружении имеющихся аномалий на глубину 1 метр и полном отсутствии их на поверхности.

2. Временные закономерности распределения радиационного загрязнения в пределах Воронежской области связаны с периодом полураспада основного загрязнителя – цезия-137 и проявляются в последовательном снижении уровня загрязнения.

3. Формирование радиационного загрязнения верхней части разреза в пределах исследуемых аномалий зависит от особенностей гранулометрического состава горных пород, на которых они залегают. Фиксирование, как правило, происходит на суглинистых и глинистых разностях.

Список литературы

1. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Белоруссии // под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. Москва–Минск: Фонд «Инфосфера»–НИА-Природа, 2009. 140 с.
2. Методология и правовое обоснование структуры размещения особо охраняемых природных территорий / В.А. Бударина, И.И. Косинова, В.И. Попов, Ю.В. Яковлев // Воронеж: Российская экологическая академия, 2015.
3. Королёв В.А. Об опасности захоронения радиоактивных отходов в геологической среде // Экология и промышленность России, апрель, 1997. С. 44–48.
4. Косинова И.И., Светличный С.А. Постэффекты радиационного загрязнения островных лесов лесостепной зоны Воронежской области. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного технического университета, 2016. С. 177–121.
5. Методические рекомендации по проведению инженерных изысканий на территории Воронежской области / под общ. ред. И.И. Косиновой. Воронеж, 2011. 151 с.

Юрова М.Г., Сарычева Н.В.

Воронежский госуниверситет, геологический факультет, кафедра экологической геологии,
г. Воронеж, yurova-mariya.yurova@yandex.ru

ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ПОДТАПЛИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Проблема взаимодействия различных видов техногенеза с окружающей средой превратилась в последние годы в одну из важнейших проблем человечества, стала предметом не только научных, но и широких общественных и даже межгосударственных обсуждений.

Начиная с конца 1940-го года началось активное изучение возникновения процессов подтопления на застраиваемых территориях.

Одной из первых была работа С.Е. Абрамова, который изложил свои труды в работе под названием «Борьба с подтоплением промышленных площадок».

В дальнейшем возникающие вопросы, связанные с защитой от возникновения процесса подтопления в городских и промышленных условиях, рассматривались М.Т. Адиковым, Л.З. Шефердиноваым, Б.Л. Горловскогим, Е.С. Дзекцеом, В.С. Зильбергом, И.И. Косиновой, Н.П. Курановым, А.Ж. Муфтаховым, В.И. Сологаевым, Б.М. Дегтяревым, Я.С. Садыковым, Р.А. Смирновым, О.В. Слинко, В.Е. Ампиловым и др.

В 1986 г. впервые был опубликован свод строительных нормативов и правил 2.06.15-85 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления». В 1991 г. данный СНиП [4] дополнился справочным пособием, в котором раскрывались аналитические решения по теории фильтрации. Наиболее широко вопросы подтопления были раскрыты в работах Е.С. Дзекцера. Он рассматривал существующие принципы возможности прогнозирования подтопления.

Однако следует подчеркнуть, что проведенные исследования не решают принципиально вопрос решения проблем подтопления.

Проблема процесса подтопления заключается не только в том, что происходит повышение уровня грунтовых вод и возникновение большинства сопутствующих процессов, но и в комплексе эффективного устройства системы защиты от подтопления, её будущего функционирования.

Причины возникновения подтопления и их источники делятся на два вида:

- Естественные.
- Техногенные.

Как причины, так и источники могут проявляться дифференцировано или комплексно. Влияние на застройку территории естественных и техногенных причин и источников происходит по-разному. Естественные заключаются в

подъеме уровня подземных вод, цикличности колебаний климата, сезонных колебания УГВ и др.

Подъем уровня грунтовых вод значительно влияет на возникновение подтопления в городах, которые расположены в зонах влияния крупных водоемов природного и искусственного происхождения [4]. На застраиваемых территориях континентального типа повышение грунтовых вод и, как следствие, возникновение подтопления может быть связано с обильными ливнями, таянием снега и ледников в горах.

Опускание поверхности прибрежных городов может происходить по причине тектонических движений и подвижек земной коры, которые происходят с различной скоростью [4].

Режим грунтовых вод зависит от климата, так как ГВ сообщаются с атмосферой через зону аэрации. Однако климат мало влияет на подтопление городов и населённых пунктов [1].

Сезонные колебания УГВ, происходящие в течение года, изучены в городах довольно хорошо. Нетрудно сделать общий вывод, что множество осложнений в городских хозяйствах связано с весенним повышением УГВ.

Естественные причины подтопления трудно отделить от техногенных.

Техногенные причины (и источники) подтопления:

– гидротехническое строительство водохранилищ и каналов;

– нарушение естественного поверхностного и подземного стоков;

– утечки из водонесущих коммуникаций.

В справочном пособии к СНиП [3] подчеркнуто, что основные причины подтопления застройки связаны со стадиями строительства и последующей эксплуатацией. С началом освоения городской территории начинается техногенное (антропогенное) подтопление, происходящее под влиянием деятельности человека. Оно возникает и развивается вследствие нарушения сложившегося природного динамического равновесия в водном балансе территории — это и есть основная причина подтопления городских территорий. Задерживаемая строительными котлованами, траншеями, зданиями и сооружениями атмосферная влага (источник) просачивается (инфильтруется) в грунт. Природный баланс влаги нарушается, УГВ повышается, возникает подтопление. В редких случаях, когда грунты хорошо проницаемые, то подтопления вследствие рассматриваемой причины может и не произойти, особенно если застройка находится в зоне дренирующего влияния водоёмов или оврагов. В этой связи важным является факт нивелирования городских территорий за счет засыпки оврагов. В настоящее время достаточно активно данный процесс происходит в центральных и густо заселенных частях городов. Формируются новые участки под застройку путем засыпки оврагов. Однако полностью игнорируется факт значимости подобных, как путей дренирования поверхностного стока. В качестве примера недобросовестно проведенных инженерно-геологических изысканий на территории г. Воронежа можно привести застройку жилого дома в районе длительно существующей балки.

Исторически Коровья балка является природным элементом рельефа по сбору ливневых вод со всего массива застройки, расположенного по ее обеим Засыпка путей стока ливневых и талых вод приведет к развитию процессов затопления и подтопления прилегающих территорий, которые в настоящее время застроены как частными, так и многоэтажными домами. Возникшая деформация фундаментов может привести к аварийным ситуациям. Проблема затопления и подтопления территорий в настоящее время является весьма актуальной для г. Воронежа и области. Ее решение регламентируется:

1. Постановлением Правительства РФ от 18.04.2014 № 360 «Об определении границ зон затопления, подтопления» (от 17.05.2016 № 444).
2. Протоколом заседания КЧС ЦФО и СЗФО от 21.04.2016 № А50-2628 п. 3.10, согласно которому необходимо:

«Продолжить работу по выполнению органами местного самоуправления требований по ограничению (запрещению) предоставления земельных участков для объектов капитального строительства без проведения специальных защитных мероприятий по предотвращению негативного воздействия вод в границах зон затопления (подтопления), в соответствии с действующим законодательством (ч. 2 ст. 67.1 Водного кодекса РФ и п. 14.6 Свода правил СП 42.13330.2011)»;

3. Часть. 2 ст. 67.1 Водного кодекса РФ:

«Размещение новых населённых пунктов и строительство объектов капитального строительства без проведения специальных защитных мероприятий по предотвращению негативного воздействия вод в границах зон затопления, подтопления запрещаются».

4. Пункта 14.6 Свода правил СП 42.13330.2011:

«Размещение зданий, сооружений и коммуникаций инженерной и транспортной инфраструктур запрещается:

– в зонах возможного затопления (при глубине затопления 1,5 м и более), не имеющих соответствующих сооружений инженерной защиты».

В настоящее время по дну балки в районе строительства проложен коллектор ливневых стоков, дренирующих площади водосбора районов застройки Ясенки и др. Засыпка верхней части балки уничтожает сформировавшийся сток ливневых вод со всей площади водосбора. Это создает угрозу затопления и подтопления домовладений. В сильные дожди высота потока достигает 0.5-0.8м (рис. 1). Засыпка балки была произведена в 2016г, в сентябре 2017 года процессы подтопления проявились в гараже дома, расположенного в непосредственной близости от засыпанного участка балки Коровий Лог (рис. 2). При этом предполагается дальнейшее развитие процессов подтопления.

Прогноз негативных процессов, возникающих при засыпке ложбины, предполагает развитие ряда негативных процессов:

Рис. 1. Запруживание низовьев балки во время дождей

Рис. 2. Подтопление домов, прилегающих к участку засыпки

– деформации фундаментов и наземных конструкций зданий и сооружений, вызванных изменением прочностных свойств грунтов таких, как просадочность, набухание, выщелачивание, размокание. Обводнение лёссовых

грунтов приводит к потере структурных связей между частицами вследствие растворения солей цементирующего материала с последующим уплотнением грунта и большими просадочными деформациями.

– в ухудшении санитарно-гигиенических условий в жилых и общественных помещениях;

– в затоплении подземных частей зданий, сооружений, коммуникаций;

– в изменении химического состава, агрессивности и коррозионной активности грунтов и подземных вод;

– заболачивание территорий и застойная вода впоследствии приводят к общему загрязнению грунтовых вод;

– негативное воздействие на корневую систему деревьев;

– место для размножения паразитарных видов насекомых (кровососущих);

– отсутствие вертикальной гидродинамики приводит к загрязнению нижележащих водоносных горизонтов;

Как и иные экзогенные процессы, подтопление существенно меняет условия среды обитания различных организмов, а, следовательно, влияет на состояние и эволюцию экосистем, в частности оно может влиять на экологическую сукцессию.

Например, в результате длительного подтопления может почти полностью разрушиться та или иная экосистема и сформироваться так называемая «фаза обнажения» - появление незаселенного пространства в пределах подтапливаемой территории или ее части. Это вызовет следующую фазу сукцессии – миграцию организмов на данную территорию, затем ее колонизацию и т.д. [1]. Хорошо известно, что многие высшие растения развиваются в условиях, зависящих от уровня подземных вод: повышение уровня первого от поверхности водоносного горизонта вызывает гибель одних растений и появление на их месте других, более влаголюбивых. Смена фитоценозов в результате подтопления обусловливает и постепенную смену зооценозов. В итоге, скорость и интенсивность подтопления будет определять динамику процесса сукцессии на данной территории.

Этот процесс будет идти по-разному на территориях сезонно, периодически или постоянно подтопляемых. Наибольшая сукцессия в экосистемах наблюдается на постоянно подтопляемых территориях техногенного характера: при создании водохранилищ, нарушении поверхностного стока в результате неправильного дорожного строительства и т.п.

В связи с возникновением таких негативных условий разрабатываются методические документы, в которых изложена оценка потенциальной подтопляемой территории. На первом месте в данных методических документах стоит разработка критериев, которые учитывают взаимодействие подземных вод с сооружениями, а также основаниями зданий и сооружений. Исследование данных процессов и прогноз их развития необходимы на стадии

инженерных изысканий. В современных нормативных документах по проведению инженерных изысканий изучение подтопления и затопления территорий не имеет должного методического обоснования [2]. В то время, как в условиях трансформированных участков, объектов, формирование которых связано со значительными изменениями гидрогеологических условий, при проведении инженерно-экологических изысканий необходимо представлять качественный, а в сложных ситуациях количественный прогноз влияния объекта на эколого-гидрогеологические условия.

Список литературы

1. Косинова И.И., Базарский О.В., Козинцев С.Н. Методика геоэкологической индикации георисков техногенно-трансформированных территорий // Геориск. 2012. № 3. С. 22–25.
2. Косинова И.И., Бударина В.А. Методические и правовые особенности проведения инженерно-экологических изысканий // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2009. № 1. С. 164–166.
3. Прогнозы подтопления и расчёт дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях (Справочное пособие к СНиП) / ВНИИ ВОДГЕО. М.: Стройиздат, 1991. 272 с..
4. Разумов Г.А., Хасин М.Ф. Тонущие города. М.: Стройиздат, 1991. 256 с.
5. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления.

Королёв В.А., Горняков А.К.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, г. Москва, va-korolev@bk.ru, gornyakov.ak@gmail.com

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЁДНЫХ РЕАГЕНТОВ В МОСКВЕ

Введение

Применение в городах противогололёдных реагентов (ПГР) продолжает оставаться широко обсуждаемой проблемой, как среди общественности мегаполисов, так и среди специалистов, прежде всего – экологов. Большинство исследований, выполненных на эту тему, свидетельствует, что аккумуляция в поверхностном слое солей вследствие применения противогололёдных реагентов в городах является одним из основных источников негативных воздействий на экосистемы городов. Остатки ПГР в зимний период сметаются на обочины дорог и газоны. Имеется множество данных о том, что дорожные остатки ПГР обладают агрессивными характеристиками, оказывающими негативное экологическое влияние на людей, животных и окружающую среду в целом [3, 4, 6, 7].

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы являлось изучение динамики содержания легкорастворимых солей в поверхностном слое прилегающих к автотрассам территорий, расположенных в ЮЗАО г. Москвы, образующихся вследствие применения ПГР и влияющих на эколого-геологические условия.

Методика и объект исследования

В ходе выполненных исследований проводилось опробование почв с обочин автодорог с глубины 100 мм. Опробование проводилось дважды: непосредственно перед сезоном зимней уборки (ноябрь 2016 г.) и после окончания сезона (март 2017 г.). Всего было выбрано 7 площадок, прилегающих к крупнейшим автомагистралям ЮЗАО г. Москвы (рис. 1).

На каждой из площадок опробование проводилось по профилю, перпендикулярно ориентированному дорожному полотну. Точка «1» располагалась на расстоянии 0,1 м от проезжей части, а точка «2» на расстоянии 3 - 5 м от проезжей части. Нумерация образцов проб состояла из буквенного обозначения точки опробования и номера точки отбора на площадке (например, А-2, Ж-1 и т.п.).

Из отобранной высушенной и просеянной пробы почвы готовилась водная вытяжка, в которой определялось содержание Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Mg^+, Na^++K^+, сухого остатка, а также водородный показатель по общепринятой методике [1].

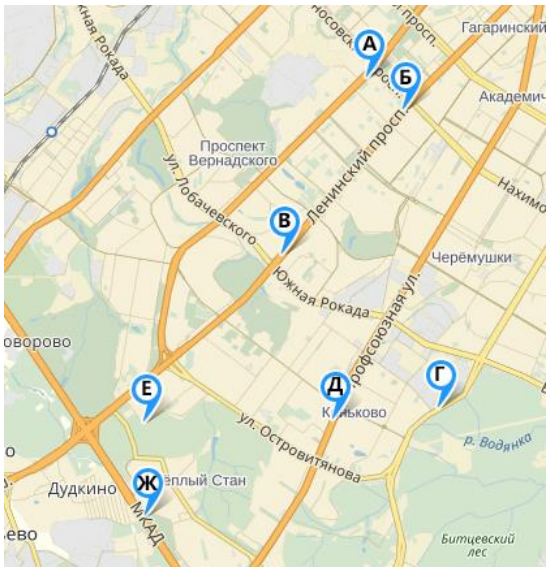


Рис. 1. Расположение точек опробования на территории ЮЗАО г. Москвы

Результаты и их обсуждение

Осенью 2016 г. почвы ЮЗАО имели в основном нейтральную или слабощелочную реакцию среды (рис. 2). Минимальное значение (pH = 6,63) было зарегистрировано у почв на Севастопольском проспекте (точка «Г») на дальней от проезжей части точке. Максимальное же значение pH было зафиксировано на ул. Профсоюзной, на ближней к дороге точке. Весной 2017 г. ситуация несколько изменилась – минимальное значение pH было отмечено вновь на точке Г, на дальней от проезжей части точке, но показатель pH составил уже 7,45. Максимум был зафиксирован на МКАД, на дальней от проезжей части точке.

Стоит отметить, что весной для большинства точек в целом значения pH почв были выше, чем осенью. При этом на всех точках была зафиксирована слабощелочная реакция среды. Кроме того, непосредственно на обочинах дорог значение pH почв было, как правило, намного выше, чем на расстоянии 3-5 м от обочины.

Таким образом, подщелачивание почв весной составило 0,5-0,1 единиц pH относительно осенних проб, наибольшая разница в величине pH достигается на ближайших к проезжей части точках, что может быть связано с аккумуляцией почвами дорожных остатков ПГР, а, как известно, у исходного раствора ПГР реакция среды щелочная [6]. Повышенное значение pH свидетельствует об увеличении щелочной агрессивности опробованных почв.

Содержание сухого остатка в водных вытяжках весенних и осенних проб существенно отличается в точках, прилегающих к проезжим частям (рис. 3). Весной во всех пробах зафиксировано увеличение количества сухого остатка в среднем почти в 1,7 раза относительно осенних проб. Степень засолённости почв с обочины составила 0,1 – 0,2 %, т.е. почвы незасолённые; из этого ряда

выбивается точка «Ж-1», где показатель составил 0,4 %, что соответствует слабозасолённой почве [1].

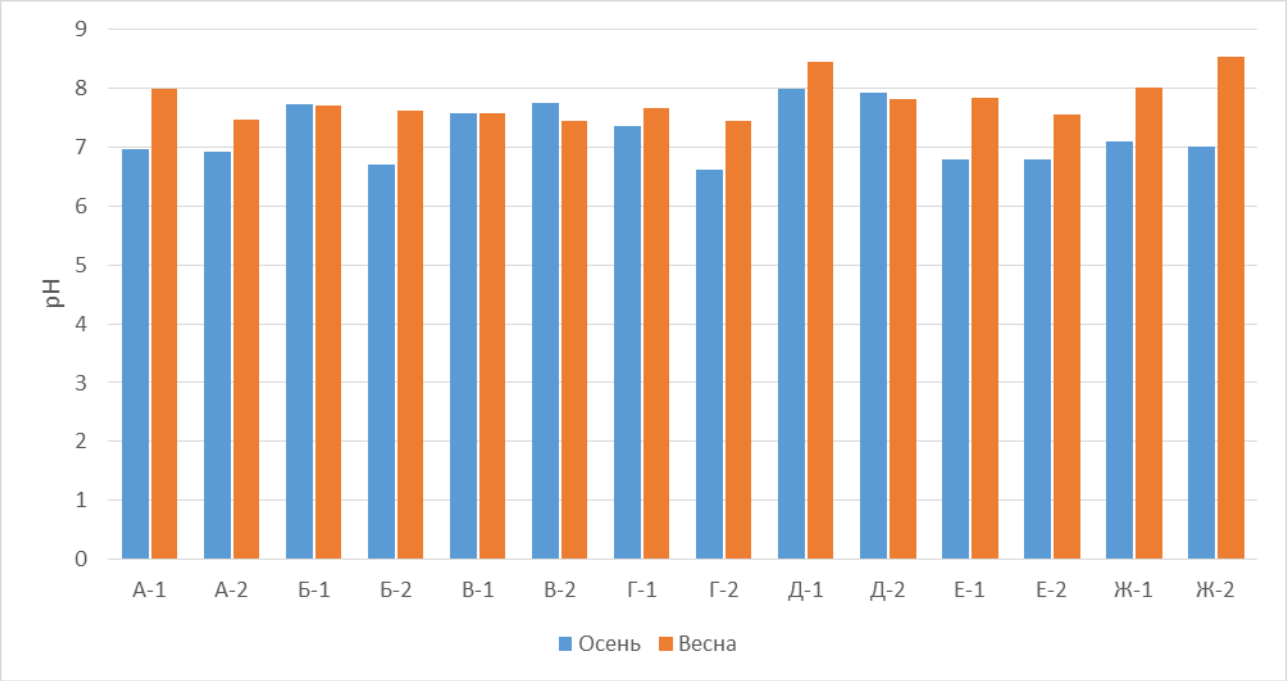


Рис. 2. Сравнение pH почв территории ЮЗАО в осенний (2016 г.) и весенний (2017 г.) периоды

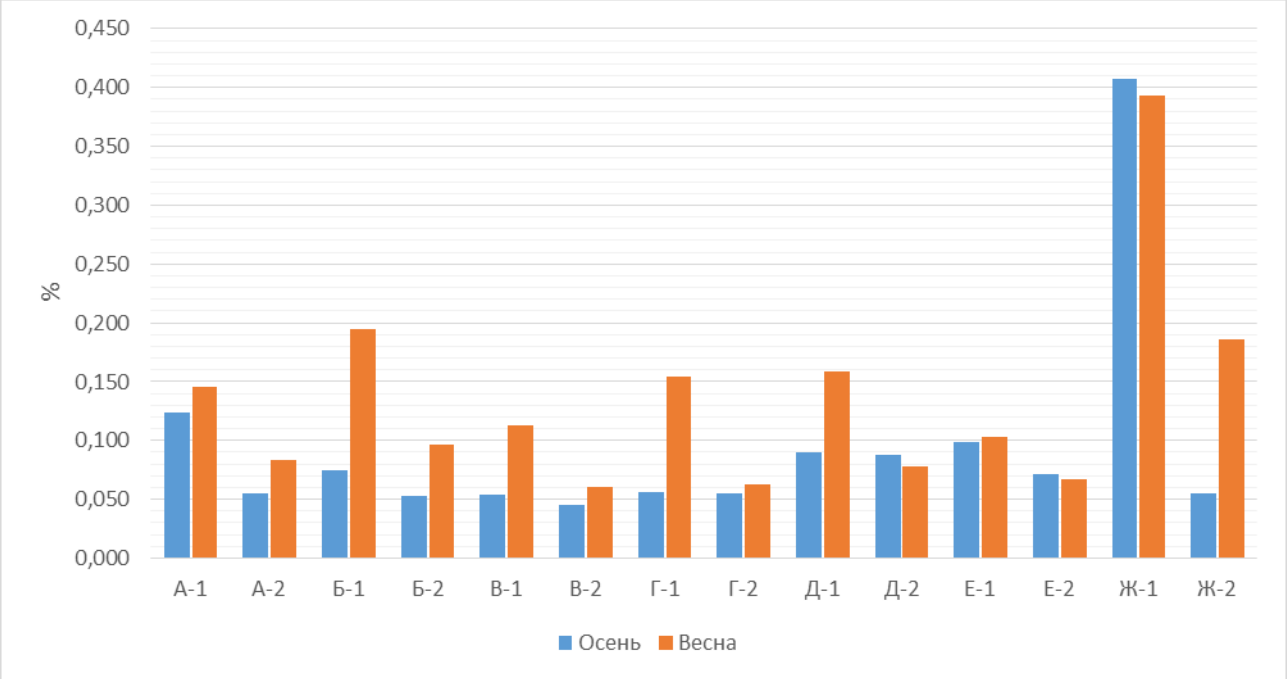
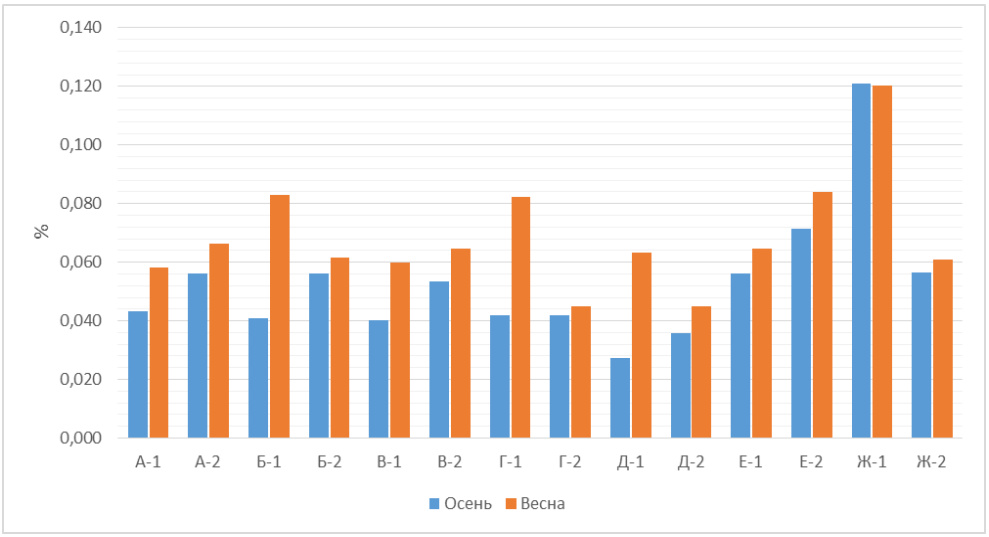


Рис. 3. Сравнение содержания сухого остатка в почвах территории ЮЗАО в осенний и весенний периоды

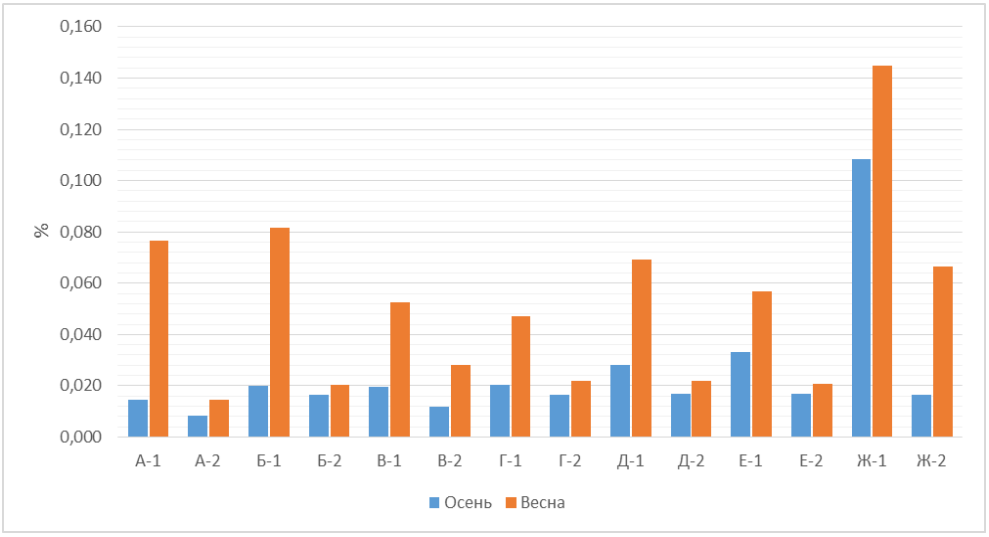
Таким образом, максимальные содержания сухого остатка были зарегистрированы в почвах, находящихся непосредственно на обочинах дорог.

За зимний период засолённость этих почв увеличивается в 1,5 – 2 раза. Увеличение содержания солей в почвах и подпочвенных грунтах, как известно, приводит к уменьшению их электрического сопротивления, что обусловливает повышение их коррозионной активности как по отношению к металлам (например, к подземным трубопроводам, кузовам автомобилей), так и к асфальтовому дорожному полотну.

По ионному составу водные вытяжки, как правило, относятся к гидрокарбонатно-хлоридно-натриевому классу. Среди анионов преобладает, в особенности по осени, HCO_3^- (рис. 4, а), к которому по весне добавляется ион хлора (рис. 4, б).



а



Б

Рис. 4. Сравнение содержания ионов HCO_3^- (а) и Cl^- (б) в почвах территории ЮЗАО в осенний и весенний периоды

Примечательно, что содержание иона хлора в весенних пробах увеличилось в первую очередь в точках, находящихся у проезжей части. По

всей вероятности, хлор поступает сюда в виде солей натрия и кальция (NaCl и $CaCl_2$), которые как раз и используются в качестве ПГР.

Содержание ионов SO_4^{2-} изменилось за зиму 2016/2017 гг. незначительно – максимальное отклонение отмечено на точке «Г-2», где содержание SO_4^{2-} увеличилось в 1,5 раза с 0,011 % до 0,016 %. Это объясняется отсутствием сульфат-ионов в большинстве применяемых ПГР. В целом же содержание SO_4^{2-} в почвах весной незначительно увеличилось в среднем всего в 1,1 раза.

Таким образом, в составе водной вытяжки преобладают анионы HCO_3^- и Cl^-. Пиковые изменения содержания ионов приходятся на хлор, содержание которого за зиму выросло в среднем почти в 2,5 раза, а на точках у проезжей части его содержание увеличилось в среднем в 3 раза, что характерно при применении хлорсодержащих ПГР.

Среди катионов явно преобладают Na^+ и K^+, доля которых в вытяжке составляет 87%. Как можно увидеть на рис. 5, содержание натрия и калия весной увеличилось, особенно это коснулось точек, располагающихся у проезжей части, где содержание этих ионов выросло более чем в 2 раза. Очевидно, полученные данные обусловлены именно увеличением содержания иона натрия, т.к. именно он является основным компонентов ПГР в виде технической соли, NaCl [9].

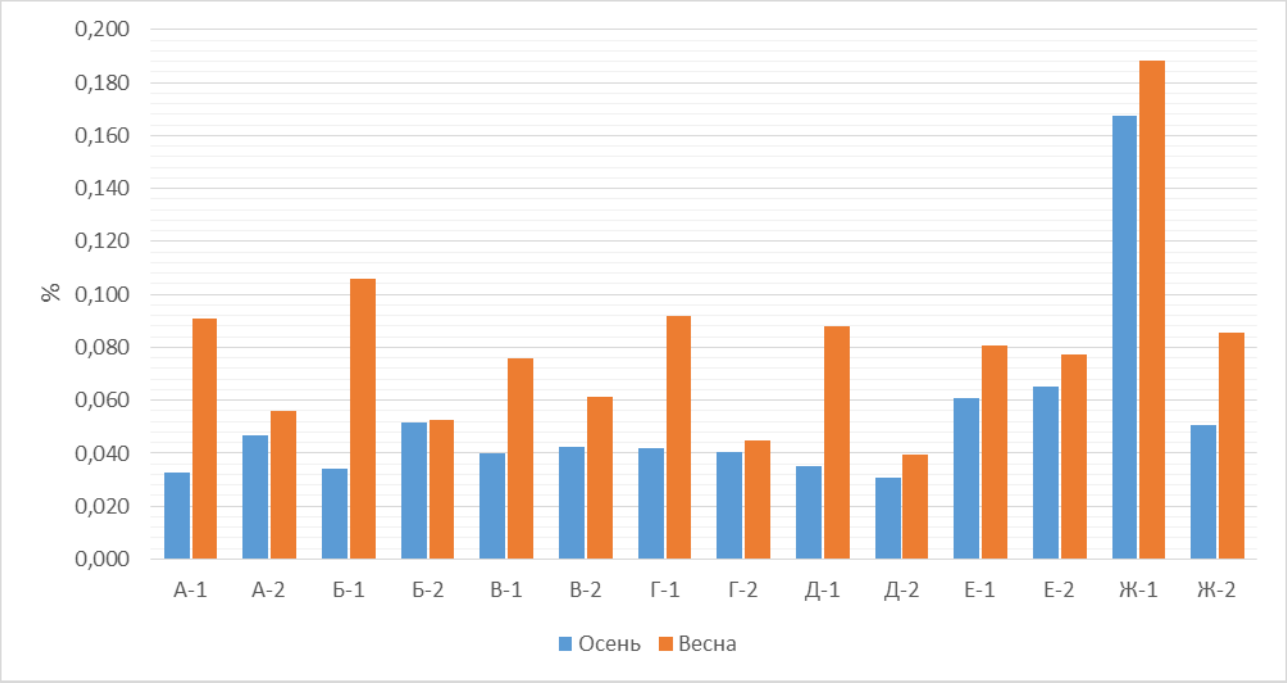


Рис. 5. Сравнение содержания ионов Na^+ и K^+ в почвах территории ЮЗАО в осенний (2016 г.) и весенний (2017 г.) периоды

Другим компонентом, входящим в смесь применяемых ПГР в Москве, является $CaCl_2$. Динамику содержания катиона кальция можно увидеть на рис. 6.

Наибольшее количество кальция наблюдаются в придорожной зоне, тогда как с удалением от проезжей части содержание данного катиона уменьшается. Стоит также отметить, прирост ионов кальция за зимний период наблюдается на всех без исключения исследуемых площадках территории ЮЗАО.

Что касается до катиона магния, то его среднее содержание осталось практически неизменным, а на некоторых точках (А-1, В-2, Е-1, Ж-1, Ж-2) было зафиксировано незначительное уменьшение его содержания.

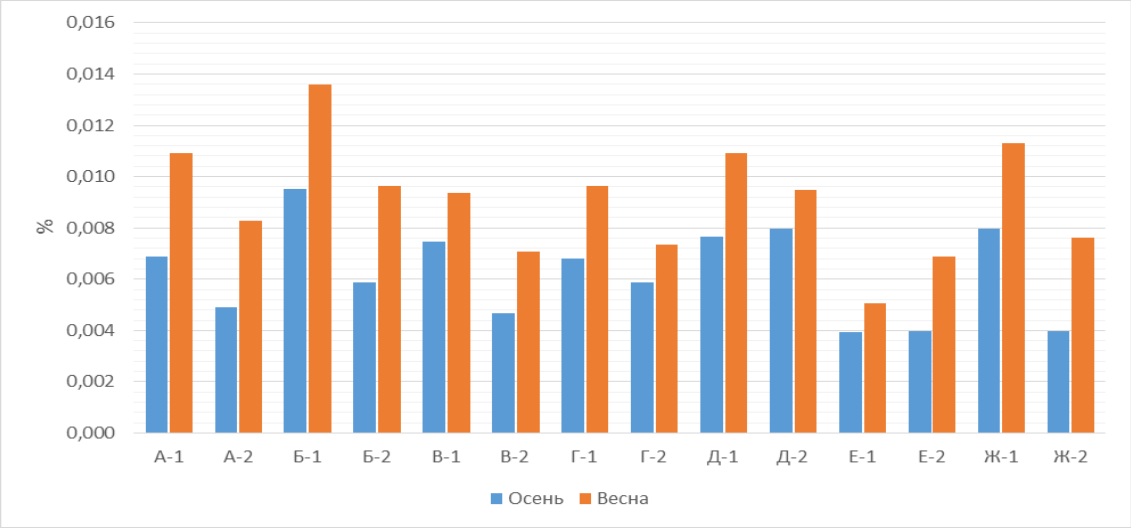


Рис. 6. Сравнение содержания Ca^{2+} в почвах территории ЮЗАО в осенний (2016 г.) и весенний (2017 г.) периоды

Таким образом, из катионов в почвах, отобранных у обочин автотрасс ЮЗАО преобладает натрий. За зимний период наибольшему количественному изменению подверглись катионы натрия и кальция, содержание которых выросло в полтора раза, что, безусловно, связано с применением ПГР.

Заключение

Таким образом, выполненная эколого-геологическая оценка применения ПГР позволяет утверждать, что существует прямая зависимость между ростом водородного показателя (pH), содержания сухого остатка, в особенности увеличения количества ионов хлора, натрия и кальция в почвах, и применением противогололёдных реагентов на территории ЮЗАО Москвы.

Подщелачивание почв вследствие внесения ПГР может стать причиной их повышенной коррозионной агрессивности; в щелочной среде растворяются многие органические соединения, в том числе и битумные компоненты асфальта дорожного полотна.

Внесение ПГР способствует развитию засоления и солонцеватости почв. При попадании ПГР в почву она уплотняется, мелкие поры сужаются, а крупные заполняются солями. Кроме того, при увеличении концентрации солей снижается электрическое сопротивление почв, что способствует росту

электрокоррозии, ведущей к разрушению металлических объектов подземной инфраструктуры города.

Благодарности

Работа выполнена с использованием оборудования (рентгеновского дифрактометра и электронного микроскопа), приобретенного за счет средств Программы развития Московского университета, за что авторы приносят свою благодарность.

Список литературы

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Издательство: МГУ, 1970. 399 с.
2. Ачкасов А.И., Башаркевич И.Л., Варава К.В., Самаев С.Б. Загрязнение снегового покрова под влиянием противогололедных реагентов // Разведка и охрана недр. 2006. № 9–10. С. 132–137.
3. Королёв В.А. Геологический риск применения антигололёдных реагентов // Геориск. 2009. № 1. С. 42–45.
4. Королёв В.А. К итогам круглого стола в Государственной думе Российской Федерации: проблема противогололёдных реагентов // Инженерные изыскания. 2015. № 2. С. 18–22.
5. Королёв В.А., Свириденко Т.С., Соколов В.Н., Самарин Е.Н. Методика изучения воздействия противогололёдных реагентов на эколого-геологические условия городских территорий / Сергеевские чтения: материалы годичной сессии Научного совета РАН. Вып. 7. М.: Изд-во ГЕОС, 2010. С. 352–356.
6. Королёв В.А., Соколов В.Н., Самарин Е.Н. Оценка эколого-геологических последствий применения противогололедных реагентов в г. Москве // Инженерная геология. 2009. № 1. С. 34–43.
7. Королев В.А., Горняков А. К. Экологическая безопасность городских территорий в связи с применением противогололедных реагентов // Материалы III Межд. научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» (Воронеж, 11–12 ноября 2016 г.). Т. 1. Воронеж: ВГТУ, 2016. С. 132–135.
8. Трофимов В.Т, Зилинг Д.Г. Экологическая геология: учебник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. 415 с.
9. Об утверждении технологии зимней уборки проезжей части магистралей, улиц, проездов и площадей (объектов дорожного хозяйства г. Москвы) с применением противогололедных реагентов и гранитного щебня фракции 2. Распоряжение Правительства Москвы от 28 сентября 2011 г. № 05-14-650/1.

Харькина М.А.[1], Аюпова Э.Я.[2]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, г. Москва, kharkina@mail.ru,
[2]ООО «Газпром геотехнологии», г. Москва, ayupova.eliza@mail.ru

ПРИМЕР ВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ВОЛГОГРАДСКОМ ПОДЗЕМНОМ ХРАНИЛИЩЕ ГАЗА И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В РАМКАХ СОВРЕМЕННЫХ НОРМАТИВНО–ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Волгоградское подземное хранилище газов (ВПХГ) предназначено для надежного газоснабжения городов Волгоград, Волжский и других населенных пунктов Волгоградской области в случае непредвиденных ситуаций на газовых магистралях (аварий на газопроводе, компрессорной станции, проведения ремонтно-профилактических работ и пр.). Газ в подземное хранилище закачивается из существующего газопровода «Чебоксары-Северный Кавказ». Россошинская площадь ВПХГ находится на западном пологом склоне южной части Приволжской возвышенности и расположена в верхней части бассейна р. Россошки, впадающей в р. Дон. По состоянию на 2017 г. на территории Россошинской площади ВПХГ построено методом подземного растворения каменной соли через буровые скважины 3 резервуара и 1 находится в процессе размыва.

Резервуары подземного хранилища располагаются в отложениях кунгурского яруса нижней перми (P_1k), кровля которого вскрывается в зоне ВПХГ на глубине 1143–1163 м. Кунгурский ярус сложен преимущественно каменной солью, ангидритами, калийно-магниевыми солями (хлоридными и сульфатными) и доломитами. Как и на всей Приволжской моноклинали, он имеет циклическое строение [1]. Установлено, что на площадке ВПХГ развито четыре цикла, включающие восемь ритмопачек.

Воздействия, оказываемые подземным хранилищем газа в каменных солях, будут отличаться в зависимости от того, находится оно в процессе строительства или эксплуатации. Основные техногенные воздействия, оказываемые непосредственно на недра связаны со строительством подземного резервуара, осуществляемым за счет размыва пласта каменной соли через скважину. **Размыв каменных солей** сопровождается:

- отбором нескольких миллионов кубометров подземных вод с формированием депрессионной воронки в водоносном горизонте (Т1);
- закачкой строительного рассола с концентрацией выше 300 г/л в глубокие горизонты (Т1) с формированием зоны репрессии (повышение уровня подземных вод);
- проседанием поверхности над каверной;

- потерей строительного рассола и жидких нефтепродуктов в водоносные горизонты и на поверхность с засолением почв, нарушением растительного покрова, загрязнением поверхностных и подземных вод.

На стадии эксплуатации подземных выработок Волгоградского ПХГ источниками загрязнения поверхностных и подземных вод могут быть утечки из системы канализации в случае аварийных ситуаций. Постепенно в районе их расположения выработок может сформироваться *мульда оседания.* Как показали расчеты ООО «Газпром геотехнологии», значения максимальных оседаний составят 0,085 м. При этом скорость оседания поверхности составит в центре площадки 0,0014 м в год, а на периферии около 0,001 м в год, что не окажет серьезного влияния на конструкции и сооружения.

Существующая система экологического мониторинга территории ВПХГ в ООО «Газпром геотехнологии» позволяет получить информацию о всех абиотических средах: атмосфере, поверхностной и подземной гидросфере и педосфере.

Особенности опробования подземных вод. При проведении мониторинга подземных вод, как составной части экологического мониторинга, производится:

- контроль санитарного состояния и гидрохимического режима (водозабора технического (T_1vt-bs) и хозяйственно-бытового (N_2an) водоснабжения);
- контроль технического состояния инженерных сооружений (рассолопроводов, газопроводов, буферных емкостей, рассолоотстойников и пр.);
- фиксирование масштабов возможного загрязнения при возникновении аварийных и нештатных ситуаций и разработка мероприятий по их локализации и ликвидации.

Для обнаружения и исследования процессов инфильтрации стоков и загрязнения подземных вод на исследуемом объекте производят замеры уровней воды в контрольных скважинах. Периодичность замеров уровней в контрольных скважинах – один раз в месяц. Измерения выполняются электроуровнемером.

Периодичность гидрогеохимического опробования контрольных скважин: один раз в месяц. Пробы отбираются с предварительной откачкой воды из скважины в количестве 3-4 объемов столба воды, содержащегося в скважине. Далее проводят анализ отобранных проб воды на суммарное содержание нефтепродуктов, макрокомпонентный состав, суммарное железо (один раз в год). Результаты сравниваются с нормативными показателями. На основании полученных данных делают вывод о загрязнении подземных вод и определяют масштаб загрязнения.

Особенности опробования поверхностных вод. Поверхностными водоемами, которые попадают в зону техногенного воздействия Волгоградского ПХГ являются: р.Россошка, пруд Россошинский, ручей Безымянный. Прямого воздействия на данные водоемы хранилище не

оказывает: нет использования поверхностных вод в технологических нуждах и сброса неочищенных стоков. Потенциальное воздействие могут оказывать разгрузка загрязненных подземных вод, аварийные сбросы сточных вод на поверхность, поступление загрязняющих веществ в поверхностном стоке с территорий компрессорной станции и водорассольного комплекса. При этом основными загрязнителями поверхностного стока на территории ВПХГ являются взвешенные вещества и нефтепродукты.

При фиксации возможных утечек строительного рассола учитывается, что минерализация поверхностных вод может повышаться в летний период интенсивного испарения при усыхании и пересыхании водотоков и прудов. Ежегодно проводят опробование для определения микро- и макрокомпонентного состава вод, контроль санитарного состояния.

Особенности опробования донных осадков. Донные осадки аккумулируют загрязняющие вещества, поступающие с водосборных площадей, в течение длительного времени и могут служить интегральным показателем загрязненности территории. В зоне техногенного воздействия Волгоградского ПХГ донные осадки опробуются раз в год в период летней межени в точках отбора проб воды (р.Россошка, пруд Россошинский, ручей Безымянный). Проводят определение макрокомпонентного состава, pH, содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Co, Cr, Mg). Содержание последних сравнивают с нормативными показателями (ПДК и ОДК для почв).

Особенности опробования почв. Обязательными пунктами контроля являются промплощадки, водозаборные, технологические и нагнетательные скважины, фоновая площадка. Отбор проб вблизи источников загрязнения производится в зависимости от их расположения в рельефе, геохимической, гидрологической обстановки, поскольку загрязнители (нефтепродукты, рассолы) поступают в почву в жидком виде.

В общем случае схема отбора проб устанавливается в виде одной точки опробования, расположенной ниже по склону от источника загрязнения по канализирующему тальвегу (для площадных источников) либо по падению склона от скважины, на расстоянии 4–5 метров от оголовка. Опробование проводят ежегодно в осенний период. Общее количество проб–21.

Проводят определение макрокомпонентного состава, pH, содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Co, Cr, Mg). Полученные значения сравниваются с нормативными показателями (ПДК и ОДК), а также с фоновыми значениями.

В соответствие с требованиями СП 47.13330.2016, утвержденном 30 декабря 2016 года и вводенным в действие с 1 июля 2017 года, в состав инженерно-экологических изысканий наряду с оценкой загрязнения атмосферного воздуха, почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, входят изучение растительности и наблюдения за состоянием наземных и водных экосистем (п.8.1.4).

Угрозу состоянию растительности при строительстве и эксплуатации ВПХГ в солевых пластах представляют собой разливы высокоминерализованных вод на почвенный покров, который будет приводить к техногенному засолению среды произрастания. Известно, что в ходе обустройства ВПХГ возможны утечки высокоминерализованного рассола как при размыве солей, так и при закачке рассола в недра посредством нагнетательных скважин. Уже сейчас на основе анализов водных вытяжек доказано засоление грунтов. Например, в точках опробования вблизи нагнетательной скважины отмечено сильное засоление хлоридно-натриевого типа. Экспериментально установлено, что на поверхности засоленность выше (массовая доля плотного остатка 2,430±0,122% при pH 8,05), чем на глубине 15-20 см (массовая доля плотного остатка 1,663±0,083% при pH 8,41). Это еще раз подтверждает техногенную причину засоленности почв в данной точке опробования. Почвы характеризуются повышенным содержанием сульфат-иона (от 58,8 до 1281 мг/кг, что составляет 8 ПДК) и хлорид-иона, что может свидетельствовать об их хлоридно-сульфатном засолении. Экологические последствия засоления связаны со снижением степени прорастания семян, снижением биомассы растений и нарушением макроэнергетического обмена.

Таблица

Всхожесть и энергия прорастания семян редьки масленичной (авторские данные)

№ пп	Показатель	Общее количество семян	Количество проросших семян			Процент проросших семян		
			1 день	2 день	3 день	1 день	2 день	3 день
1	Всхожесть	20	10	19	20	50	95	100
	Энергия прорастания		18	19	20	90	95	100
2	Всхожесть	20	12	18	20	60	90	100
	Энергия прорастания		17	18	20	85	90	100
3	Всхожесть	20	9	17	19	45	85	95
	Энергия прорастания		12	17	19	60	85	95
4	Всхожесть	20	0	0	0	0	0	0
	Энергия прорастания		0	0	0	0	0	0
5 (вода)	Всхожесть	20	10	16	19	50	90	95
	Энергия прорастания		18	18	19	90	90	95
Среднее	Всхожесть	20	8	14	16	41	72	78
	Энергия прорастания		13	14	16	65	72	78

Для определения экологических последствий техногенного засоления почв высокоминерализованным рассолом на территории Волгоградского ПХГ был проведен эксперимент по методике определения токсичности почв методом водной вытяжки. Метод основан на изучении характеристик прорастания семян (всхожести и энергии прорастания), помещенных в чашки Петри с фильтровальной бумагой, увлажненной водной вытяжкой из изучаемой почвы. В качестве тест-объекта была взята быстрорастущая редька масличная (Brassica rapa CrGC syn. Rbr), которая рекомендуется нормативами для сокращения времени тестирования (ГОСТ Р ИСО 22030-2009). В ходе эксперимента было зафиксировано практически полное прорастание семян во всех пробах (табл.), за исключением той (проба № 4), что была отобрана в зоне разлива рассола в результат утечек из нагнетательной скважины. В образце № 4 произошло полное угнетение семян и ни одно из них не проросло. Энергия прорастания и всхожесть для данной пробы равны нулю, в то время как в остальных пробах уже на второй день процент проросших семян составил 85-90%. Естественно предположить, что в условиях техногенного засоления угнетение семян коснется не только тест-объекта (редьки масличной), но и другой естественной растительности, например, повсеместно распространенной на Россошинской площади полыни полевой.

Таким образом, угрозу состоянию растительности при строительстве и эксплуатации ВПХГ в солевых пластах представляют собой разливы высокоминерализованных вод на почвенный покров, который будет приводить к техногенному засолению среды произрастания. В связи с требованиями современных нормативно-технических документов существующая система экологического мониторинга нуждается в совершенствовании, она должна включать опробование не только атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, донных отложений, почв, но и травянистой растительности, широко распространенной на территории ВПХГ и чутко реагирующей на техногенное засоление среды.

Список литературы

1. Бутковский Ю.М., Грицаенко В.Г., Журавлева Т.Ю. Инженерно-геологические условия создания Волгоградского ПХГ // Газовая промышленность. 1999. № 11. С. 56–57.

Скнарина Н.А.

Южный федеральный университет, Институт наук о Земле, г. Ростов-на-Дону, nsknarina@sfedu.ru

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АКВАТОРИИ ТАГАНРОГСКОГО МОРСКОГО ТОРГОВОГО ПОРТА

Оценка эколого-геологических условий производится для определения современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей природной среды, изменяющейся под влиянием техногенной нагрузки, с целью предотвращения и минимизации вредных нежелательных последствий. Объект исследования – акватория бассейна Таганрогского судоремонтного завода, расположенного в Таганрогском морском торговом порту г. Таганрог, Ростовской области. В основе проведенных исследований использовались данные комплексных инженерных изысканий [1] проведенных в октябре 2016 г. для обоснования принимаемых решений при разработки проектной документации.

Основные решаемые задачи:

– комплексное изучение природных и техногенных условий территории;

– оценка современного экологического состояния отдельных компонентов природной среды и экосистем в целом;

– разработка прогноза возможных изменений природных (природно-технических) систем;

– оценка экологической безопасности и риска;

– разработка рекомендаций по предотвращению вредных и нежелательных экологических последствий инженерно-хозяйственной деятельности и обоснование природоохранных мероприятий;

– разработка рекомендаций к программе организации проведения локального экологического мониторинга.

Морской порт расположен в северо-восточной части Азовского моря. Отрезки берега, прилегающие к участку исследования, в большинстве случаев представляют собой природно-техногенные комплексы, облик которых определяют элементы, связанные с инженерным или иным хозяйственным воздействием человека. Это хозяйственные постройки и территории, гидротехнические объекты, берегозащитные сооружения, участки прибрежных искусственных насаждений.

Ситуационный план Таганрогского судоремонтного завода показан на рис. 1.

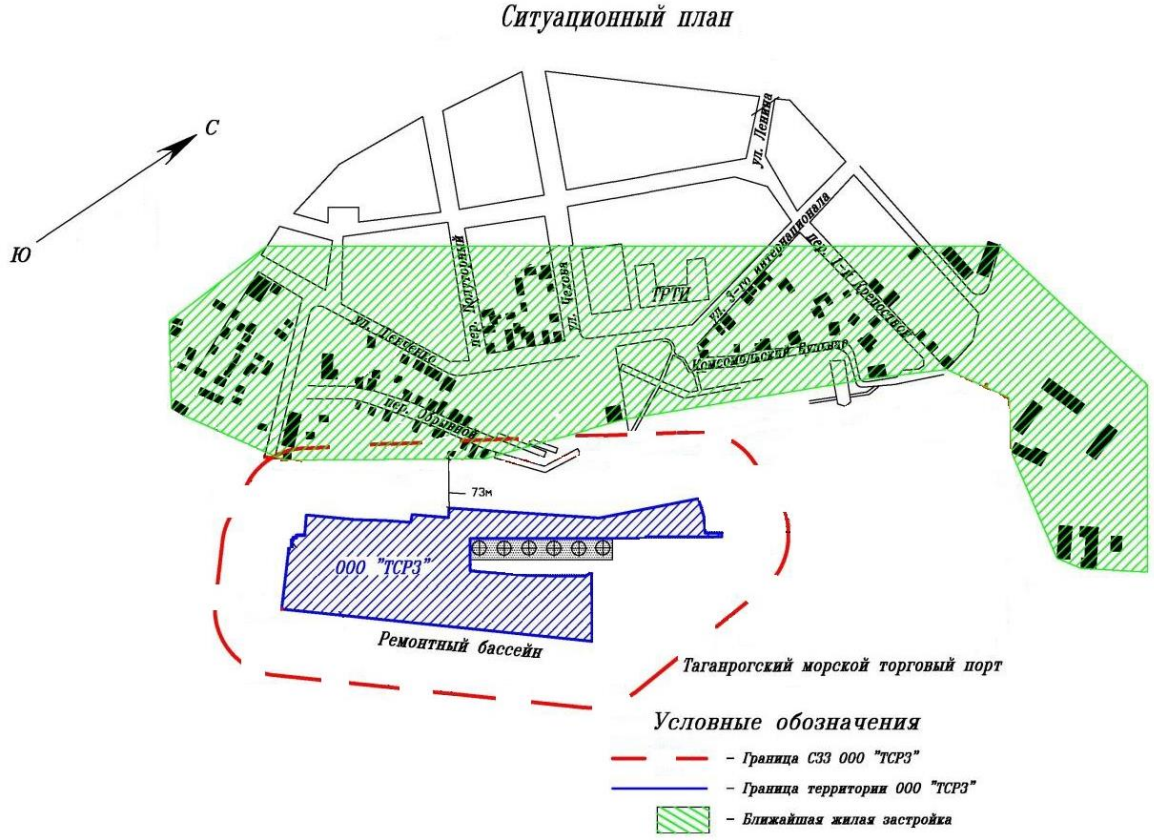


Рис. 1. Ситуационный план Таганрогского судоремонтного завода

Исследуемый объект расположен в южной части умеренной климатической зоны, для которой характерны мягкая пасмурная ветреная зима (декабрь – февраль) и очень теплое, относительно сухое лето (июнь – август). Относительная влажность воздуха в холодный период года составляет 85–88%, а в теплый период 60–64%. Средняя относительная влажность воздуха за год составляет 75%. Среднегодовое количество осадков по г. Таганрогу составляет 575 мм. Осадки выпадают в виде дождя (70 % от общего количества), снега (8%) и дождя со снегом (22%).

Акватория Таганрогского залива в морфоструктурном отношении приурочена к аккумулятивным равнинам шельфа в пределах платформ. На побережье развит денудационно-аккумулятивный рельеф преимущественно флювиально-делювиального генезиса. По своим морфологическим характеристикам это полого-увалистый долинный и овражно-балочный рельеф, сложенный суглинками, лессами, сыртовыми глинами и песками. По своим морфометрическим показателям рельеф равнинный, ниже 200 м н.у.м., глубина вертикального расчленения достигает 75 м.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемый район размещения объекта входит в состав Азово-Кубанского артезианского бассейна. Водоносные горизонты территории приурочены к различным отложениям от

нижнемелового до четвертичного. Характерной особенностью является гидрогеологическая раскрытость водоносных толщ кайнозойского осадочного чехла. В верхней части разреза залегают воды сравнительно невысокой (0,3–8,0 г/л) минерализации, имеющие большое практическое значение.

Таганрогский мыс расположен в районе Таганрогского (Беглицкого) выступа южного склона Украинского щита, испытавшего поднятия в неоген-четвертичное время. Береговая зона в отношении современных вертикальных движений характеризуется стабильностью. Берег на протяжении 8 км до Петрушиной косы представляет абразионный уступ высотой до 18–20 м с мелкими осыпями и обвалами у основания клифа, прорезанный множеством балок и оврагов. Пляж шириной 10–13 м сложен галькой и обломками известняков и песчаников, кварцевым песком, ракушей и детритом. Подводный береговой склон – отмелый. Глубина 1 м удалена на 200–300 м, 2-метровая изобата проходит в 600–650 м от уреза.

В геологическом строении исследуемого объекта, принимают участие современные четвертичные морские отложения, представленные илами и глинами. В пределах исследуемой площадки выделено два инженерно-геологических элемента. *Инженерно-геологический элемент 1* (mQ_{IV}) – ил темно-серого цвета. Согласно ГОСТ 25100 – 2011[1] грунты ИГЭ – 1 относятся к илам легким пылеватым, текучей консистенции, с примесью органического вещества *Инженерно-геологический элемент 2* (mQ_{IV}) – глина зеленовато-серого цвета. Грунты ИГЭ – 2 относятся к глинам легким пылеватым, тугопластичной консистенции, с низким содержанием органического вещества.

Для Таганрогского взморья основными наносодвижущими являются волнения в секторе от запад-юго-запада до юг-юго-запада, их энергия в несколько раз превышает энергетические показатели восточных наносодвижущих румбов. Это определяет развитие генерального потока в береговой зоне в пределах северного побережья в направлении с запада на восток. Объем наносов, перемещающихся в генеральном направлении, уменьшается к вершине залива от 2,03 тыс. – 7,10 тыс. $м^3$/год в районе Миусского лимана и Беглицкой косы и до 0,44 тыс. – 0,93 тыс. $м^3$/год на участке берега Таганрогского мыса и Куричьей косы. Размах миграции противоположно направленных потоков (В: 3) на расчетных участках варьирует в широких пределах от 1:1,33 до 1:110. Относительная энергоемкость, равная 0,5, характеризует равномерное поступление обломочного материала в береговую зону, обеспечивающее относительную ее стабильность, что характерно для восточного берега Таганрогского мыса - на участке искусственного пляжа.

По генезису и современному распространению различных групп животных область входит в состав европейской юго-восточной (Понтийской) зоогеографической провинции, основу их составляет понтийский (Понт – древнее название Черного моря) комплекс организмов, обитающих преимущественно в приазовских и причерноморских степях. Особенностью его

является наличие типичных европейских животных (косуля, лось, куница, выдра и др.) и видов Арало-Каспийской провинции (серый суслик, тушканчик-емуранчик, ушастый еж, корсак и др.). Таким образом, в зоогеографическом отношении здесь сосуществуют представители европейского, европейско-сибирского, палеарктического и других комплексов.

Таганрогский залив, согласно приказу Федерального агентства по рыболовству № 818 от 17.09.2009, относится к водным объектам высшей категории рыбохозяйственного значения и является одним из самых рыбопродуктивных районов Азовского моря. Относительно небольшая соленость, мелководность, богатая кормовая база - причины, по которым Таганрогский залив является уникальным водоемом, в котором происходит нагул практически всех промысловых рыб Азовского бассейна - осетровых (белуга, осетр, севрюга), судака, леща, рыбца, тарани, сельди, шемаи, сазана, чехони и др., из которых белуга и шемая занесены в Красные книги РФ и Ростовской области. Нерестовые миграции производителей рыб из Таганрогского залива в реку Дон совершаются как весной (март-май), так и осенью (озимые формы рыбца и шемаи).

Основные источники загрязнения окружающей среды

Основными антропогенными источниками загрязнения окружающей природной среды участка исследования являются компании, входящие в состав морского порта, а также предприятия жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и транспорт.

Город Таганрог находится в зоне повышенного потенциала загрязнения атмосферы, которая характеризуется метеорологическими условиями, способствующими созданию неблагоприятных санитарно-гигиенических условий, а именно: скоплению примесей в воздухе (например, повторяемость застоев воздуха составляет до 18%; продолжительность туманов в отдельные годы может достигать 100 – 600 час.). Несмотря на это в последние годы отмечается снижение уровня загрязнения воздуха бенз(а)пиреном, и наблюдается незначительный рост диоксида азота, диоксида серы и взвешенных веществ. Концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на рассматриваемой территории не превышает предельно допустимых концентраций [3].

Как показывают многолетние исследования, основными загрязняющими веществами Таганрогского залива и Азовского моря являются тяжелые металлы, нефтепродукты, пестициды, в меньшей степени синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), фенолы и другие вещества. Загрязняющие вещества поступают со сточными водами предприятий и населенных пунктов, атмосферными осадками, водами оросительных каналов, в процессе судоходства. Основные источники загрязняющих веществ - города Таганрог, Азов, реки Дон, Миус, а также малые реки. В воде акватории завода,

по результатам мониторинга, отмечается превышения ПДК [4] по содержанию взвешенных веществ, в отдельных пробах – железа и $БПК_{полн}$.

В донных отложениях средние значения большинства элементов, исследованных в ходе обработки архивных материалов, ниже кларковых. Установлено также, что уровень загрязнения поверхностного слоя донных отложений соединениями тяжелых металлов с 2000 года находится на стабильном уровне с некоторыми понижениями на отдельных участках.

Донные отложения, загрязненные нефтепродуктами, способствуют вторичному загрязнению придонных масс воды, а, следовательно, и всей акватории. Анализ результатов показывает повсеместное загрязнение донных отложений нефтепродуктами в результате интенсивной антропогенной нагрузки, которое представляет серьезную угрозу экосистеме района. Уровень содержания нефтепродуктов на рассматриваемом участке изменяется от 92,3 до 127,1 мг/кг. В целом уровень загрязнения донных отложений нефтяными углеводородами, согласно данным экологического мониторинга, в районе остается стабильным. Динамика среднегодовых значений содержания пестицидов в донных отложениях с отставанием в 1–2 года повторяет динамику среднегодовых их концентраций в водной среде.

Многолетние исследования показали, что донные осадки Азовского моря, содержащие пестициды, приурочены к прибрежным зонам, граничащим с районами интенсивного земледелия, где ранее десятилетиями они применялись, и почва накопила их в значительных количествах. Пестициды, попавшие в водоем, могут подвергаться разнообразным превращениям (гидролиз, окисление, восстановление, дехлорирование и т.д.), а также могут мигрировать как в планктон, так и в донные отложения. Содержание пестицидов (ДДЕ, ДДТ, ДДД, ГХЦГ) установлено менее 0,1 мг/кг.

Анализ донного грунта в районе всех станций наблюдения является не загрязненным по микробиологическим показателям и относится к категории чистых грунтов, согласно требованиям МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест».

В теплое время года отмечалось интенсивное цветение воды, вызываемое диатомовыми и сине-зелеными водорослями, которое охватывало не только залив, но и большую часть акватории моря. В эти годы величина первичной продукции достигала 340 млн. т сырого органического вещества, а биомасса 3,7 г/м^3.

Минимальные значения биомассы отмечаются в период май–июнь. В июле – августе формируется второй максимум сезонного цикла фитопланктона, который обеспечивается развитием эвригалинных пресноводных и солоноватоводных видов. Это сине-зеленые, зеленые и диатомовые водоросли.

Осенью в заливе продолжают развиваться сине-зеленые водоросли. Ареал морских форм фитопланктона ограничен западной частью залива. Ареал сине-зеленых водорослей был ограничен районом залива, а эвтрофные виды,

вызывающие раннее цветение воды, утратили свое значение и в небольших количествах встречались в районах, ограниченных изогалиной 2‰.

Основными формами зоопланктона являются веслоногие и ветвистоусые раки, коловратки и временные плантеры – личинки усоногих раков, червей и моллюсков.

Характер сезонной динамики зоопланктона описывается двухвершинной кривой с весенним и летне-осенним максимумами. Весной при температуре 8–10°С, отмечается вспышка в развитии личиночного планктона. В летнее время в планктоне доминируют ветвистоусые раки, составляющие 50–80% общего зоопланктона. Постоянными доминантами этого комплекса является каланипеда и гетерокопа. Такая схема внутригодовой динамики зоопланктона была характерной как для периода естественного режима моря, так и для условий зарегулирования стока.

Практически только восточная часть залива остается свободной и здесь зоопланктон не испытывает мощного трофического пресса, которым является гребневик. Уровень развития последнего в Таганрогском заливе характеризуется величиной 100–200 г/м^3 сырой массы.

Общая биомасса зообентоса за счет моренизации фауны повысилась и составила 82 г/м^3.

В анализах донных отложений превышений ПДК [5] радионуклидов не обнаружено. По содержанию радионуклидов донные отложения исследуемого участка относятся к категории чистая и отвечают требованиям НРБ-2009 (для материалов, используемых в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданий (1 класс), Аэфф <= 370 Бк/кг) и могут быть использованы без ограничения по радиационному фактору.

Предложения к программе экологического мониторинга

В состав работ по контролю за состоянием водной среды могут входить следующие виды наблюдений:

– гидрометеорологические наблюдения на прилегающей акватории;

– гидрохимический анализ проб поверхностных вод акватории;

– выборочный химический и гранулометрический анализ проб донного грунта;

– гидробиологическое обследование прилегающей акватории;

– регистрация границ зон повышенной мутности для уточнения оценки рыбохозяйственного ущерба;

– санитарно-бактериологические исследования сбросных и природных вод,

– выборочный радиационный контроль проб донного грунта, изымаемого из портовой акватории.

Контроль может быть проведен не реже 2-3 раза в год (в соответствии с гидрологическими сезонами). Станции наблюдения могут быть приближены к

контрольным точкам акватории, в которых проводились фоновые наблюдения при инженерно-экологических изысканиях.

Список литературы

1. СП 47.13330.2012 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
2. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
3. ГН 2.1.6. 1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
4. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
5. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.

Григорьева И.Л.

Институт водных проблем РАН, г. Москва, Irina0103@yandex.ru

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРЕПОВЕЦКОГО ПРОМУЗЛА)

При проектировании, строительстве и реконструкции особо опасных промышленных производств, к которым в соответствии со статьей 48.1 градостроительного кодекса можно отнести крупные предприятия химической и металлургической промышленности, следует заранее предусмотреть меры по защите окружающей среды. Дать прогноз негативного влияния строящихся предприятий на окружающую среду можно на основании как прогнозных расчетов и моделирования характеристик ожидаемого загрязнения (по компонентам), так и изучения воздействий уже построенных объектов-аналогов. При строительстве новых промышленных объектов важно также знать какое негативное воздействие оказывают на компоненты природной среды уже имеющиеся на данной территории предприятия.

Крупные промышленные комплексы, в состав которых входят металлургические и химические предприятия, представляют особую опасность для окружающей среды. Примером такого комплекса является Череповецкий промузел, в состав которого входят: Череповецкий металлургический комбинат (ПАО «Северсталь»), ОАО «Северсталь-метиз», ОАО «ФосАгро-Череповец» (создано в результате слияния ОАО «Аммофос» и ОАО "Череповецкий «Азот»), на которых работает 40% жителей г. Череповца [12]. Также в городе действуют предприятия дерево- и металлообработки, пищевой и лёгкой промышленности, предприятия строительного комплекса.

Череповецкий промышленный узел является крупнейшей зоной загрязнения подземных вод на территории Вологодской области [11]. Здесь на площади более 60 км^2 размещены предприятия черной металлургии, химического производства, стройиндустрии и централизованные свалки бытовых и промышленных отходов. Череповецкий промузел с момента его создания представляет собой единую загрязненную зону. На его территории выделено 12 участков техногенного загрязнения подземных вод. По [11] наблюдалось эпизодическое загрязнение грунтовых вод микрокомпонентами: Ni (до 3.2 ПДК), Pb (4 ПДК), Al (2 ПДК), Cr (2.4 ПДК), Cd (2.0 ПДК), Mo (1.1 ПДК), Zn (1.2 ПДК), Se (6.2 ПДК), Cu (7.2 ПДК), As (до 6 ПДК), хлоридами (до 25 ПДК).

Предприятия Череповецкого промузла оказывают негативное влияние на поверхностные воды (притоки Рыбинского водохранилища) за счёт отведения в них недостаточно-очищенных стоков.

Рыбинское водохранилище – третья ступень волжского каскада. Водоем расположен на северо-востоке Европейской части России (в районе 58–59

параллелей и 37–39 меридианов) в подзоне южной тайги. Возникло в юго-восточной части Молого-Шекснинской низменности на месте существовавшего здесь в ледниковый период озера. В 1941 году на Волге и Шексне в районе пос. Переборы (Рыбинск) была закончена постройка дамбы, плотины и шлюза и весенние воды стали заполнять образовавшуюся котловину. Наполнение водохранилища до проектной отметки в 102 м над уровнем моря продолжалось в течение 7 лет до 1947 года.

Сооружения Рыбинского гидроузла перекрывают русло реки Волга выше устья реки Шексна и саму реку Шексна в непосредственной близости от ее устья. Подпор от Рыбинского гидроузла распространяется на 112 км до Угличского гидроузла на Волге, на 172 км до Шекснинского гидроузла на Волго-Балтийском канале и на 184 км по реке Молога (выше города Весьегонск).

Основные морфометрические характеристики водохранилища представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные морфометрические характеристики Рыбинского водохранилища

	Проектные данные	**Уточненные данные**
Период заполнения, годы	1941-1947	
Морфометрический тип	Озерный	
Нормальный подпорный уровень (НПУ), м	102	
Площадь водосбора, км^2	150500	
Площадь зеркала при НПУ, км^2	4550	4611
Объем при НПУ, км^3	25,42	25,8
Глубина максимальная, м	30,4	27,5
Глубина средняя, м	5,6	5,6
Наибольшая длина водохранилища от Угличской ГЭС до Шекснинской ГЭС, км	250	
Длина озеровидной части	150	
Наибольшая ширина, км	70	56,1
Длина береговой линии при НПУ, км	2150	2465

В Рыбинское водохранилище в настоящее время сбрасывают сточные воды, согласно форме 2-ТП (водхоз), 40 предприятий. Наиболее крупными водопользователями являются МУП «Водоканал» (р. Шексна) и предприятия Череповецкого промышленного узла (Вологодская область), такие как: ПАО «Северсталь» (р. Кошта и р. Шексна), ОАО «ФосАгро-Череповец» Фосфорный комплекс (р. Кошта), ОАО «ФосАгро-Череповец» Азотный комплекс и другие. Распределение масс загрязняющих веществ между предприятиями г. Череповца представлено в табл. 2.

Таблица 2

Распределение масс загрязняющих веществ между предприятиями г. Череповца, по [10]

Предприятие	**Взвешенные вещества**	**БПК**	**Азот аммонийный**	**Нитраты**	**сульфаты**	**хлориды**
МУП «Водоканал»	76.4	73.1	0.6	77.0	23.2	49.9
ОАО «Северсталь»	8.7	12.5	88.8	17.0	63.4	37.0
ОАО «ФосАгро-Череповец», Азотный комплекс	7.3	9.3	1.2	2.6	5.6	0.9
ОАО «ФосАгро-Череповец», Фосфорный комплекс	7.4	4.8	9.0	3.4	7.7	12.2
Прочие	0.2	0.3	0.4	0	0.1	0

Для природного химического состава воды Рыбинского водохранилища характерно малое содержание растворенных солей, среди которых преобладают бикарбонаты кальция, низкие концентрации минеральных форм азота и фосфора; высокое содержание органического вещества гумусовой природы и, как следствие последнего, большая цветность воды [4].

Анализ данных по сбросу сточных вод предприятий Череповецкого промышленного узла в Рыбинское водохранилище и его притоки показал, что наблюдается превышение над установленными нормативами (ПДК) по таким ингредиентам, как азот аммонийный, медь, марганец, железо, нефтепродукты, $БПК_5$.

По этим же показателям наблюдалось превышение ПДК в точках наблюдений в водохранилище в районе влияния Череповецкого промузла (г. Череповец, Торово, Шоломово, Городище, Мякса) (рис. 1) в июле 2009 г. и августе 2010 г. [1, 2].

В оба года в районе Череповца были зафиксированы высокие концентрации нитритов, что является свидетельством фекального загрязнения водных масс.

Превышения рыбохозяйственных нормативов наблюдалось также по цинку в 2009 г. в двух створах – н.п. Мякса (10 ПДК) и н.п. Торово, устье

р. Суда (8 ПДК), в 2010 г. концентрация в 19 ПДК была зафиксирована в точке н.п. Торово и в 2 ПДК – точка Центральный мыс.

Рис. 1. Схема Рыбинского водохранилища с основными точками наблюдений за химическим составом воды в различные годы

В 2010 г. в двух точках: н.п. Шоломово и н.п. Городище наблюдалось превышение ПДК по фенолам.

Высокие концентрации сульфатов в ряде точек наблюдений (Череповец, Торово, мыс Центральный) свидетельствуют о техногенном загрязнении водоема стоками Череповецкого промузла.

Результаты гидрохимических исследований Рыбинского водохранилища летом 2014 г., проведенные сотрудниками Института биологии внутренних вод РАН и Института водных проблем РАН, подтвердили ранее сделанный вывод о том, что наибольший антропогенный пресс испытывают водные массы водохранилища в зоне влияния Череповецкого промузла. На этом участке водохранилища отмечены концентрации азота аммонийного, меди, марганца, железа общего, нефтепродуктов, $БПК_5$, превышающие ПДК. В воде р. Кошты, куда происходит сброс сточных вод ПАО «Северсталь», отмечались также высокие концентрации сульфатов (154.0–191.6 мг/дм^3) и хлоридов (50.3–107.2 мг/дм^3).

В районе г. Череповца неоднократно изучалось численность бактерий и санитарное состояние воды. Так еще в 1960–1961 гг. количество сапрофитных бактерий у г. Череповца было в 100–1 000 раз больше, а кишечных палочек в десятки и сотни раз больше, чем в центральной части водохранилища [4]. Это свидетельствует о загрязнении воды в районе города органическими веществами и фекалиями.

Исследования Рыбинского водохранилища в районе Череповца сотрудниками Института биологии внутренних вод РАН в 1986–1988 гг. показали, что вся акватория северной части Шекснинского плеса и малые реки этого района находятся под мощным воздействием г. Череповца. Влияние города сказывалось на расстоянии 11 км по течению р. Шексны, отрицательное воздействие сточных вод проявлялось при удалении на 25–30 км, а иногда и на 55 км (д. Мякса). Наличие специфических групп бактерий и их активная деятельность – свидетельство сильнейшего загрязнения этого участка фенолами, производными нафталина, нефтепродуктами и фекальными сбросами [5].

Авторами [8] показано, что в экосистеме Рыбинского водохранилища присутствуют полихлорированные бифенилы (ПХБ), локальным источником которых является Череповецкий индустриальный комплекс и стойкие органические соединения [7].

Томилиной И.И. [9] изучалась токсичность донных отложений (ДО) и было отмечено, что хроническое загрязнение донных отложений зарегистрировано на протяжении всего периода наблюдений (1992–1999 гг.) на станциях, расположенных в Шекснинском плесе в зоне влияния Череповецкого промышленного узла. Гибель тест-объектов (Chironomus riparius, Hyalella azteca) достигала 40–100% за 48 ч. Для ДО Шекснинского плеса Рыбинского водохранилища зарегистрировано превышение допустимого содержания тяжелых металлов (например, на станции р. Серовка, расположенной в

непосредственной близости от места поступления стоков Череповецкого металлургического комбината: по Cd и Zn в 11.8, Си – 6.5, РЬ – 2.7 раз) [6]. На станциях устье р. Суда и р. Ягорба уровни содержания полиароматических углеводородов (ПАУ) были близки к допустимому уровню, а полихлорированных бифенилов (ПХБ) соответственно в 7 и 10 раз его превышали. ДО р. Серовки сильно загрязнены как ПАУ (превышение допустимого уровня в 7 раз), так и ПХБ (превышение в 107 раз). На станциях р. Суда, р. Ягорба и р. Серовка наблюдали превышение допустимого содержания остаточных количеств ДДТ [6].

Таким образом, исследования автора, литературные и данные сети Интернет [1–12] свидетельствуют о стойком многолетнем загрязнении водной массы Шекснинского плеса Рыбинского водохранилища и донных отложений водоема органическими веществами, тяжелыми металлами, нефтепродуктами, биогенными элементами и другими загрязняющими веществами. Отрицательное воздействие бытовых и промышленных стоков от Череповецкого промузла распространяется на расстояние до 55 км (д. Мякса).

Все выше приведенные данные свидетельствуют о значительном влиянии крупных промышленных комплексов, отводящих промстоки в поверхностные водные объекты, на качество воды и качество донных отложений.

В донных отложениях концентрации загрязняющих веществ могут быть в разы выше, чем в воде, поэтому техногенно-загрязненые донные отложения при определенных условиях могут служить источником вторичного загрязнения водных масс.

Список литературы

1. Григорьева И.Л., Лупанова И.А., Нечаева Е.А., Романов С.Н. Пространственно-временная изменчивость показателей химического состава воды Угличского и Рыбинского водохранилищ // Труды международ. науч.-практ. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов». Т. II. Химический состав и качество воды (17–20 мая 2011 г., г. Пермь). Пермь: Пермский гос. ун-т, 2011. С. 41–46.
2. Григорьева И.Л., Романов С.Н., Нечаева Е.А., Козуля В.И. Состояние качества воды Рыбинского водохранилища в районе сброса сточных вод Череповецкого промузла // Мологский край и Рыбинское водохранилище: материалы всерос. научно-практ. конф. «Проблемы Рыбинского водохранилища и прибрежных территорий». М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, ф-т почвоведения, 2011. С. 62–67.
3. Гусаков В.А. Мейобентос Рыбинского водохранилища. Товарищество научных изданий КМК. М., 2007. 155 с.

4. Казаровец Н.М. Санитарно-бактеорологическая характеристика вод Рыбинского водохранилища // Биологические аспекты изучения водохранилищ. М.-Л., 1963.
5. Романенко В.И., Захарова Л.И., Романенко В.А., Гаврилова В.А., Соколова В.А. Оценка качества воды по микробиологическим показателям в Рыбинском водохранилище у г. Череповца // Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск, 1990. С. 24–41.
6. Флеров Б.А., Томилина И.И., Кливленд Л., Баканов А.И., Гапеева М.В. Комплексная оценка состояния донных отложений Рыбинского водохранилища // Биол. внутр. вод. 2000. № 2. С. 148–155.
7. Чуйко Г.М., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б., Морозов А.А. Стойкие органические загрязняющие вещества в экосистеме Рыбинского водохранилища // Материалы научно-практической конференции «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». г. Азов, 8-10 июня 2009 г. С. 251–254.
8. Чуйко Г.М., Законнов В.В., Герман А.Б., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б., Тиллит Д.Э. Распределение полихлорированных бифенилов в экосистеме Рыбинского водохранилища при их локальном поступлении // В кн.: Современное состояние водных биоресурсов: материалы научной конференции, посвященной 70-летию С.М. Коновалова (25–27 марта 2008 г., ТИНРО-Центр, г. Владивосток). Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. С. 680–685.
9. https://bib.social/mikrobiologiya_1050/toksikologicheskaya-otsenka-kachestva-donnyih-81185.html.
10. https://www.gorodche.ru/news/society/48495/.
11. http://sevzapnedra.nw.ru/GMCN/SF/Vologodskaja/VOL35.htm
12. https://ru.wikipedia.org.

Косинова И.И., Фонова О.Г.

Воронежский государственный университет, геологический факультет, кафедра экологической геологии, г. Воронеж, kosinova777@yandex.ru

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В Г. ВОРОНЕЖЕ

Неблагоприятная экологическая ситуация является одной из главных проблем XXI-го века. Это особенно актуально для крупных городов мегаполисов, где на данный момент проживает большая часть населения Земли, и процесс урбанизации, ещё не завершён.

В последние десятилетия обострились экологические проблемы городской среды. Источниками загрязнения городской среды являются промышленные предприятия, теплоэнергетический комплекс, автомобильный транспорт. Основной загрязнитель городской среды – автомобильный транспорт. Согласно «Докладам о состоянии окружающей среды» различных областей, количество транспортных выбросов в общем антропогенном воздействии составляет от 75 до 91%. Общее количество загрязняющих веществ, попадающих в компоненты природной среды, составляет около 20 млн т в год.

Несоответствие транспортных средств экологическим требованиям, продолжающееся увеличение транспортных потоков, неудовлетворительное состояние автомобильных дорог - все это приводит к постоянному ухудшению экологической обстановки. Кроме отравления вредоносными выбросами газов воздуха автомобильный транспорт загрязняет значительные территории топливно-смазочными материалами, является мощным источником повышенного шума и электромагнитных излучений.

Воронеж, как и любой другой крупный промышленный центр, отличается наличием большой концентрации различных антропогенных факторов на очень ограниченной площади. При проведении инженерно-экологических изысканий, а также в районах значительных транспортных развязок и дорог первой и второй категории важное значение имеют величины pH и Eh грунтов, так как они определяют способность миграции либо накопления компонентов в придорожных территориях. Рассматривая особенности данных процессов можно в дальнейшем характеризовать и давать прогноз влияния данных объектов на компоненты природной среды, что является элементом отчета по инженерно-экологическим изысканиям.

Основным представителем, загрязняющим почву, являются тяжелые металлы (ТМ), они прочно сорбируются и взаимодействуют с почвенным гумусом, образуя труднорастворимые соединения, которые накапливаются в почве в пределах до 10 м от края полотна автодороги [2], а под воздействием различных факторов мигрируют и переносятся как по рельефу местности, так и по глубине.

В данной работе необходимо было исследовать влияние автодорог в крупной городской агломерации г. Воронеж на прилегающие территорий.

Исследования проводились в двух противоположных городских районах города Воронежа: в Коминтерновском и Левобережном районах (рис. 1, 2). В каждом из районов было выделено по три опорных участка. Первый, является главной магистралью города с интенсивностью 1500-2000 машин в час, второй межквартальной автодорогой – 500–700 машин в час и третий внутриквартальной автодорогой – 40–60 машин в час.

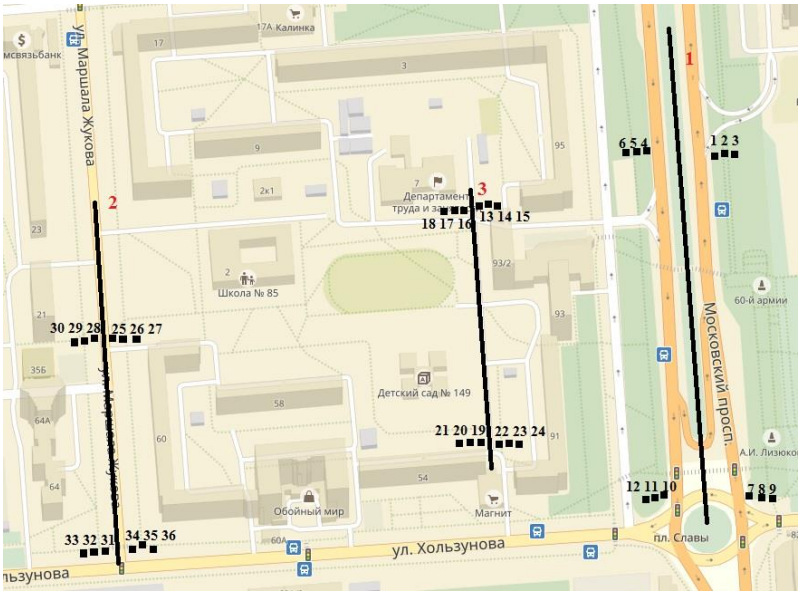
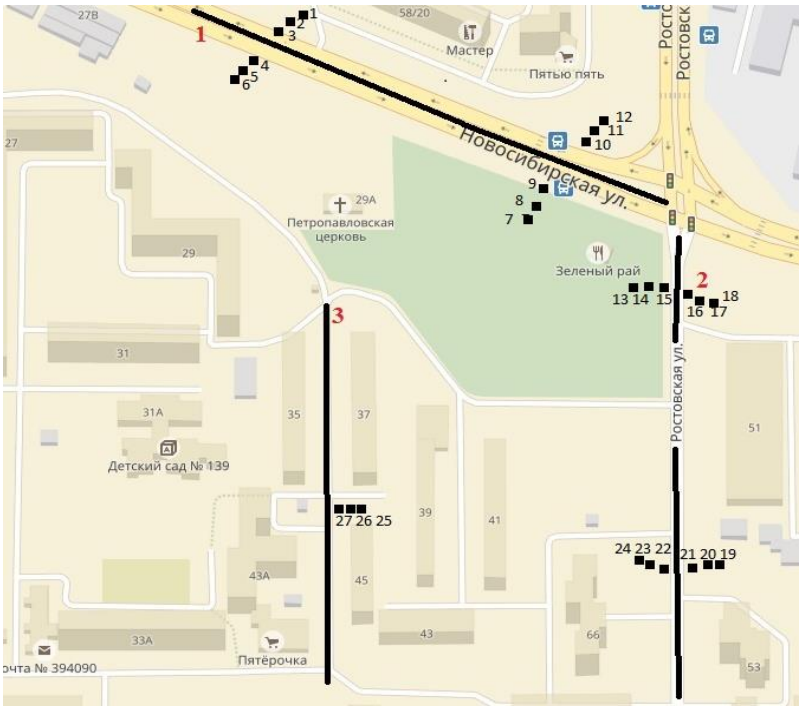


Рис. 1. Схема пробоотбора в Коминтерновском районе



Рису. 2. Схема пробоотбора в Левобережном районе

Для оценки экологического состояния придорожных территорий в ходе полевых работ были отобраны пробы грунта, по которым в результате лабораторных исследований определялись pH и Eh показатели, а также был замерен радиационный фон территории.

Отбор проб почв и грунтов для химических исследований производили на выделенном участке отбора для площадных объектов – методом «конверта (смешанная проба на площади 20–25 м^2) на глубину 0,0–0,30 м [4].

Общий объем в Коминтерновском районе составил 36 проб, а в Левобережном было отобрано 27 почвенных проб.

Выявление источников радиации проводился с помощью радиационной съемки и радиометрического опробования территории [8].

Маршрутную радиационную съёмку территории осуществляли с помощью радиометров (в нашем случае SOEKS). Радиационный фон территории замеряли по профилям с шагом 250 -300 м между профилями в зависимости от длины улицы, в местах максимального и минимального скопления автомобилей. На каждом профиле было произведено по 3 замера радиационного фона дозиметром SOEKS с каждой стороны дороги с шагом 5, 10 и 20 м от дорожного полотна. Всего было произведено 36 замеров радиационного фона в Коминтерновском районе и 27 замеров в Левобережном [7].

Оценивая кислотность почв, необходимо учитывать, что этот параметр является косвенным фактором загрязнения, но может являться индикатором тех или иных процессов распространения тяжелых металлов и других элементов. В результате исследования были получены следующие результаты, представленные в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты инженерно-экологических исследований придорожной территории в Коминтерновском районе

Номер точки наблюдения	**Показатель pH**	**Показатель Eh, В**	**Показатель радиационного фона**	**Принадлежность к автодороге**
1	2	3	4	5
1.	6,83	0,02	16	Главная магистраль района
2.	6,85	0,03	16	
3.	6,85	0,02	12	
4.	6.88	0,02	16	
5.	6.85	0,03	14	
6.	6,87	0,03	15	
7.	6.82	0,03	18	
8.	6.82	0,03	16	
9.	6,84	0,035	15	
10.	6,85	0,03	16	
11.	6,79	0,03	15	

Номер точки наблюдения	Показатель pH	Показатель Eh, B	Показатель радиационного фона	Принадлежность к автодороге
12.	6,83	0,027	14	
13.	6,98	0,03	10	Межквартальная автодорога
14.	7,1	0,025	1 1	
15.	7,05	0,024	11	
16.	6,96	0,03	12	
17.	6,94	0,17	1 1	
18.	6,95	0,02	10	
19.	7,05	0,025	12	
20.	6.99	0,022	12	
21.	7,02	0,026	11	
22.	6,96	0,024	12	
Продолжение таблицы 1				
1	2	3	4	5
23.	6,9	0,028	12	Межквартальная автодорога
24.	6.92	0,026	12	
25.	7.1	0,028	15	Внутриквартальная автодорога
26.	6,92	0,02	15	
27.	6,95	0,026	12	
28.	6,96	0,028	12	
29.	6,94	0,026	12	
30.	6,91	0,025	11	
31.	6,94	0,02	15	
32.	6,9	0,024	14	
33.	6,89	0,029	14	
34.	6,88	0,027	14	
35.	6,89	0,029	14	
36.	6,85	0,03	13	

Таблица 2

Результаты инженерно-экологических исследований придорожной территории в Левобережном районе

Номер точки наблюдения	Показатель pH	Показатель Eh, B	Показатель радиационного фона	Принадлежность к автодороге
1.	7,29	0,293	11	Главная магистраль района
2.	7,34	0,268	11	
3.	7,44	0,260	11	
4.	7,34	0,295	10	
5.	7,26	0,311	11	
6.	7,39	0,269	1 1	
7.	7,49	0,216	10	
8.	7,46	0,212	11	
9.	7,30	0,310	11	
10.	7,16	0,381	11	
11.	7,13	0,401	12	
12.	7,29	0,266	11	

Номер точки наблюдения	Показатель pH	Показатель Eh, В	Показатель радиационного фона	Принадлежность к автодороге
13.	7,27	0,261	11	Межквартальная автодорога
14.	7,29	0,269	11	
15.	7,19	0,388	11	
16.	7,10	0,429	11	
17.	7,16	0,400	11	
18.	7,20	0,378	11	
19.	7,07	0,416	12	
20.	7,09	0,415	11	
21.	7,02	0,431	11	
22.	7,07	0,411	11	
23.	7,08	0,402	12	
24.	7,05	0,426	11	Внутриквартальная автодорога
25.	7,01	0,433	11	
26.	7,03	0,421	11	
27.	7,03	0,422	11	

По результатам инженерно-экологических исследований было установлено, что грунт на исследуемых участках, прилегающих к автомагистрали как Коминтерновского района, так и Левобережного района имеют слабощелочную кислотность. Следует отметить, что на автомагистрали Левобережного района показатель pH имеет самые высокие значения. Это, в первую очередь, связано с высокой транспортной нагрузкой, так как выхлопные газы от автомобилей загрязняют почву.

Рисунок 3 демонстрирует различия в экологической ситуации почв и грунтов придорожной территории в Коминтерновском и Левобережном районах. Это связанно с особенностями их техноструктуры. Коминтерновский район представляет собой в основном селитебную застройку. Здесь значение pH максимально приближенны к фоновым значениям. Левобережный район города Воронежа – это промышленный район, транспортная нагрузка здесь представлена в равных долях легковым и тяжелым транспортом. Более высокие величины pH формируются в результате активного использования на автодорогах Левобережного района противогололедных средсв. Средняя величина pH составляет 7,2. Так же практический интерес представляет сравнительная характеристика транспортного воздействия, оказываемого автодорогами разного уровня. Для обоих районов максимальные значения выявлены для территории главных магистралей, минимальные для внутриквартальных автодорог. Здесь процент изменений величин pH для Левобережного района составляет около 70%, для Коминтерновского около 35%.

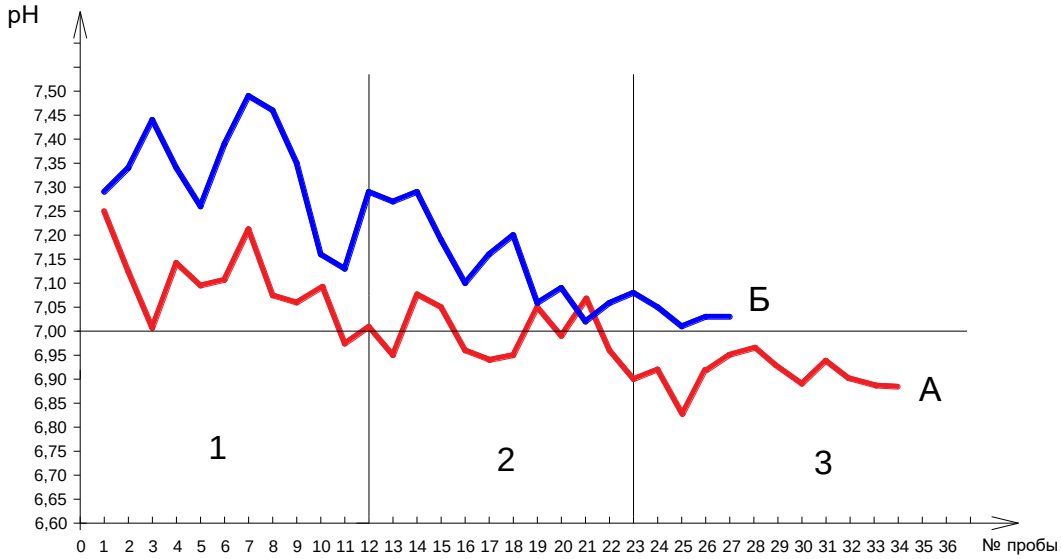


Рис. 3. Показания pH в точках отбора проб:
А- в Коминтерновском районе; Б- в Левобережном районе;
1 – пробы на главной магистрали района; 2 – пробы на межквартальной автодороге;
3 – пробы на внутриквартальной автодороге

Также дифференциация физико-химических условий почв и грунтов придорожных территорий фиксируется по величине окислительно-восстановительного потенциала. Так величина Eh для Коминтерновского района характеризует слабовостановительную среду, для Левобережного – окислительную. На данные показатели, помимо техногенного воздействия, оказывает воздействие гранулометрический состав грунтов. Левобережье преимущественно сложено песчаными грунтами и почвами, правобережье – суглинками.

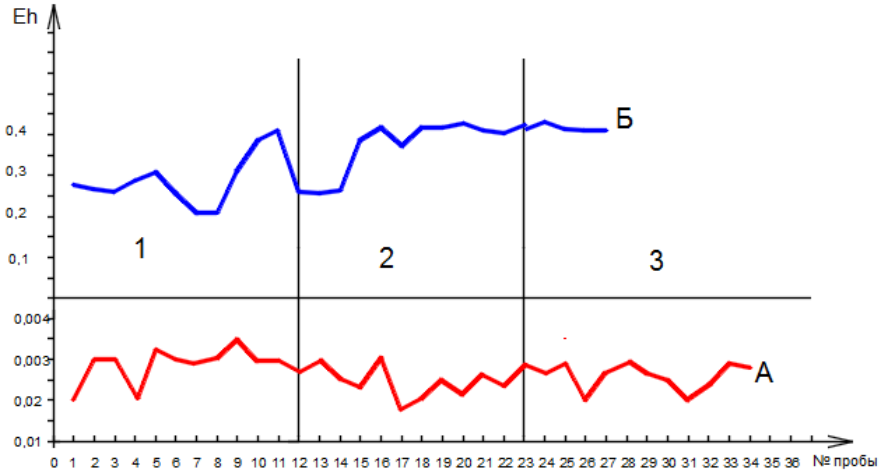


Рис. 4. Показания Eh в точках отбора проб:
А- в Коминтерновском районе; Б- в Левобережном районе;
1 – пробы на главной магистрали района; 2 – пробы на межквартальной автодороге;
3 – пробы на внутриквартальной автодороге

В ходе измерений радиационного фона выяснилось, что во всех точках наблюдения фон находится в пределах нормы. Радиационный фон придорожной территории равен 10-16 мкР/ч [4]. Натурные измерения радиационного фона представлены в табл. 1, 2.

Наибольшие показатели находятся вблизи двух крупных автомобильный дорог, где наибольшая плотность транспортного потока.

Заключение

1. Состояние придорожных территорий зависит как от уровня техногенной нагрузки, так и от гранулометрического состава почв и грунтов. Величины pH в большей степени реагируют на техногенные воздействия, повышение щелочности максимально фиксируется в районах крупных магистралей, является результатом применения антигололедных средств. Величина Eh контролируется составом грунтов в пределах городской черты, и изменяется от слабовостановительной до слабоокислительной.
2. При инженерно-экологических изысканиях не целесообразно в качестве аналогов применять результаты изысканий придорожных территорий различных районов города. Различия, как в характере техногенной нагрузки, так и в строении приповерхностных грунтов дают разные результаты в определении их экологических параметров.
3. Комплекс исследований выявил, что автотранспортное воздействие всех уровней – от магистралей до внутриквартальных проездов - не оказывает воздействие на радиационные показатели. Их значения изменяются в пределах фона от 10 до 16 мкР/ч.

Список литературы

1. Базарский О.В., Ильяш В.В., Курышев А.А. Радиационная экология: учебное пособие для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки «Геология» по профилю «Экол. Геология». Воронеж: Воронежский государственный университет, 2015. 64 с.
2. Базарский О.В., Косинова И.И., Фонова С.И. Математическое моделирование загрязнения приповерхностных отложений аэрозольными частицами // Инженерные изыскания. 2015. № 5–6. С. 76–79.
3. Бериня Дз.Ж., Калвиня Л.К. Распределение выпадений выбросов автотранспорта и загрязнение почв придорожной полосы // Воздействие выбросов автотранспорта на природную среду. Рига: Знатнее, 1989. С. 22–35.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа.
5. Евгеньев И.Я., Миронов А.А. Автомобильные дороги и охрана окружающей среды. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1986. 281 с.
6. Колесников, С.И. Экологические функции почв и влияние на них

загрязнения тяжелыми металлами // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1509–1514
7. Косинова И.И. Богословский В.А., Бударина В.А. Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рациональное недропользование: методические рекомендации / Воронеж: ВГУ, 2004. 81 с.
8. СГ1 2.6.1.758-99 (НРБ-99) Нормы радиационной безопасности.

Фонова С.И., Лебедев С.Е.

Воронежский государственный технический университет, кафедра строительных конструкций оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова, г. Воронеж, sveta.27@mail.ru, serg_lebedew@mai.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОЗДУХА ВЫБРОСАМИ САХАРНЫХ ЗАВОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «ЗНАМЕНСКИЙ САХАРНЫЙ ЗАВОД» В ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Без пищи человек может прожить несколько недель (если он пьет воду), без воды – несколько дней, а вот без воздуха человек не проживет и несколько минут. Воздух — важнейшая составляющая окружающего мира, столь необходимая для жизни человека. Любые вредные вещества, попадающие в воздух в результате природных процессов или в результате хозяйственной деятельности человека, даже если они и присутствуют в малых концентрациях, могут нанести большой, а часто даже непоправимый вред здоровью человека. Этим объясняется повышенное внимание к проблеме загрязнения воздуха и необходимость организации мониторинга атмосферного воздуха.

Среди перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса наиболее материалоемкой является сахарная промышленность, в которой объем сырья и вспомогательных материалов, используемых в производстве в несколько раз превышает выход готовой продукции. Она же является источником многотоннажных отходов производства, которые являются загрязняющими веществами.

Объектом обследования было действующее предприятие ОАО «Знаменский сахарный завод» (рис. 1) в р.п. Знаменка, Знаменского района, Тамбовской области.

Рис. 1. ОАО «Знаменский сахарный завод»

Для реконструкции, которая заключалась в расширении данного предприятия, необходимо было провести обследование зданий и сооружений, а

также выполнить инженерно-экологические изыскания. В результате инженерно-экологических изысканий были определены:

- существующие характеристики состояния окружающей среды в районе расположения проектируемого объекта;
- характер, объем и интенсивность предполагаемого воздействия проектируемого объекта на компоненты окружающей среды в процессе строительства и эксплуатации;
- изменения параметров окружающей среды под воздействием проектируемого объекта.

Определение характера, степени и масштаба воздействия объекта строительства на окружающую среду проводились с учетом следующих показателей:

- состояние воздушного бассейна;
- климатические характеристики;
- характеристика фонового уровня загрязнения атмосферы;
- состояние территории и геологической среды.

Исследования проводили с помощью многокомпонентного газоанализатора, методом жидкостной хроматографии. Автоматические газоанализаторы измеряют какую-либо физическую или физико-химическую характеристику газовой смеси или её отдельных компонентов. Жидкостная хроматография – один из эффективных методов разделения сложных смесей веществ, широко применяемый как в аналитической химии, так и в химической технологии.

Выбросы представляют собой отходы производства, которые на современном уровне науки и техники пока еще не могут быть использованы в народном хозяйстве либо использование их считается экономически нецелесообразным. К ним, в частности, относятся: газовые выбросы (сульфита ионный и сатурационный газы после аппаратов химической очистки сока), пылевые выбросы (пыль при работе известняково-обжигательных печей, жомовая пыль при сушке и гранулировании жома, сахарная пыль при сушке и хранении сахара), отходы (камни, щебень, песок), улавливаемые при очистке и подачи свеклы в завод, и дымовые газы при сжигании топлива в котлах.

Источники загрязнения производства в атмосферу подразделяются на организованные и не организованные.

На данном предприятии к организованным относятся выбросы от технологических процессов, их источниками являются: трубы котельной, сатураторов, сульфита торов, конденсаторов, сушки сахара, кузнечного горна, известегасильного аппарата и др.

Не организованные выбросы в атмосферу происходят от отдельных видов оборудования и механизмов: при проведении погрузочно-разгрузочных работ с известняковым камнем и твердым топливом, сортировке известнякового камня.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха на сахарных заводах являются газо-пылевые выбросы котельной. Они образуются при

сжигании топлива.

Кроме газов, выделяющихся при сжигании топлива, источниками загрязнения атмосферы являются пыль и дым, что наносит экономический ущерб народному хозяйству и отрицательно воздействует на организм человека. Поэтому действующим законодательством установлены предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе.

Все источники выделения загрязняющих веществ на предприятиях сахарной промышленности можно посмотреть в табл. 1.

Таблица 1

Источники выделения загрязняющих веществ на предприятиях сахарной промышленности

Наименование производства	**Наименование источника выделения загрязняющих веществ**	**Наименование загрязняющего вещества**
1. Производство сахара	Серосжигательные печи	Диоксид серы
	Сульфитаторы сока, сиропа, воды	Диоксид серы
	Аппараты I и II сатурации	Оксид углерода
	Установка для сушки сахара	Пыль органическая
	Места пересыпки, транспортировки и упаковки сахара	Пыль органическая
	Выпарная установка, вакуум-аппарат	Аммиак
2. Производство сухого жома	Жомосушка	Пыль органическая, продукты сгорания топлива
	Транспортер сухого жома	Пыль органическая
3. Производство извести и сатурационного газа	Погрузочно-разгрузочные работы, дробилка, грохот	Пыль известняка и угля
	Известегасильные аппараты	Аэрозоль извести
4. Производство пара	Котлы	
	Топливо: газ	Оксиды азота и углерода
	Топливо: мазут, уголь	Оксиды серы, азота, углерода, твердые частицы (сажа, зола)
5. Механическая мастерская	Металлообрабатывающие станки	Пыль металла и абразивов
	Сварочные посты	Сварочный аэрозоль, оксид марганца, фтористый водород

Наименование производства	Наименование источника выделения загрязняющих веществ	Наименование загрязняющего вещества
	Горн	Оксиды серы, азота, углерода, зола
6. Столярная мастерская	Деревообрабатывающие станки	Пыль древесная
7. Транспортный цех	Бульдозеры, экскаваторы, буртоукладочные машины, тракторы	Оксиды серы, азота, углерода, сажа, углеводороды, бензапирен

В результате нашей работы мы получили большое количество загрязняющих веществ, присутствие которых отрицательно влияет на состояние, как атмосферы, так и человека. В итоге, мы выделили несколько элементов, которые наносят наибольший вред всему окружающему. Они представлены в табл. 2.

Таблица 2

Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, полученных до проведения реконструкции завода

Загрязняющее вещество	Класс опасности	Суммарный выброс вещества	
Наименование		г/с	т/год
Кальция оксид (Негашеная известь)	3	1,4589783	16,13524
Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	3	10,7763812	161,635445
Азот (II) оксид (Азота оксид)	3	1,0945093	19,679811
Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	3	12,7401276	42,236093
Углерод оксид	4	43,5421769	701,812991
Бензол	2	0,1033640	0,012430
Бензапирен	1	0,0000015	0,000002
Всего вещества		**69,71312**	**941,476716**

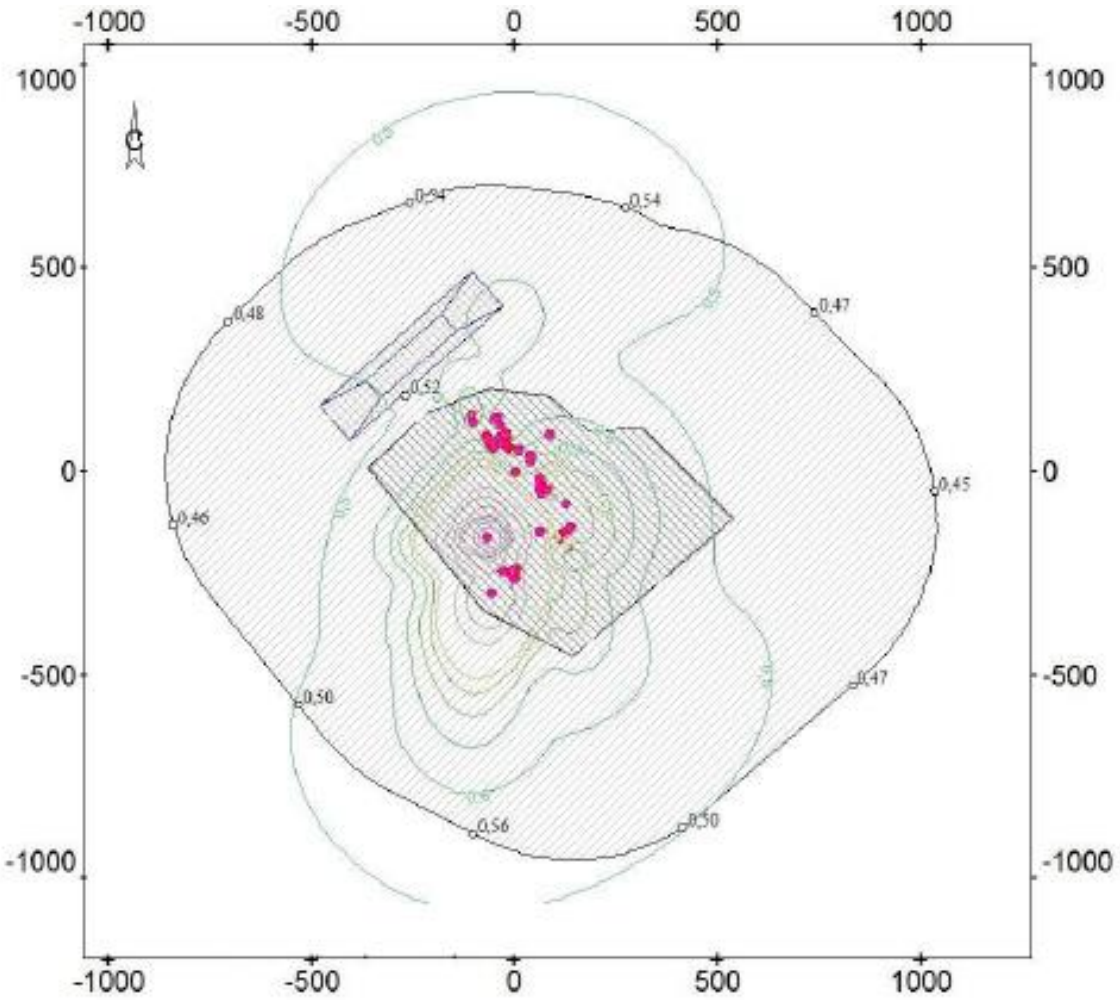


Рис. 2. Места отбора проб с территории предприятия

Наиболее масштабным и значительным является химическое загрязнение среды несвойственными ей веществами химической природы. Среди них – аэрозольные и газообразные загрязнители промышленного происхождения. Прогрессирует и накопление углекислого газа в атмосфере, ухудшается здоровье людей, находящихся как на территории предприятия, так и за его пределами.

Например, ***бензапирен*** отнесен к веществам первого класса опасности. ***Бензапирен*** внедряется в комплекс ДНК, вызывая необратимые мутации, которые переходят в последующие поколения. также может привести к риску возникновения онкологических заболеваний, и к другим негативным последствиям.

Бензол оказывает токсическое действие на все органы и системы организма. Отравление бывает острым и хроническим. При остром отравлении сильнее страдают дыхательная система, сосуды, головной мозг, надпочечники и печень, а при хроническом в основном кроветворная система.

Воздействие ***диоксида серы*** в концентрациях выше предельно допустимых может приводить к существенному увеличению различных

болезней дыхательных путей, воздействовать на слизистые оболочки, вызывать воспаление носоглотки, бронхиты, кашель, хрипоту и боль в горле. Особенно высокая чувствительность к диоксиду серы наблюдается у людей с хроническими нарушениями органов дыхания, с астмой.

Оксид и диоксид азота – это газы, образующиеся при сгорании топлива, например, в автомобилях и иных транспортных средствах, отопительных приборах и плитах. Они присутствуют также и в табачном дыме.

Попадание оксидов в организм человека может вызывать раздражение дыхательных путей и легких. Воздействие высоких уровней двуокиси азота в жилых помещениях может увеличить риск респираторных инфекций у детей.

Оксид углерода – это ядовитый газ, образующийся при неполном сгорании топлива. Источниками высоких концентраций оксида углерода могут быть неправильно установленные или неграмотно эксплуатируемые приборы, работающие на газе или топливе, нагревательные приборы.

При работе с ***оксидом кальция*** необходимо соблюдать меры безопасности (носить очки и защитные перчатки). В случае попадания химического соединения на кожу или в организм человека возможны следующие последствия: стекловидный отек глаз, краснота глаз, химический ожог, трудно заживающие раны на коже, ожог пищевода или желудка. Возможно возникновение конъюнктивита и дерматита.

Анализируя полученные результаты, было рекомендовано в период реконструкции объекта и демонтажа сооружений проводить работы, связанные с выделением загрязняющих веществ в атмосферу, согласно предлагаемым рекомендациям по снижению выбросов загрязняющих веществ на период работы в стандартном режиме и при реконструкции объекта:

1. Для снижения выбросов оксида азота и оксида углерода снизить температуру в тех зонах топки котла, где она превышает определенное значение.

2. Для достижения снижения выбросов оксида азота в технологическом процессе производства сахара, мы рекомендуем проводить очистные мероприятия.

3. Проводить усовершенствование технологических процессов на предприятии в связи с научно-техническим прогрессом.

4. Предлагаем границу промплощадки для зрительной изоляции оградить липами, разнообразить ассортимент газоустойчивых деревьев и кустарников для озеленения промышленной территории: тополь канадский, шелковица белая, черемуха обыкновенная, тополь белый пирамидальный, черешня обыкновенная, ива плакучая, осина, виноград пятилистный, жимолость татарская, шиповник.

5. Применение для технологических нужд строительства электроэнергии взамен твердого или жидкого топлива при приготовлении органических вяжущих, изоляционных материалов, а также при разогреве материалов, подогреве воды.

6. Организацию работы машин и механизмов производить таким образом, чтобы обеспечить равномерное поступление на объект труб и материалов и не допускать скоплений автотранспорта.

7. Мойку оборудования, машин, транспортных средств в пределах площадки строительства запретить.

8. Соблюдать технологию строительства, обеспечивающую нужное качество выполняемых работ, исключающее переделки.

9. Завершить строительство доброкачественной уборкой и благоустройством территории.

10. Исходя из категории выбросов, установить периодичность контроля:

I категория – 1 раз в квартал, при каждом режиме выброса источника;

II категория – 2 раза в год, при каждом режиме выброса из источника, учтенном при разработке нормативов ВДВ (ВСВ);

Ш категория – 1 раз в год;

IV категория – 1 раз в 5 лет.

Анализируя весь полученный материал, можно сделать заключение, что планируемая хозяйственная деятельность проектируемого объекта, при соблюдении санитарно-гигиенических и экологических требований, установленных Российским законодательством, а также при наличии вышеперечисленных природоохранных мер, не приведет к ухудшению экологической ситуации в районе строительства и на сопредельных территориях, следовательно, его строительство в данном районе возможно, при ежегодном мониторинге окружающей среды.

Список литературы

1. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 200 с.
2. ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации ЗВ в атмосферном воздухе населенных мест.
3. Косинова И.И., Фонова С.И. Закономерности пространственного распределения загрязняющих веществ в городских условиях // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2015. № 2. С. 122–124.
4. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников промышленности, строительных материалов. Новороссийск, 2001 г.
5. ОНД-86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.
6. О нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него: Постановление Правительства РФ от 2 марта 2000 г. № 183 (с изм. от 22 апр. 2009 г.) // Собр. законодательства РФ. 2000. № 11. Ст. 1180.

Цымбал М.Н.[1,3,4], Трофимов В.Т.[2]

[1]ООО «ИГИИС», г. Москва
[2]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, г. Москва
[3]МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, факультет геоэкологии и географии, кафедра защиты окружающей среды и безопасности жизнедеятельности, г. Москва
[4]МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, г. Москва, cimbal_mar@mail.ru

Научно методическое обеспечение инженерных изысканий должно реализовываться в соответствие с современными достижениями науки и практики.

Сущность концепции научно-методического обеспечения инженерных изысканий

Сущность концепции научно-методического обеспечения инженерных изысканий видится как целая система методов, навыков и технических средств, определенных на основе достижений науки и практики и направленных на разработку основных положений и требований, регламентирующих правила выполнения инженерных изысканий.

Реализация концепции научно-методического обеспечения инженерных изысканий осуществляется, прежде всего, на основании нормативно-правовой базы.

Нормативно-правовая база инженерно-экологических изысканий сегодня – это совокупность законов, постановлений, распоряжений, нормативных технических и других документов, регулирующих деятельность в сфере инженерно-строительной отрасли, природопользования, охраны окружающей среды, а также специальных документах внутриведомственного уровня.

Изыскатель может качественно выполнить свои функции при наличии в его распоряжении, прежде всего, целого арсенала не противоречащих друг другу нормативных документов, регламентирующих правила производства работ в составе инженерно-экологических изысканий и составляющих основу научно-методического обеспечения изысканий.

Анализ текущего состояние научно-методического обеспечения изысканий

Как показывает анализ, текущее состояние научно-методического обеспечения изысканий свидетельствует о наличии определенных взаимосвязанных и взаимозависимых проблемных вопросов, по основным позициям характеризующихся:

– отсутствием системности (а по отдельным блокам нормативной документации и иерархичности) представления научно-методического

обеспечения изысканий. Данное обстоятельство не позволяет в полной мере оценить необходимость научного обоснования ряда аспектов в интересах удовлетворения практики проведения изысканий;

– наличием одновременно действующих нормативных документов во многом дублирующих, а по некоторым позициям и противоречащих друг другу;

– наличием нормативных технических документов (или определенных позиций в этих документах) потерявших свою актуальность;

– дублированием методик исследования компонентов окружающей среды, привносящих элемент погрешности и небезошибочности в процесс обоснования результатов инженерных изысканий.

К другому уровню задач можно отнести целый пласт исследований, связанных с экологической оценкой природных и природно-антропогенных условий, для разрешения которых требуется системный подход и научное обоснование. К ним можно отнести:

– формирование и разработку понятийного аппарата инженерно-экологических изысканий;

– совершенствование методологии прогнозирования и анализа основных сценариев развития экологически значимых природных и природно-антропогенных процессов;

– разработку стратегии экологически ориентированного опробования компонентов окружающей среды;

– установление перечня приоритетных показателей качества компонентов окружающей среды (атмосферного воздуха, природных вод, донных отложений, почв) с учетом региональных особенностей природных, природно-антропогенных условий и техногенных факторов (например, специфики потенциальных источников загрязнения);

– установление благоприятных сроков проведения полевых работ в составе инженерно-экологических изысканий;

– установление критериев оценки качества подземных вод и донных отложений для конкретных задач;

– интерпретацию результатов агрохимического исследования почв *неосвоенных* территорий в части их пригодности для целей рекультивации.

Наличие вышеизложенных задач в рамках научно-методического обеспечения изысканий существенно затрудняют выполнение инженерно-экологических изысканий, интерпретацию и сопоставление результатов инженерно-экологических изысканий.

Анализ некоторых нормативных технических документов

Кроме того, ситуация усугубляется выходом в свет документов, которые по своей сути должны были «раскрыть» инженерно-экологические изыскания применительно к своим целям и задачам, на самом деле вступают в диссонанс с

существующими нормативными документами и по некоторым позициям слабо учитывают сложившуюся практику проведения изысканий.

Пример тому увидевший недавно свет ГОСТ 32847-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению экологических изысканий». На наш взгляд ГОСТ 32847-2014, хотя логически выстроен, написан хорошо воспринимаемым «техническим языком», не содержит *четкого указания* на проведение инженерно-экологических изысканий с целью обеспечения процессов проектирования автомобильных дорог.

В этой связи можно выделить несколько основных позиций:

– требования некоторых пунктов ГОСТа либо противоречат, либо не гармонизированы с требованиями действующих сводов правил СП 47.13330.2012 и СП 11-102-97 и других нормативных технических документов. Например, в составе работ отсутствуют газогеохимические исследования грунтов (в сводах правил всех уровней данный вид работ является обязательным);

– в стандарте не представлена методология определения значимости экологических аспектов при проведении инженерно-экологических изысканий, обеспечивающих процесс проектирования автомобильных дорог с учетом природных условий (например, отсутствуют требования к снятию (или не снятию) плодородного слоя в основании земляного полотна, что особенно актуально, когда речь заходит об обустройстве автодорог в криолитозоне);

– предлагаемые в ГОСТе нормы в составе работ по инженерно-экологическим изысканиям не затрагивают *детализацию* работ по сравнению с существующими нормами (исключение составляет лишь представленный перечень показателей отбора проб компонентов абиотической среды, хотя и он является далеко неполным).

Второй пример – это проект СП «Инженерные изыскания при планировке территорий. Общие требования» который был разработан в соответствии с планом Министерства строительства и ЖКХ РФ, утверждённым приказом Минстроя РФ от 14.12.2016 № 940.

Нужно понимать, что появление нового свода правил – это, прежде всего явление, которое целесообразно, по меньшей мере, в следующих случаях:

– если в предлагаемом к утверждению СП достигнут новый уровень формулировок, позволяющий внести ясность в вопросы, связанные с проведением исследований в составе изысканий;

– если предложенная методология проведения изысканий более адаптирована к практическим целям и задачам изысканий для разных видов градостроительной деятельности;

– если уточняются или детализируются виды работ в составе инженерных изысканий по сравнению с существующими нормами.

В части инженерно-экологических изысканий ни одна из этих задач не решается в предлагаемом варианте СП «Инженерные изыскания при

планировке территорий. Общие требования», что ставит под сомнение саму его целесообразность (в данной редакции).

Изменение методологии в СП 47.13330.2016

В разное время представителями академической науки, научно-исследовательскими и изыскательскими организациями вносились предложения по изменению методологии инженерно-экологических изысканий (ИЭИ), как в части общих, так и частных задач.

Многие из предложенных позиций были реализованы в своде правил по инженерным изысканиям федерального уровня. Утвердившийся в системе научно-методического обеспечения СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», внес следующие принципиальные изменения в методологию инженерно-экологических изысканий:

– впервые все виды исследования в составе изысканий были обособлены на две группы, что позволило изыскателям сбросить, как балласт не свойственные им задачи и функции;

– в задачах инженерно-экологических изысканий появился аспект, переориентирующий изыскания на сохранение среды обитаний не только человека, но и животного и растительного мира;

– в состав основных работ были включены экологически значимые виды исследований: изучение опасных природных и природно-антропогенных процессов, эколого-ландшафтные исследования;

– расширился перечень компонентов абиотической среды являющихся объектом исследования в рамках экологических изысканий;

– обозначились сроки действия исследований инженерно-экологических условий прошлых лет и этапность изысканий для целей разработки проектной документации и еще ряд позиций.

Вывод: или какие изменения должны произойти в структуре нормативно-правового обеспечения ИЭИ в ближайшем будущем. В настоящее время инженерно-экологические изыскания существуют в противоречивом и нестабильном правовом поле. Ситуация усугубляется недостаточно-разработанными методами исследования по отдельным компонентам окружающей среды.

С целью нормативно-правового обеспечения инженерно-экологических изысканий в ООО «ИГИИС» разрабатывается одноименный свод правил. В новом своде правил по инженерно-экологическим изысканиям должны быть установлены положения и правилам производства работ при инженерных изысканиях, базирующиеся на основных положениях СП 47.13330.2016, а также учитывающие накопленный опыт в практике проведения изысканий и максимально реализующие достижения науки применительно к сегодняшним задачам инженерно-экологических изысканий.

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

Алабян А.М.

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, г. Москва,
andrei_alabyan@mail.ru

О ФЕНОМЕНЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТАХ, ГИДРОДИНАМИКЕ И ГИДРАВЛИКЕ

Само словосочетание «отрицательное сопротивление» с лингвистической точки зрения является нонсенсом, равно как и аналогичные выражения типа «отрицательное трение» или «отрицательная вязкость». В то же время в практике инженерных расчетов на основе устоявшихся теоретических представлений о физике процесса с использованием традиционных уравнений и формул могут возникать ситуации, когда некоторые коэффициенты и параметры принимают значения, которые могут показаться «нефизичными».
Так, еще во времена Советского Союза в ряде нормативных документов [7, 8] рассматривались «отрицательные (негативные) силы трения, возникающие на боковой поверхности свай при осадке околосвайного грунта и направленные вертикально вниз».

В 2015 г. исследователи из Парижского университета (Paris-Sud) поставили любопытный эксперимент, в результате которого показали [12], что большие концентрации жгутиковых бактерий и химическое стимулирование их подвижности может снижать вязкость воды до нуля и даже делать ее отрицательной. То есть при достижении некоторой критической концентрации бактерий жидкость переставала оказывать вязкое сопротивление, и в дальнейшем ней возникало упорядоченное движение. Этот феномен авторы объясняют способностью бактерий упорядоченно выстраиваться под действием напряжений сдвига и за счет собственного движения компенсировать вязкое сопротивление. Здесь следует отметить, что изучалось ламинарное движение и речь идет исключительно о молекулярной вязкости, и данный эффект может найти применение лишь при течении жидкостей через очень тонкие каналы.

В гидродинамических и гидравлических расчетах турбулентных водных потоков сопротивление движению (или «жидкое трение») принято характеризовать через «гидравлическое сопротивление», определяемое турбулентной (вихревой) вязкостью [10]. По мнению Л.И. Высоцкого [4] «Существование отрицательной вихревой вязкости до сих пор стоит под вопросом, однако на протяжении почти столетия расчеты в проектной практике во всем мире ведутся с его учетом». В результате анализа многочисленных экспериментов в области газо- и гидродинамики, он приходит к выводу, что «Появившиеся в последнее время результаты высокоточных измерений

распределения осредненных скоростей в трубах и погранслое на плоской пластине напрямую свидетельствуют в пользу существования слоя с отрицательной вязкостью, что является прямым подтверждением этого факта».
В отличие от коэффициента молекулярной вязкости (который всегда положителен), коэффициент турбулентной вязкости является в некотором роде абстрактной величиной, характеризующей не столько физические свойства самой жидкости, сколько режим ее движения. Положительные значения турбулентной вязкости соответствуют процессу диссипации кинетической энергии среднего течения, при этом энергия осредненного течения переходит в нерегулярные турбулентные движения, от крупных вихрей к мелким, а от них в энергию молекулярных движений, и в конечном итоге преобразуется в тепло («каскад Колмогорова») [6, 9, 10].

Теоретическая возможность существования отрицательной турбулентной вязкости, связанной с обратным переходом энергии от пульсаций течения к осредненному движению отмечалась еще в 1-й половине прошлого века Ф. Форхгеймером [11]: «Осредненное течение может превращаться не только в тепло, и в вихри; пожалуй, и наоборот, благодаря уменьшению вихрей может появиться ускорение осредненного движения; однако относительно этого опытных данных нет». Возможность передачи энергии от пульсационного движения к осредненному в последствии рассматривалась в классических работах [6, 9, 10]. К концу XX в. - началу XXI в. существование отрицательной турбулентной вязкости считалось экспериментально подтвержденным фактом, однако его регистрация выполнялась либо в микромасштабе, например, в результате высокоточных измерений в погранслое [4], либо в весьма экзотических средах типа атмосферы Солнца, Юпитера или Сатурна [9, 13].

В приливных устьях возможность проявления отрицательной турбулентной вязкости было предсказано еще в 1971 г. В. Старром [9]: «… при некоторых условиях приливные течения … могут изменить направление градиента среднего течения на обратное, тогда как перенос импульса происходит по-прежнему вниз, создавая таким образом эффект отрицательной вязкости». В 1984 г. группа исследователей из Института водных проблем АН СССР опубликовала результаты гидрометрических измерений в приливном устье р. Онеги при ледоставе [5], анализ которых показал, что некоторые изменения формы эпюры вертикального распределения скорости потока в течение приливного цикла могут быть объяснены только в случае допущения отрицательных значений коэффициента турбулентной вязкости.

При «традиционной» схеме диссипации энергии по каскаду Колмогорова гидравлическое сопротивление должно быть положительным, однако если в речном потоке существенная часть энергии турбулентных пульсаций не переходит в тепло, а возвращается осредненному течению (происходит «контрдиссипация»), то гидравлическое сопротивление может принимать и отрицательные значения. В этом случае происходит подпитка осредненного

движения энергией пульсаций, в результате чего средняя скорость речного потока увеличивается.

Анализ результатов гидрометрических измерений, выполненные в 2016–2017 гг. в приливных устьях малых рек бассейна Белого моря [1, 2], позволяет продемонстрировать, что в некоторые фазы приливного цикла наблюдаются отрицательные значения гидравлического сопротивления при его расчете по уравнению неустановившегося движения в рамках одномерной схематизации реверсивного речного потока [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-01018) и РНФ (проект № 14-17-00155) и технической поддержке ООО «Гидроэкология-КГС» (г. Москва).

Список литературы

1. Алабян А.М., Панченко Е.Д. Гидравлическое сопротивление в приливных устьях и феномен «отрицательного трения» в речной гидравлике // Инженерные изыскания. 2017. № 3. С. 18–26.
2. Высоцкий Л.И. Существуют ли зоны с отрицательной вихревой вязкостью в продольно-однородных турбулентных потоках? // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 2. С. 48–53.
3. Дебольский В.К., Зырянов В.Н., Мордасов М.А. О турбулентном обмене в приливном устье при наличии ледяного покрова // Динамика и термика рек и водохранилищ. М.: Наука, 1984. С. 279–290.
4. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Ч.1. // М.: Наука, 1965. 640 с.
5. Опыт и проблемы гидрологических изысканий в приливных устьях / А.М. Алабян, А.А. Алексеева, И.Н. Крыленко, Е.Д. Панченко, А.А. Попрядухин, Е.А. Фингерт, Н.А. Демиденко, С.В. Лебедева // Перспективы инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы XII Общероссийской конференции изыскательских организаций. М.: Геомаркетинг, 2016. С. 260–263.
6. Полевые гидрологические исследования устьев рек Онежского залива в зимнюю и летнюю межень 2016–2017 гг. / А.М. Алабян, А.А. Алексеева, Н.А. Демиденко, А.С. Кашицына, С.В. Лебедева, М. Льюменс, А.М. Мелин, Л.С. Одоев, Е.Д. Панченко, Е.С. Повалишникова, А.А. Попрядухин, П.Н. Терский // Геология морей и океанов: материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ИО РАН, 2017. С. 146–150.
7. Рекомендации по учету сил отрицательного трения при проектировании свайных фундаментов // М.: Производственные экспериментальные мастерские ЦИНИС Госстроя СССР, 1972. 31 с.

8. СНиП ПБ.5-67 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования» в части учета сил отрицательного трения на боковой поверхности свай».
9. Старр В. Физика явлений с отрицательной вязкостью. М.: Мир, 1971. 261 с.
10. Фидман Б.А. Турбулентность водных потоков // Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 240 с.
11. Форхгеймер Ф. Гидравлика. М.-Л.: ОНТИ, 1935. 616 с.
12. Lorenz E.N. Interaction between a mean flow and random disturbances // Tellus. 1953. Vol. 5. № 3. P. 238–250.
13. Turning bacteria suspensions into superfluids / H.M. Lopez, J. Gachelin, C. Douarche, H. Auradou, E. Clement // Physical Review Letters. 2015. Vol. 15 (2), 028301. doi: https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.115.028301.

Демиденко Н.А.[1], Повалишникова Е.С.[2], Попрядухин А.А.[2], Льюменс Макс[3]

[1]ФГБУ «ГОИН им. Н.Н. Зубова», г. Москва, demidenko_nikola@mail.ru
[2]МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, г. Москва, almond_a@mail.ru
[3]Университет Твенте, г. Энсхеде, Нидерланды

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕНОСТИ И ТРАНСПОРТА НАНОСОВ В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ РЕЧНЫХ И МОРСКИХ ВОД В УСТЬЯХ РЕК ОНЕГИ И МЕЗЕНИ

Введение

В устьевой области реки располагаются зоны транзита пресных речных и смешения речных и морских вод. Процессы внутри зоны смешения и изменение ее речной границы связаны с динамическим взаимодействием морских и речных вод, которое в условиях приливных устьев рек находится под влиянием трех основных факторов: приливных колебаний уровня моря, стока речных вод из бассейна реки и разности плотностей речных и морских вод. Соленая вода в приливные устья рек севера Европейской территории России проникает при регулярном действии приливных волн и штормовых нагонов. В качестве главной характеристики проникновения соленой воды взята величина дальности ее проникновения, определяемая расстоянием от постоянного начала (устьевого створа) до границы проникновения соленой воды.

Эрозионно-аккумулятивные процессы в прибрежной зоне и эстуарии Мезени обусловлены приливно-отливными течениями, речными расходами воды и стоком наносов, ветровым волнением и вдольбереговым потоком наносов за счет абразии морских берегов.

Методы исследований

Для исследования гидрологического режима устьевых областей рек Мезени и Онеги использовались как стандартные приборы, принятые для наблюдений в Росгидромете, так и современные измерительные комплексы. Для регистрации приливных колебаний уровня использовались самописцы уровня моря ГМ-28 (мареографы береговые) и в последующие годы использовались автономные записывающие устройства – логгеры двух типов: Levelogger Solinst модель 3001 LT F15/M5, Levelogger Edge модель 3001, записывающие показания уровня и температуры воды при длительном мониторинге поверхностных вод и датчики модели DST-senti-TD для измерения уровня, температуры и солености воды. Высотная и плановая привязка мгновенных уровней над средним уровнем моря и места отбора проб воды проводилась с помощью приемника DGPS Trimble 5700, являющегося

базовой станцией на репере, принадлежавшем ГМС Онега и водпосту Семжа, и переносных приемников JavadTriumph-VS и JavadTriumph-1.

Измерение скоростей течения и приливных расходов воды в эстуариях Мезени и Онега производились с помощью измерителей скорости течения ИСП-1 в зоне пресных речных вод, акустических доплеровских измерителей расхода воды ADCP 1200 Rio Grande и измерителя ADCP серия RiverRay в эстуарии и устьевом взморье. Для измерения температуры и солености воды на суточных станциях и при производстве продольных разрезов вдоль эстуария и на устьевом взморье Мезени и Онеги применялся многопараметровый зонд YSI серии 6600.

Результаты. Изменчивость солености вод устьевого взморья и проникновение соленых вод в устьевой участок р. Онеги

Река Онега берет начало из озера Лача и впадает в Онежский залив Белого моря. По Кокоринским порогам в районе д. Порог, где река пересекает моренную гряду, проходит верхняя граница устьевой области Онеги. Устьевая область р. Онеги относится к типу приливного устья с однорукавным устьевым участком и открытым отмелым устьевым взморьем. Устьевой участок реки длиной около 26 км имеет приливное расширение русла на выходе в Онежский залив и по своим геоморфологическим признакам приближается к типичному эстуарию.

Соленость воды в устьевой области р. Онеги формируется в результате воздействия суммы гидрологических факторов, основными из которых являются: 1) сток р. Онеги; 2) приливные движения вод в Онежском заливе; 3) характеристики солености вод Онежского залива; 4) ветер и ветровое волнение на акватории Онежского залива; 5) тепловой баланс вод устьевой области; 6) ледостав в реке и береговой припай на устьевом взморье. Обладая временной изменчивостью, эти факторы обуславливают временную и пространственную изменчивость солености вод устьевого взморья [4].

Зона смешения вод на спаде весеннего половодья охватывает практически всю акваторию вершины Онежского залива южнее о. Кондостров. В большинстве случаев истекающие из Карельского и Двинского фарватеров струи речных вод направлены в Онежский залив вдоль Онежского или Поморского берегов. В районе о. Кондостров они рассеиваются, и смесь вод вовлекается в направленный вдоль восточного берега компенсационный поток [5].

Зона смешения устьевого взморья расположена мористее устьевого створа мыс Пильский – мыс Пихнемский. Воды с соленостью 26‰, характерные для акватории Онежского залива, не выходят по оси стокового потока к устью реки Онеги ближе Приемного буя. Зона смешения включает в себя зону повышенных градиентов солености (фронтальную зону) от 5 до 20‰. Горизонтальные градиенты во фронтальной зоне изменяются от 5‰/км до

1‰/км в направлении стокового течения. Вертикальные градиенты изменяются от 0,1‰ до 1,4‰ на 1 м глубины. Средняя протяженность зоны смешения около 6–10 км. Средняя величина перемещения границы зоны смешения за фазу прилива составляет около 6 км. Максимальная дальность проникновения соленых вод в устье Онеги в летнюю межень около 10 км [4].

Характеристику проникновения соленой воды в устье р. Онеги можно дать по экспедиционным наблюдениям, выполненным в летний период в 1978, 1985 и 2011 гг., и в зимний период 2017 г. (рис. 1). Во время гидрологической съемки от г. Онега до о. Шоглы 10 августа 2017 г. при паводочном расходе воды на г/с. Порог около 1250 м^3/с на устьевом створе в полную воду в придонном слое была зафиксирована соленость воды около 8‰. При этом на входе в судоходный канал (15 км от УС) она равнялась 18–20‰. В зимний период 30 января 2017 г. на устьевом створе в полную воду в придонном слое солености воды составила около 2,5‰. При устойчивом нагоне, величиной 0,5 м, соленость на устьевом створе достигала 6,2‰.

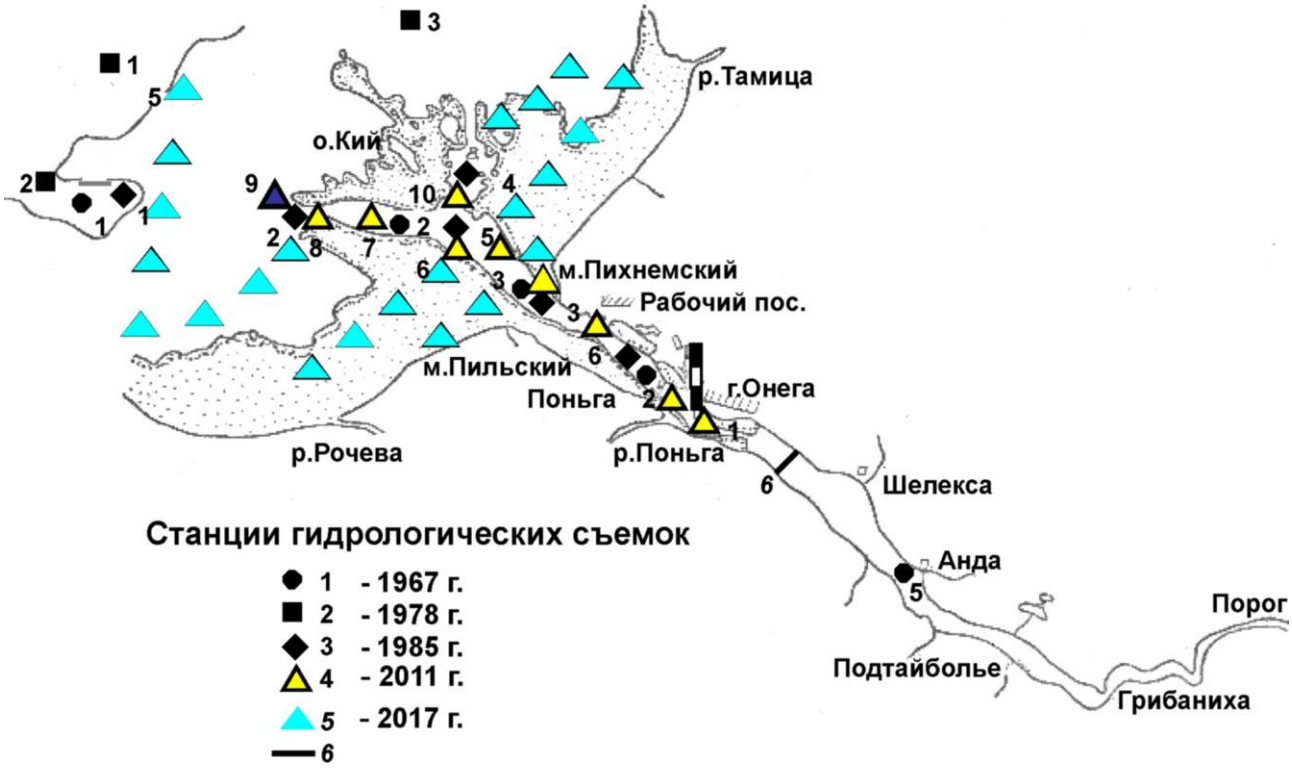


Рис. 1. Съемки зоны смешения пресных и соленых вод и проникновения соленых вод в эстуарий Онеги. 1–5 – местоположение гидрологических станций в различные годы; 6 – граница проникновения соленых вод в устье реки

Исследования, выполненные в период летней межени, показывают, что при расходах менее 500 м^3/с при приливе соленая вода регулярно проникает в устье реки на расстояние 5–7 км от устьевого створа. В полную воду величина солености в устьевом створе может достигать 14–15‰. На отливе, как правило, соленая вода полностью вытесняется из русла реки в баровый канал [2].

Проникновение соленых вод происходит путем вторжения фронтальной зоны в пределы устьевого участка под влиянием нагона и прилива. Сгон, как правило, оттесняет фронтальную зону от устья реки и предотвращает проникновение соленой воды. Максимальная зарегистрированная величина солености воды в районе г. Онега при вторжениях фронтальных зон – 6,5‰.

Проникновение соленой воды в устье р. Онеги не наносит ущерба ни водоснабжению, ни рыбному хозяйству. Водоснабжение промышленных предприятий и населения в устье р. Онеги ведется из пресноводных озер (Хенозеро) и малых рек, куда соленая вода не проникает. Осолоненный участок р. Онеги мал по своим размерам, поэтому это явление не оказывает заметного влияния на гидробиоценоз реки.

Результаты. Изменчивость мутности воды и транспорта наносов в Мезенском заливе и эстуарии Мезени

В приливных морях и эстуариях главной причиной изменения потока наносов является абразия морских берегов. В Мезенском заливе ее темпы могут достигать 10 м/год. По данным [1], на участке устье р. Семжа–м. Рябинов за 5 лет берег эстуария Мезени отступил на 15 м. В среднем скорость отступания высокого и обрывистого берега около 1,5 м/год. Интенсивная абразии восточного берега эстуария Мезени вблизи устья р. Семжа привела к разрушению жилой застройки.

Количество обломочного материала, поступающего в водную толщу от абразии берегов Мезенского залива, достигает 30 млн т/год [1, 6]. По сравнению с этим объемом сток речных наносов, равный 0,7–0,9 млн т/год, оказывается пренебрежимо малым. Наносы, перемещаемые вдольбереговыми течениями ветрового происхождения, составляют около 30% объема абразии. Схема, предложенная по результатам исследований [6] В.С. Медведевым (рис. 2), позволяет определить пути и области аккумуляции песчаного материала и направление результирующего переноса илистых наносов из эстуария Мезени в сторону Белого моря.

Сильные приливно-отливные течения обусловливают высокую динамичность рельефа дна эстуария. Основной приливно-отливный канал на участке р. Семжа–р. Пыя сместился от восточного края эстуария Мезени (1893 г.) к его центральной части (1927 г.), а затем, начиная с 1960 г., к западному берегу эстуария [3]. До 1930-х годов на месте современных осушек существовал судоходный фарватер, ориентированный в сторону устья р. Семжа. В настоящее время для судоходства используется только западный фарватер эстуария Мезени. В целом для эстуария характерна тенденция к его заполнению наносами и обмелению. Со времени первого инструментального обследования залива в 1914–1915 гг. глубины в районе устьевого створа эстуария Мезени уменьшились на 2–3 м. Эти же тенденции характерны и для вершины эстуария в районе г. Мезень.

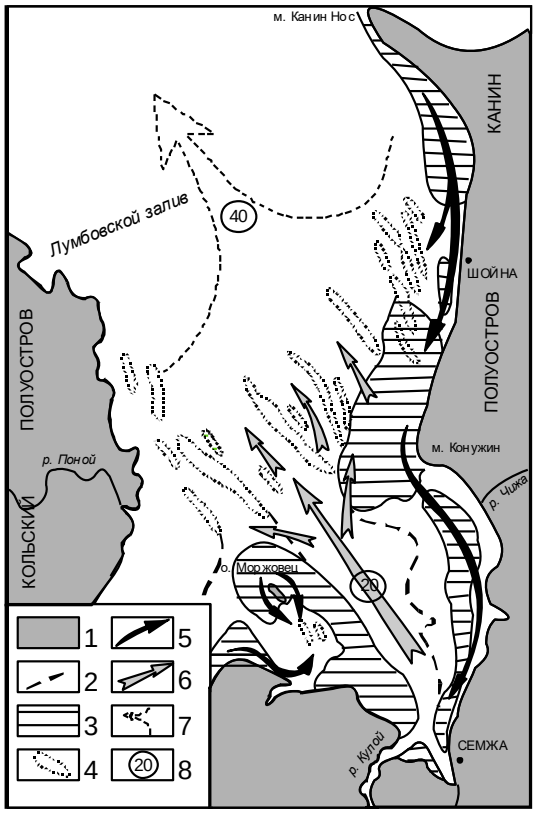


Рис. 2. Схема динамики наносов в Мезенском заливе и эстуариях Мезени и Кулоя [6].
1 – суша, 2 – предполагаемая граница срезанной в голоцене суши, выраженная в рельефе дна в виде уступа, 3 – участки дна, почти лишенные современных и древних осадков, 4 – подводные песчаные гряды, 5 – пути вдольберегового перемещения песка, 6 – пути выноса песка из Мезенского залива, 7 – направление выноса взвешенного материала, 8 – количество ежегодно выносимого материала в млн тонн

Характерной особенностью динамики взвешенных наносов в зоне смешения речных и морских вод является формирование зоны максимальных значений мутности или «литоклина». В эстуарии Мезени миграция зоны максимума мутности за приливный цикл составляет 20–25 км. Течения перемещают наносы различной крупности и создают зону высокой мутности в эстуарии – «пробку мути» с максимальной концентрацией взмученных в прилив наносов до 10–13 кг/м^3, ядро которой располагается в 15–20 км от устьевого створа. Так, например, у д. Пыя величина мутности в придонном горизонте колеблется от 0,5 до 8,5 кг/м^3 (средняя – 3,5 кг/м^3), а у д. Семжа от 0,35 до 13 кг/м^3 [3, 4]. В период наблюдения на суточной станции в августе 2015 г. на фарватере эстуария Мезени по траверзу д. Семжа (в 6,5 км от УС) при квадратурных приливах мутность воды в поверхностном горизонте изменялась от 128 г/м^3 в ПВ до 1,3 кг/м^3 в МВ. В придонном горизонте мутность воды изменялась в значительном диапазоне от 150 г/м^3 в ПВ до 56 кг/м^3 в МВ при подходе «пробки мутности». Такие максимальные значения мутности в пределах 40–56 кг/м^3 наблюдались продолжительностью 2 часа приливного цикла при фазе отлива, малой воде, смене течений и начальной

фазе прилива. Максимальная концентрация взвешенного вещества в воде в придонном горизонте была 56,32 кг/м^3 и наблюдалась в начальной фазе прилива (МВ+1 ч) при обратных скоростях течения 0,3 м/с.

На регулярные полусуточные и двухнедельные приливные изменения мутности накладываются сезонные и годовые изменения концентрации взвешенных наносов. Эти изменения обусловлены климатическими и гидрологическими факторами, поскольку они определяют вынос в залив продуктов эрозии из речных бассейнов.

Заключение

Основными факторами, определяющими характер процессов смешения вод, являются водность реки и приливные явления. Разным фазам водного режима соответствуют определенный тип смешения речных и морских вод и соответствующая структура зоны смешения. В фазу весеннего половодья смешение вод характеризуется как умеренное, зона смешения растянута и охватывает всю вершину Онежского залива. В другое время года при уменьшении расходов речных вод и усилении влияния приливных явлений взаимодействие пресных и соленых вод можно характеризовать как интенсивное приливное перемешивание. При этом зона смешения не так обширна, как во время половодья, и располагается в пределах устьевого взморья р. Онеги.

Высокая мутность воды и транспорт наносов во всем Мезенском заливе и эстуариях Мезени и Кулоя активно влияют на переформирование донных форм рельефа и морфологии всей устьевой области и береговой зоны залива. Северо-восточная часть Белого моря, где расположен Мезенский залив и эстуарии Мезени и Кулоя, по геологическому строению и гидродинамическим условиям исключительно благоприятна для развития абразионных процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-01018) и РНФ (проект № 14-37-00038) и технической поддержке ООО «Гидроэкология-КГС» (г. Москва).

Список литературы

1. Гидрофизические и морфолитодинамические процессы в эстуарии р. Онега / Н.А. Римский-Корсаков, В.Н. Коротаев, В.В. Иванов, А.А. Пронин, Н.А. Демиденко // Океанология. 2013. Т. 53. № 5. С. 1–9.
2. Демиденко Н.А. Исследование закономерностей распределения наносов в приливных устьях рек (на примере Онеги) / Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. Т. 9. Устья рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. С. 58–65.

3. Демиденко Н.А. Гидрологический режим Мезенского залива и эстуариев Мезени и Кулоя: монография «Система Белого моря». Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. Гл. 5.4. М.: Научный мир, 2012. С. 411–432.
1. Исследование гидролого-морфологических процессов в устьевой области реки Мезень для целей проектирования Мезенской приливной электростанции / Н.А. Демиденко, И.В. Землянов, О.В. Горелиц, В.Н. Михайлов // Труды ГОИН. 2008. Вып. 211. С. 273–288.
4. Кураева Л.Н., Лупачев Ю.В. Особенности циркуляции и перемешивания вод в устьевой области Онеги // Труды ГОИН. 1986. Вып. 179. С. 11–17.
5. Медведев В.С. Вопросы динамики прибрежной зоны Мезенского залива Белого моря в связи с проектированием приливных электростанций. В кн.: Геоморфология и литология береговой зоны, М.: Наука, 1971. С. 23–29.
6. Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калиненко В.В. Белое море (Седиментогенез и история развития в голоцене). М.: Наука, 1977. 236 с.

Крыленко И.Н.[1,2], Головлев П.П.[1], Корнилова Е. Д.[1], Сазонов А.А.[1,2], Фингерт Е.А.[1,2]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, г. Москва
[2]Институт водных проблем РАН, г. Москва, krylenko_i@mail.ru

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ЗАТОПЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Одним из источников детальной информации о характеристиках водного потока на участках рек являются результаты гидродинамического моделирования. В качестве базового программного комплекса для моделирования движения потоков использовался программный комплекс STREAM_2D (авт. В.В. Беликов и др.) [1], широко применяемый в России и показавший высокую эффективность при решении различных задач, связанных с исследованием динамики водных потоков [2]. В основу программного комплекса положено численное решение двумерных уравнений Сен-Венана в приближении мелкой воды на основе гибридных нерегулярных четырехугольно-треугольных расчетных сеток. В качестве исходных данных для моделирования используется цифровая модель рельефа пониженной части долины реки, в качестве граничных условий задаются расходы и уровни воды. Получаемые на основе моделирования характеристики водного потока - уровни воды, скорости течения, глубины и площади затопления, удельная энергия потока, продолжительность стояния воды, являются базовыми для оценки опасности наводнений и потенциальных ущербов от них.

Основными причинами, обуславливающими изменение указанных характеристик потока, являются изменение подстилающей поверхности пойм в результате хозяйственного освоения и климатически обусловленное изменение максимальных расходов воды. Покажем возможный диапазон изменений характеристик потока под влиянием данных факторов на основе сценарного моделирования для ключевых участков рек Лены (г. Якутск), Малой Северной Двины (г. Великий Устюг), Оки (г. Рязань) и Томи (г. Томск).

Оценка возможных изменений опасности затопления при возможных изменениях максимальных расходов воды на ключевых участках р. Лены и р. Северной Двины (табл. 1) показала, что в случае увеличения расходов воды на 10%, все характеристики потока, определяющие опасность затопления, закономерно увеличиваются. При этом средняя по исследуемой области скорость течения и площадь затопления увеличиваются незначительно (на 1–3% и 2% соответственно), это связано с тем, что максимальные расходы воды проходят здесь при полностью затопленной пойме. Нарастание средней глубины затопления более существенно и составляет 5–8%. Результирующий вклад изменений скорости и глубины затопления приводит к увеличению удельной энергии потока, определяющей интенсивность наводнения, на 7% на р. Лене у г. Якутск и на 16% на ключевом участке у г. Великий Устюг.

Рельеф пойм р. Томи у г. Томск частично преобразован за счет дорожных насыпей и картина изменения характеристик затопления на этом участке более сложная: при превышении расхода воды 1% обеспеченности возможен перелив через дорожные насыпи, в современных условиях отгораживающие от затопления значительный сегмент левобережной поймы. При увеличении максимальных расходов воды р. Томи на 10% происходит заливание данного участка, и значительно, более чем на 15%, увеличиваются площади затопления, средняя удельная энергия потока при этом даже несколько снижается (табл.).

Таблица

Результаты оценки возможных изменений характеристик затопления на ключевых участках при увеличении максимальных расходов воды на основе сценарных расчетов с использованием двумерной гидродинамической модели

Характеристика		**р. М. С. Двина (г. Великий Устюг)**	**р. Лена (г. Якутск)**	**р. Томь (г. Томск)**
Максимальный расход воды, $м^3/с$	Q	11 500	55 000	13 300
	Q_1	12 650	60 000	14 650
Относительное изменение, %	$(Q_1-Q)*100/Q$	**10**	**9**	**10**
Средняя глубина, м	$H_{ср}$	3,87	6,07	4,04
	$H_{ср1}$	4,22	6,40	3,80
Относительное изменение, %	$(H_{ср1}-H_{ср})*100/H_{ср}$	**8,8**	**5,5**	**-6,0**
Средняя скорость, м/с	$V_{ср}$	0,73	0,91	1.,11
	$V_{ср1}$	0,76	0,92	1,11
Относительное изменение, %	$(V_{ср1}-V_{ср})*100/V_{ср}$	**3,0**	**0,7**	**-0,4**
Удельная энергия потока, $кг/с^2$	$P_{уд}$	1 043	2 519	2 512
	$P_{уд1}$	1 205	2 698	2 337
Относительное изменение, %	$(P_{уд1} - P_{уд})*100/P_{уд}$	**15,5**	**7,1**	**-7,0**
Площадь затопления, $км^2$	F	294	728	111
	F_1	300	745	130
Относительное изменение, %	$(F_1-F)*100/F$	**2,2**	**2,3**	**17,0**

В ходе увеличения антропогенной нагрузки могут происходить изменения рельефа пойм, например, в результате строительства дамб, дорожных насыпей или повышения отметок пойм с целью размещения жилых кварталов. Такое воздействие может сказываться на изменении характеристик затопления на локальных участках, но при существенном освоении пойм может привести к их изменениям для всей прилегающей территории. Рассмотрим это на примере двух наиболее освоенных ключевых участков – р. Томь у г. Томск и р. Оки у г. Рязань.

Для оценки вклада существующей и проектируемой инфраструктуры в изменение опасности затопления были проведены сценарные расчеты, с учетом ее расположения на поймах и при неизмененном состоянии пойм во всем диапазоне наблюдавшихся расходов воды (рис. 1). Для г. Томск было рассмотрено два сценария – прохождение половодий при наличии дорожных насыпей, перегораживающих часть поймы, и в случае их отсутствия. Для пойм р. Оки у г. Рязань учитывались аналогичные сценарии, а также дополнительно рассмотрен сценарий с проектом застройки поймы, при котором предполагается поднять выше уровня затопления несколько участков пойм с общей площадью 12,5 км^2 (при площади области моделирования 210 км^2).

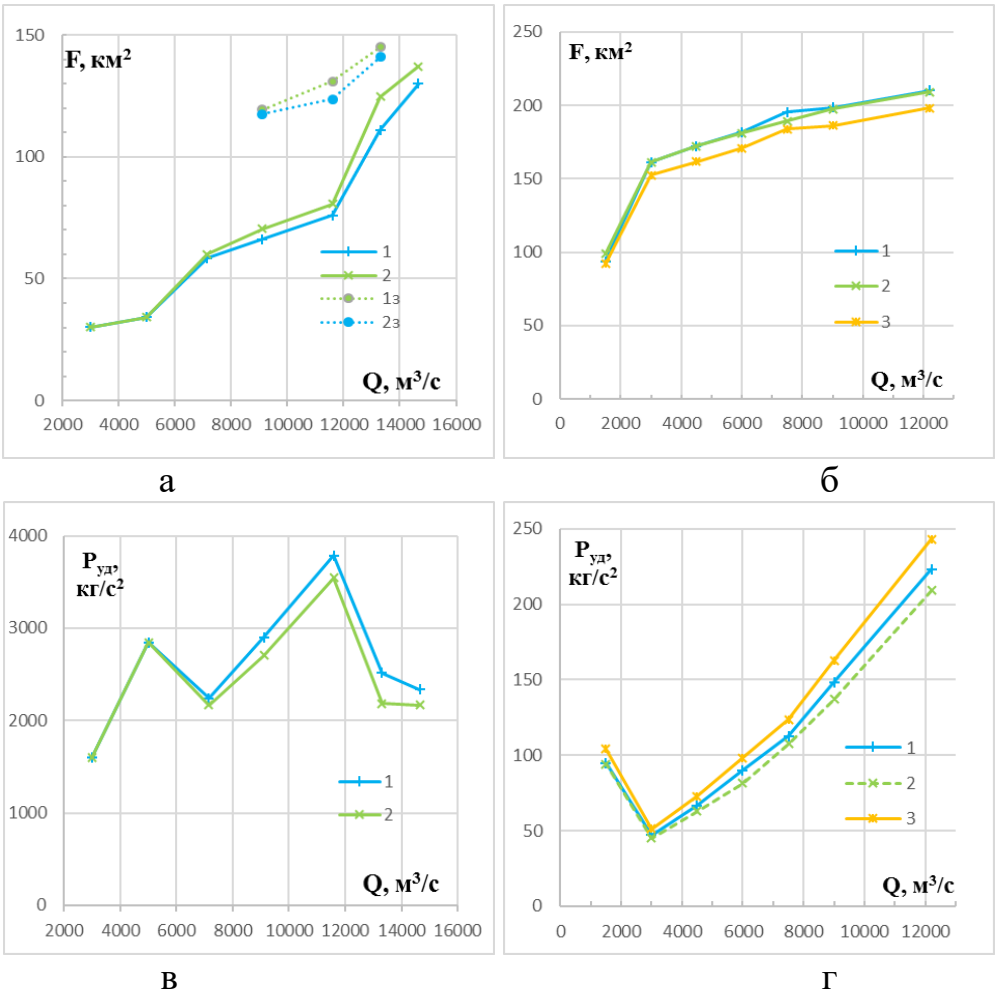


Рис. 1. Полученная по результатам численных экспериментов площадь водной поверхности (а, б) и средняя удельная энергия потока (в, г) в зависимости от входного расхода воды на ключевых участках р. Томи у г. Томск (а, в) и р. Оки у г. Рязань (б, г):
1 – в современных условиях, 1з – в современных условиях при ледовых заторах; 2 – без учета дорожных насыпей, 2з – без учета дорожных насыпей при ледовых заторах; 3 – с учетом проектируемой застройки

Сопоставление результатов моделирования для рассмотренных сценариев для обоих ключевых участков показало, что за счет стеснения потока на пойме

при наличии дорожных насыпей при прохождении расходов воды, соответствующих затоплению поймы, средняя интенсивность потока возрастает в среднем на -7% (до 15% при прохождении максимального наблюдавшегося расхода воды на р. Томи), в основном за счет увеличения средней глубины на величину 25–35 см. Площадь затопления уменьшается на 1–3% на поймах р. Оки и на 6–10% на поймах р. Томи. Дополнительное влияние планируемой застройки приводит к увеличению интенсивности потока по сравнению с современными условиями на 9–10% во всем диапазоне наблюдаемых расходов воды. Суммарный вклад инфраструктуры в этом случае обусловит увеличение интенсивности потока на 15–20% по сравнению с условиями до освоения пойм при существенном уменьшении площади затопления.

Таким образом, анализ полученных зависимостей для ключевых участков показал, что даже осреднённые по всей области моделирования значения характеристик потока чувствительны к изменениям внешних условий, уменьшение площадей затопления при выходе части поймы из-под-затопления при ее освоении приводит к увеличению интенсивности потока на оставшихся поймах (до 20%). Климатически обусловленное увеличение максимальных расходов воды при отсутствии существенного влияния инфраструктуры на пойме приводит к увеличению средней глубины затопления, площади затопления и средние скорости течения увеличиваются несущественно. При совокупном вкладе двух факторов - наличии сооружений на поймах и увеличении максимальных расходов воды относительно современных, характеристики затопления могут изменяться достаточно индивидуально для каждого участка в зависимости от проектных отметок сооружений.

Представленная методика оценки чувствительности характеристик затопления к изменениям природных и антропогенных факторов на основе двумерной гидродинамической модели STREAM_2D и полученные зависимости могут использоваться для учета вклада различных факторов при планировании хозяйственной деятельности на поймах.

Методика оценки характеристик затопления разработана при поддержке проекта РФФИ 17-05-01230, численные эксперименты по оценке опасности затопления проведены при поддержке проекта РНФ 14-17-00155.

Список литературы

1. Беликов В.В., Кочетков В.В. Программный комплекс STREAM_2D для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках // Роспатент. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014612181. М., 2014.
2. Численное гидродинамическое моделирование наводнения в г. Крымске 6-7 июля 2012 г. / Н.И. Алексеевский, И.Н. Крыленко, В.В. Беликов, В.В. Кочетков, С.В. Норин // Гидротехническое строительство. 2013. № 3. С. 29–35.

Корнилова Е.Д.[1], Крыленко И.Н.[1,2], Головлев П.П.[1]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши,
г. Москва, ekaterina.kornilova.hydro@mail.ru
[2]Институт водных проблем РАН, г. Москва

ВЕРИФИКАЦИЯ ДВУМЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ДАННЫМ О ГРАНИЦАХ ЗАТОПЛЕНИЯ С КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ (НА ПРИМЕРЕ Р. ЛЕНЫ У Г. ЯКУТСК)

Введение

Детальная оценка характеристик затопления речных пойм важна в связи с их комплексным использованием. Исследовать пространственное распределение характеристик водного потока на пойме, а также зависимости этих характеристик от входного расхода позволяют двумерные гидродинамические модели.

В качестве объекта исследования был выбран участок р. Лены у г. Якутск протяженностью 75 км, где поймы реки не сильно изменены за счет хозяйственной деятельности, что делает данный участок хорошим “полигоном” для апробации различных методов и их сопоставления в естественных природных условиях. В задачи исследования входило изучение затопления пойм на основе гидродинамической модели и космических снимков.

Для моделирования использовался программный комплекс STREAM_2D (авт. Беликов и др.), основанный на численном решении двумерных уравнений Сен-Венана. Программный комплекс STREAM_2D позволяет строить гибридные треугольно-четырехугольные расчетные сетки с переменным шагом. В центры ячеек расчетной сетки интерполируется информация о рельефе пойм и русел, и для этих же ячеек модель дает на выходе отметки водной поверхности, глубины потока, векторное поле осредненных по глубине скоростей течения.

Для решения уравнений Сен-Венана численными методами необходимо задать начальные и граничные условия. Начальными условиями являются уровень воды в пределах расчетного участка, граничными – расход воды на верхней границе и уровень воды на нижней.

Исходными данными для применения гидродинамической модели являлась следующая информация:

- Картографическая информация, представленная топографическими картами исследуемой территории.
- Результаты батиметрических съемок.
- Данные режимных наблюдений за уровнями и расходами воды.
- Информация о поймах для определения коэффициентов шероховатости.

- Результаты полевых измерений отметок водной поверхности, скоростей течения, расходов воды.

Материалы полевых измерений были предоставлены лабораторией эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Для настройки модели на конкретный объект проводится калибровка, то есть подбор параметров. Основным калибровочным параметром в уравнениях Сен-Венана является коэффициент шероховатости. Перед расчетом задается типичное значение шероховатости для данного типа русла и поймы, затем, после расчета, на основании того, каким образом отличается уровень воды и скорость течения от фактической, корректируют коэффициент шероховатости.

Следующим этапом при моделировании является верификация (валидация) модели, то есть проверка ее на независимом материале. В данной работе помимо сопоставления уровней и скоростей течения, площадь затопления, полученная по результатам моделирования, сопоставлялась с результатами о границах затопления с космических снимков за те же даты.

Для дешифрирования космических снимков применялся автоматический способ классификации k-means. Суть метода состоит в том, что после выполнения всех итераций, когда кластеры приобрели устойчивые границы, выбираются классы, которые соответствуют водной поверхности. Затем с помощью ГИС-технологий определяется площадь водной поверхности.

Калибровка и верификация гидродинамической модели за период ледохода и заторных явлений и ее результаты

Для 2006–2014 г. было проведено моделирование динамики прохождения половодий в пределах рассматриваемого участка. Первые расчеты показали, что для периода ледохода и ледовых заторов требуется дополнительная калибровка модели.

При моделировании обнаружилось расхождение между наблюдаемым и вычисленным в результате моделирования уровнями. Анализ данных режимных наблюдений за ледовыми явлениями, которые зачастую нарушают зависимость между расходом и уровнем воды, позволил определить причину данного расхождения. Было выявлено, что расчетный уровень занижен по сравнению с фактическим при густом ледоходе, так как появляется дополнительное сопротивление движению воды. Соответственно, для калибровки модели было необходимо увеличить значения коэффициента шероховатости русла за периоды ледохода. Таким образом, расчет осуществлялся не с постоянной, а с переменной во времени шероховатостью русла.

Существуют и другие причины отличия расчетного уровня от фактического. Например, для реки Лены, которая протекает с юга на север,

характерны заторные явления. При возникновении заторов разница между смоделированным и фактическим уровнями может достигать полутора метров.

Решением данной проблемы также служит увеличение значения коэффициента шероховатости, как единственного калибровочного параметра. При этом повышать шероховатость русла следует лишь на участках образования заторов. С целью устранения расхождения между фактическим и расчетным уровнями и увеличения точности моделирования была составлена карта затороопасных участков на основе отчетов о прохождении половодья и паводков Ленского бассейнового управления, а также космических снимков.

Обычно затороопасные участки приурочены к так называемым «морфологическим ловушкам». В районе города Якутска русло реки Лена становится сложно разветвленным, поток перераспределяется на множество рукавов, что мешает прохождению крупных полей льда. В результате в местах сужения русла или расположения таких препятствий, как система островов, образуются скопления льдин, вызывающее стеснение водного сечения, которое приводит к подъёму уровня воды.

Помимо ледовых явлений, причиной некорректного расчета может являться заданный рельеф. Исследуемый участок реки Лена отличается особо интенсивными русловыми процессами, соответственно, рельеф его постоянно изменяется. Именно поэтому важно перед началом расчета задать наиболее приближенный к моделируемому периоду рельеф дна. В данной работе использовались цифровые модели рельефа, созданные на основе экспедиционных исследований 2009 и 2016 гг.

Параметры гидродинамической модели, полученные в результате калибровки гидродинамической модели за период ледохода и заторных явлений представлены в таблице. Пример графика, отражающего сравнение смоделированных и фактических уровней воды (рис. 1).

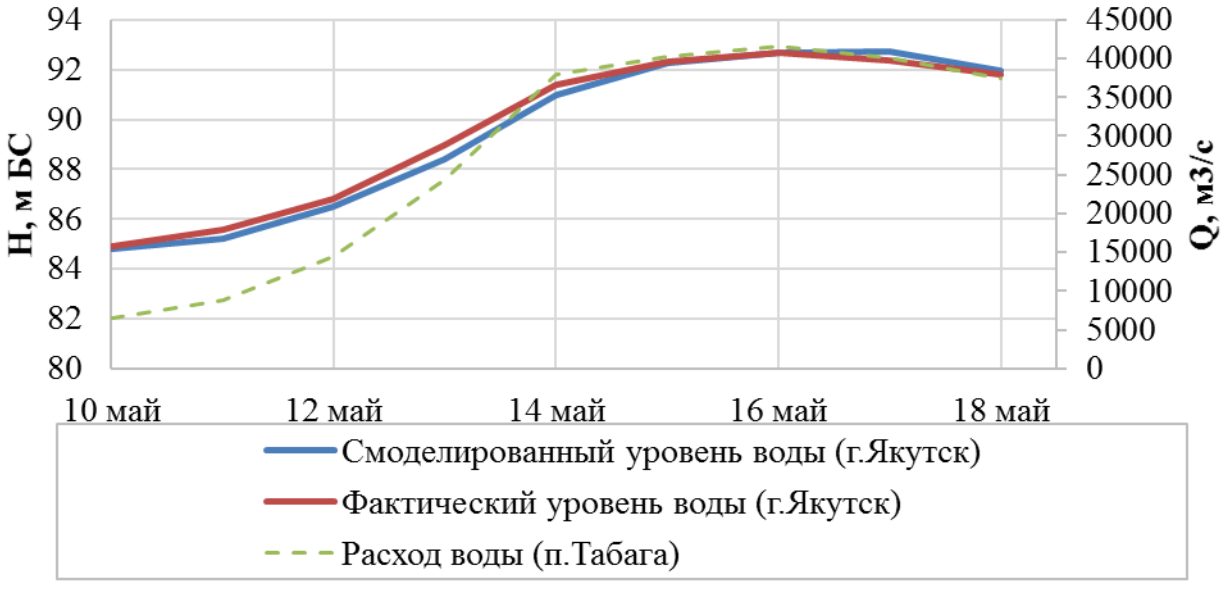


Рис. 1. Подъем первой волны половодья 2013 года

Таблица

Коэффициенты шероховатости, полученные при калибровке гидродинамической модели за разные периоды, включая период ледохода и заторных явлений

Условия	**Коэффициент шероховатости**	**Участок применения**
Свободное ото льда русло реки	0.028	Основное русло реки
	0.003	Русла рукавов
Ледоход	0.004	Основное русло реки
Заторные явления	0.073	Затороопасные участки

Оценка площади затопления по данным дистанционного зондирования Земли и на основе результатов моделирования

Космические снимки позволяют провести дополнительную верификацию гидродинамической модели, сопоставить границы и площади затопления. В исследовании использовались два типа космических снимков: со спутника SPOT 5 и Landsat 7 и 8.

Для получения информации о границах затопления с космических снимков проводилось дешифрирование водной поверхности. Первый шаг для дешифрирования - подбор определенного синтеза каналов, который позволяет четко разделять водную и земную поверхность. Так как вода лучше всего поглощает инфракрасное излучение, то наиболее четко будет видна граница между водой и сушей при комбинации красного видимого, ближнего и среднего инфракрасного каналов. Этот же синтез каналов позволяет различать растительность разной степени увлажненности: чем больше влаги содержит растительность, тем темнее она выглядит на снимке.

При сопоставлении площадей затопления, вычисленных на основе гидродинамической модели и определенных с помощью данных дистанционного зондирования (рис. 2), за определенные даты обнаружилось значительное несоответствие между ними. Анализ режимных наблюдений с гидрологических постов показал во все даты, за которые прослеживается расхождение между двумя методами определения площади затопления, наблюдался расход воды, соответствующий началу выхода воды на пойму (около 25–30 тысяч м³/с). Вероятно, растительность не успевает достаточно насытиться влагой для того, чтобы быть отображенной в более темных оттенках при комбинации красного видимого и ИК-каналов.

Для решения данной проблемы была составлена карта-схема типов подстилающей поверхности на основе космических снимков при помощи классификации с обучением. Карта-схема составлялась на основе высокодетальных космических снимков спутника WorldView-2 и спутника Landsat за период межени, а также путем дешифрирования снимков за дату,

когда наблюдалось экстремально высокое значение расхода воды, и на котором, при определенном синтезе каналов, влажная растительность отображается более темным цветом.

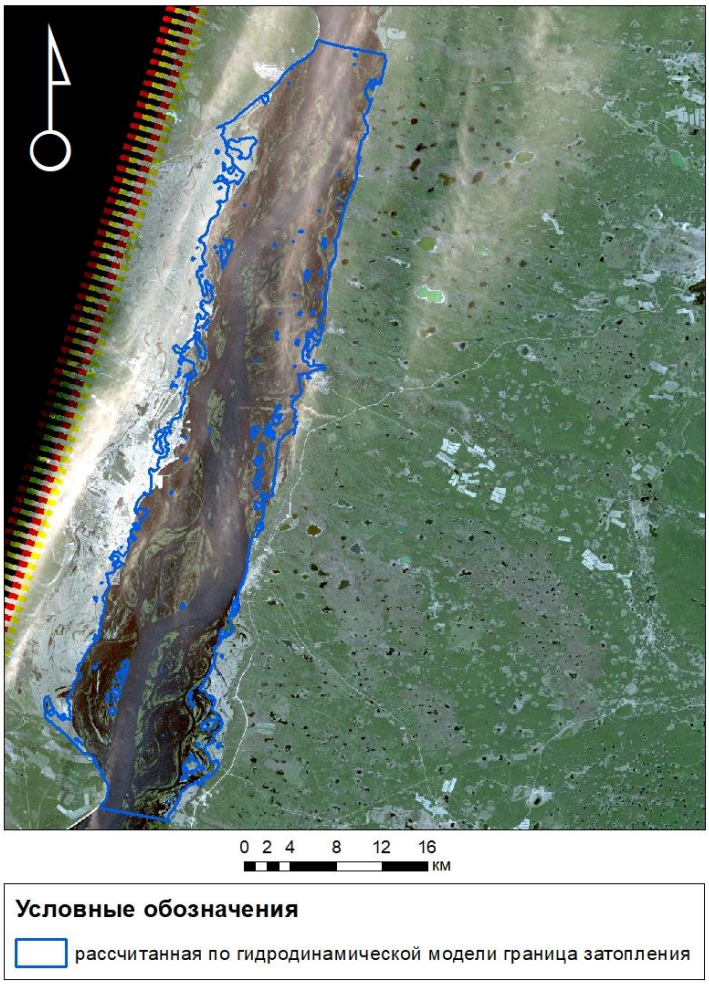


Рис. 2. Космический снимок, совмещенный с рассчитанной по гидродинамической модели границе затопления

После того, как все снимки были отдешифрированы, при помощи ГИС-технологий определялась площадь затопления. В результате был построен график зависимости между площадью затопления пойм, определенной на основе двух независимых методов, от входного расхода воды (рис. 3) и показано хорошее соответствие результатов моделирования и дешифрирования космических снимков во всем диапазоне наблюдавшихся расходов воды. Максимальные относительные погрешности моделирования соответствуют датам, когда наблюдись ледовые заторы. Коэффициент корреляции, который характеризует тесноту и линейность связи, между значениями площадей затопления, определенных двумя независимыми методами, составил 0,98.

Также стоит отметить, что в целом значения площадей затопления, определенные на основе гидродинамической модели, завышены по сравнению с результатами дешифрирования, что связано с рельефом, который лежит в

основе модели. Река Лена на данном участке имеет довольно сложную конфигурацию проток на пойме и ее невозможно полностью учесть при создании цифровой модели рельефа.

Таким образом, построенный график зависимости площади затопления, определенной разными независимыми методами, от входного расхода воды, подтверждает корректную калибровку гидродинамической модели.

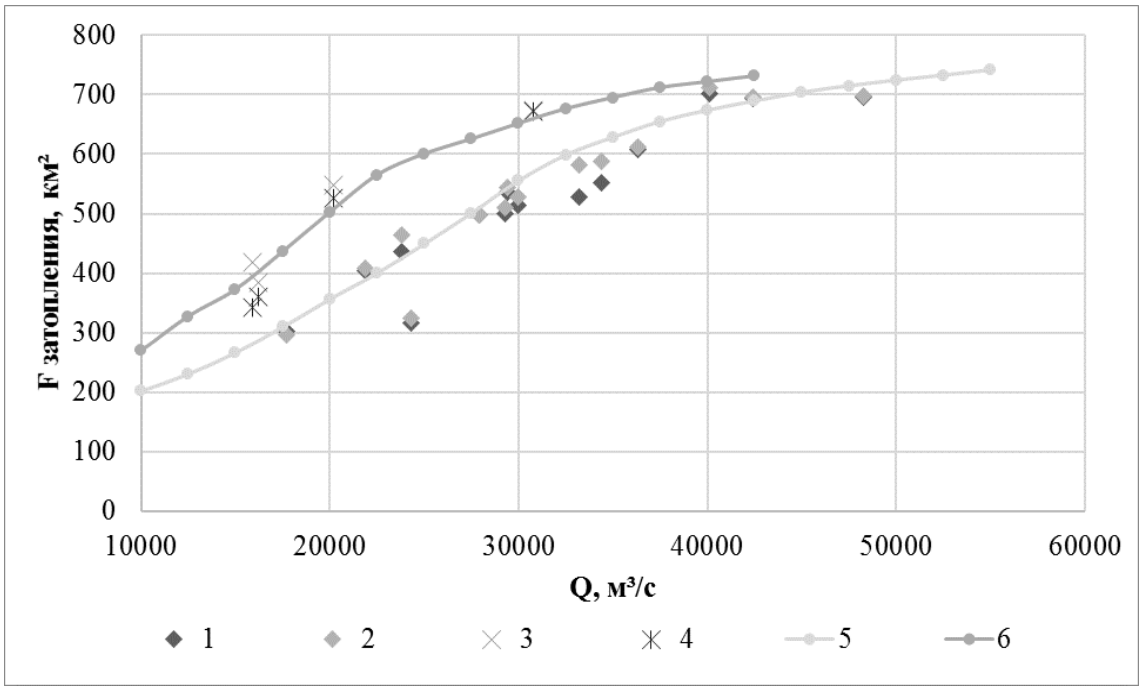


Рис. 3. График зависимости площади затопления от расхода воды. В легенде цифрами обозначена площадь затопления по результатам: 1 – дешифрирования, 2 – моделирования, 3 – дешифрирования в период заторных явлений, 4 – моделирования в период заторных явлений, 5 – численных экспериментов, 6 – численных экспериментов в случае заторов

Заключение

В будущем все проанализированные характеристики потока, а также их зависимости от входного расхода воды, определенные на основе численных экспериментов с гидродинамической моделью «STREAM_2D», могут быть использованы и учтены при выборе и оценке безопасных сценариев развития хозяйства и инфраструктуры на исследуемом участке.

Калибровка и последующая успешная верификация гидродинамической модели позволяют использовать модель для изучения прохождения половодий и крупных паводков на участке р. Лены от мыса Табага до мыса Кангалассы, а также ориентироваться на полученные коэффициенты шероховатости при калибровке модели применимо к другим участкам с похожей морфологической структурой русла.

Благодарности

Авторы статьи выражают глубокую признательность лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова за предоставленные материалы полевых исследований, ГК «Сканэкс» за материалы дистанционного зондирования. Численные эксперименты по оценке площадей затопления выполнены при поддержке проекта РНФ 14-17-00155, моделирование динамики половодий и паводков при поддержке проекта РФФИ 17-05-01230.

Список литературы

1. Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. Л.: Гидрометеоиздат, 1988.
2. Грушевский М.С. Неустановившееся движение воды в реках и каналах. Л.: Гидрометеоиздат, 1982.
3. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «География» и специальностям «География» и «Картография»: 2-е изд., перераб. и доп. М: Академия, 2011.
4. Кравцова В.И. Космические методы картографирования: учеб. пособие по направлению «География и картография», специальности «Картография». М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995.
5. Кюнж Ж.А., Холли Ф.М., Вервей А. Численные методы в задачах речной гидравлики. М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Морфология, деформации, временные изменения русла р. Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г. Якутска / Р.С. Чалов, А.С. Завадский, С.Н. Рулева и др. // Геоморфология. 2016. № 3. С. 22–35.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 17. Лено-Индигирский район. Л: Гидрометеоиздат, 1982.
8. Чалов Р.С., Панченко В.М., Зернов С.Я. Водные пути бассейна Лены. М.: Микис, 1995.
9. Якутский водный узел на р. Лене: проблемы русловых процессов, история, современность, перспективы, возможности управления / Р.С. Чалов, О.М. Кирик, А.К. Ильясов и др. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 3. С. 44–56.
10. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www. earthexplorer.usgs.gov (Дата обращения: 29.09.2016-15.04.2017).
11. Российский регистр гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.waterinfo.ru. (Дата обращения: 02.09.2016).

Панченко Е.Д.[1], Лебедева С.В.[2], Горелиц О.В.[2]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши,
г. Москва, panchenko.zhe@yandex.ru,
[2]ФГБУ «ГОИН им. Н.Н. Зубова», г. Москва

ОДНОМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ ДЛИННЫХ ВОЛН В САРАТОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Саратовское водохранилище является частью большого каскада водохранилищ на реке Волге, поэтому его гидрологический и гидродинамический режим формируется в условиях переменного подпора и определяется работой Жигулевского и Саратовского гидроузлов. Полезный объем Саратовского водохранилища весьма мал (1,75 км^3) и позволяет осуществлять только недельное и суточное регулирование стока [2]. Расходы воды (сбросы) в нижние бьефы Жигулевской и Саратовской ГЭС в меженных условиях при недельном и суточном регулировании могут резко увеличиваться в течение нескольких часов от 2500–3500 м^3/с до 6000–8000 м^3/с, а затем также быстро уменьшаться. Скорость изменения расходов воды в процессе суточного регулирования может достигать 2500 м^3/с в час. Резкие изменения расходов воды в нижних и верхних бьефах гидроузлов вызывают прямые и обратные длинные волны, которые накладываются друг на друга, образуя волнообразную поверхность воды с перемещающимися зонами стоковых и возвратных течений, разделенными пограничными участками [1].

Цель настоящей работы – исследование особенностей гидродинамического режима Саратовского водохранилища, который определяется работой двух гидроузлов и включает в себя распространение и трансформацию волн половодья, прямых и обратных длинных волн суточных и недельных попусков. Главным инструментом исследования стала одномерная гидродинамическая модель. Традиционно одномерное моделирование используется для воспроизведения движения потока в реках, однако полезная емкость Саратовского водохранилища невелика по сравнению с другими Волжскими водохранилищами, транзит и его гидродинамический режим близок к речному, особенно в верхней части.

Для создания одномерной модели Саратовского водохранилища использован программный комплекс HEC-RAS, который создан в Инженерном корпусе США и находится в открытом доступе [5]. В основе ПК HEC-RAS лежит полная система уравнений Сен-Венана, позволяющая воспроизводить динамику потока воды в нестационарных условиях. Программа HEC-RAS позволяет автоматически формировать файл с данными о рельефе моделируемого участка в ГИС-проекте с помощью модуля HEC-GeoRAS на основе цифровой модели рельефа [4].

На основе топографических и лоцманских карт была создана цифровая модель рельефа водохранилища. Поперечные профили, описывающие рельеф

моделируемого участка, были проведены через 1 км (рисунок 1). В дальнейшем проведенные тестовые расчеты показали, что результат моделирования с меньшей детальностью рельефа (профили через 2 км) практически не отличается от более подробного варианта. Разработанная модель Саратовского водохранилища имеет протяженность 339 км, по ширине охватывает долину реки Волги. Верхняя граница модели соответствует положению Жигулевского ГУ, нижняя – Саратовскому ГУ.

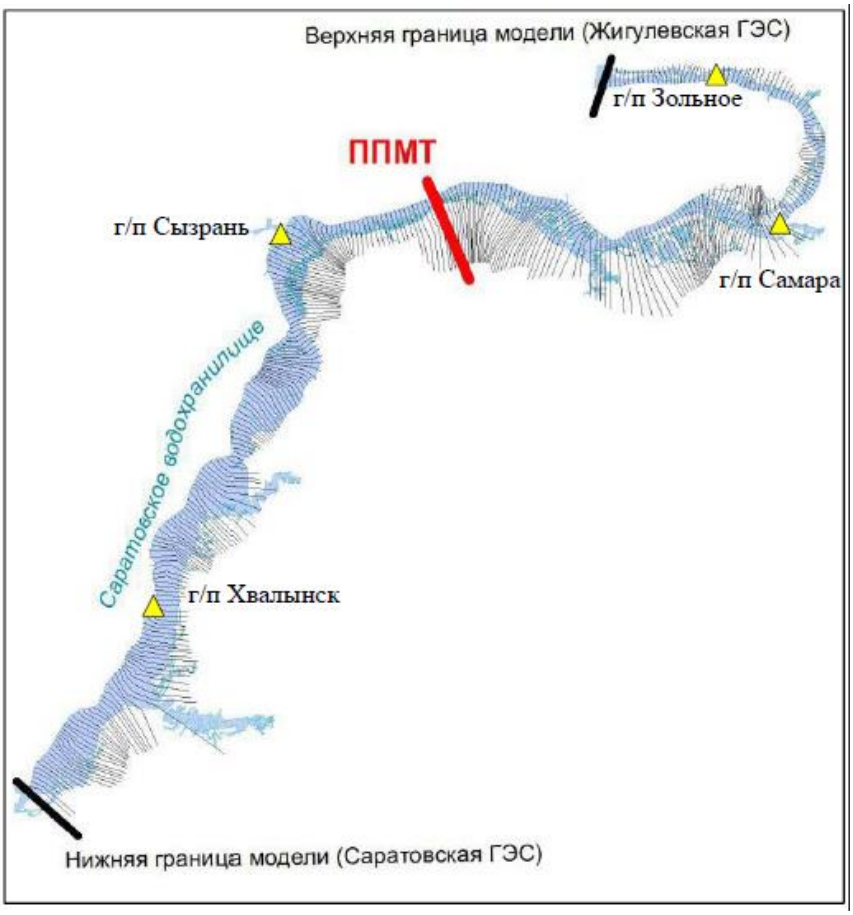


Рис. 1. Схема поперечников и границ одномерной модели Саратовского водохранилища на базе ПК HEC-RAS

Для калибровки и верификации одномерной модели Саратовского водохранилища были использованы данные гидрологических характеристик с сайта АИС ГМВО (https://gmvo.skniivh.ru) и сайта Центра регистра и кадастра (http://gis.vodinfo.ru), а также результаты экспедиционных работ.

Калибровка проводилась по данным среднесуточных уровней воды 2008–2014 гг. на гидрологических постах Зольное (318 км от Саратовского ГУ), Самара (266 км выше Саратовского ГУ), Сызрань (146 км от Саратовского ГУ), Хвалынск (57 км от Саратовского ГУ) путем подбора различных коэффициентов шероховатости для участков русла водохранилища между постами. Шероховатость поймы и островов задавалось единой для всей модели. Для калибровки модели проводились расчеты квазистационарных

гидродинамических условий, когда в течение нескольких дней не происходило существенных изменений в сбросах Жигулевского и Саратовского гидроузлов, величины сбросных расходов воды на обоих гидроузлах были примерно одинаковыми. На первом этапе калибровки при расчетах для подбора коэффициентов шероховатости в русла на верхней границе задавался расход воды 12 000 м^3/с. При таком расходе весь сток происходит в русле, и пойма не затапливается. На втором этапе калибровки при расчетах для подбора коэффициента шероховатости поймы на верхней границе задавался расход воды 19 500 м^3/с.

Для верификации модели смоделировано прохождение фактического гидрографа в период весна-лето 2017 г., когда ФГБУ «ГОИН им. Н.Н. Зубова» был проведен ряд экспедиций с измерением уровней воды, скоростей течения и расходов воды на этом участке (полевые данные использованы для верификации).

Помимо сравнения уровней воды по результатам моделирования с фактическими уровнями воды на гидрологических постах, в качестве контрольного использовался створ в районе перехода подводного трубопровода «Дружба» (ППМТ), который расположен в 182 км от Саратовского ГУ. Этот створ находится в зоне переменного подпора Саратовского ГУ. При больших расходах воды уклон на этом участке формируется преимущественно под воздействием сбросов Жигулевской ГЭС. Практическая задача по оценке изменчивости скоростей течения и их влияния на русловые деформации в районе залегания ниток трубопровода стала мотивацией для создания представляемой одномерной модели.

Верификационные расчеты на одномерной модели показали, что уровни воды на гидрологических постах Сызрань и Самара рассчитываются с точностью до 30 см. Расходы воды в районе ППМТ завышаются моделью на 1-6%, а скорости течения примерно на 25%. Эти результаты позволяют использовать модель для сравнительных оценок изменчивости скорости течения в различных ситуациях суточного и недельного регулирования.

Для воспроизведения моделью динамики потоков в водохранилище в условиях суточного регулирования необходимы данные о ежечасных сбросах воды на Жигулевской ГЭС, ежечасные уровни воды в ВБ (или ежечасные сбросы) Саратовской ГЭС. Для верификации также нужна запись внутрисуточного хода уровней воды и расходов воды или скоростей течения в центральной части водохранилища. Однако полного набора этих данных на настоящий момент нет. В качестве пробного эксперимента были выполнены сценарные расчеты распространения прямой и обратной волны в Саратовском водохранилище путем задания возможных колебаний уровней и расходов воды в качестве граничных условий. Из литературных источников [3] известно, что диапазон внутрисуточных изменений уровней воды в нижнем бьефе Жигулевской ГЭС может составлять 1,5–2,0 м, что вызывает прямую волну, в

верхнем бьефе Саратовской ГЭС внутрисуточные колебания уровня воды могут составлять до 0,15-0,3 м, что вызывает обратную волну.

Воспроизведение прямой положительной волны было выполнено путем увеличения на верхней границе расходов воды с 3 000 м^3/с до 9 000 м^3/с и затем снижения до 3 000 м^3/с в течение суток. При этом на нижней границе был задан неизменный уровень воды. В результате расчетов колебания уровней воды в НБ Жигулевской ГЭС составили 0,91 м, в контрольном створе ППМТ – 0,11 м, а скорости течения изменялись в диапазоне 0,25 м/с (рис. 2, а).

Второй расчет проводился при постоянном расходе воды в НБ Жигулевской ГЭС, равном 6 000 м^3/с, и уровнях воды на нижней границе, изменяющихся за сутки от 28 м до 27,7 м и обратно до 28 м. В результате по Саратовскому водохранилищу проходила обратная отрицательная волна. При этом уровни воды в контрольном створе ППМТ изменялись в пределах 30 см, а скорости течения от 0,31 до 0,62 м/с, то есть в два раза (рис. 2, б).

При воспроизведении одновременно прямой и обратной волн происходило их наложение друг на друга, и колебания скорости течения в контрольном створе ППМТ составили от 0,22 до 0,61 м/с, то есть практически в три раза (рис. 2, в).

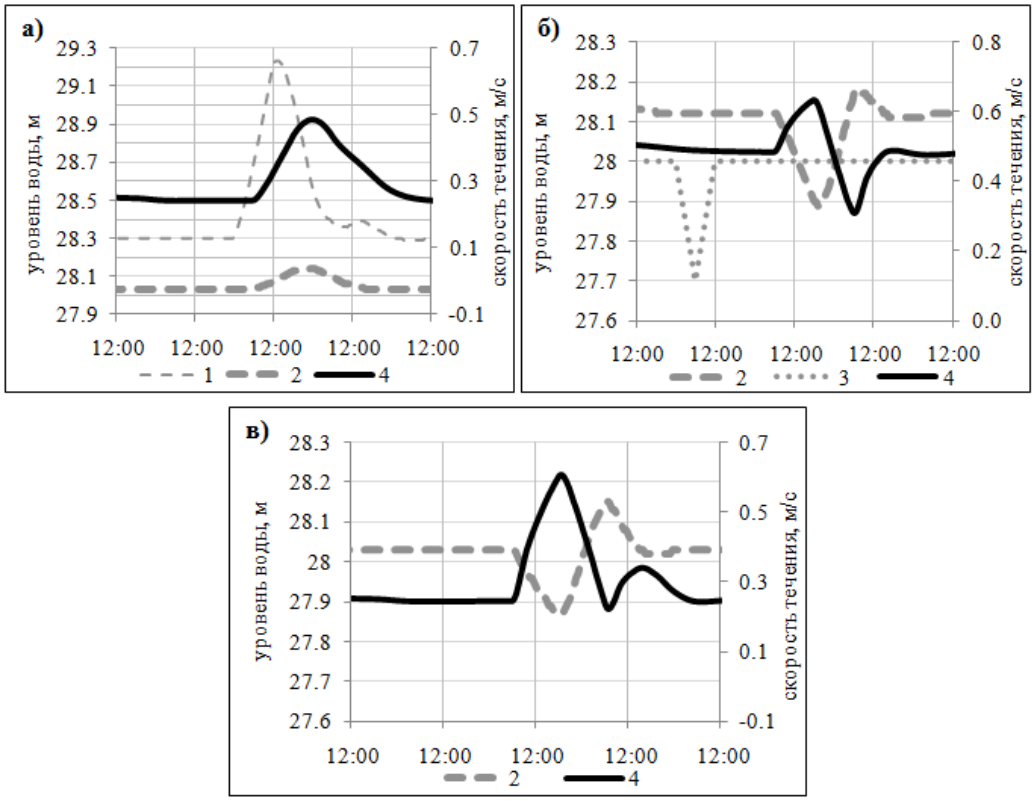


Рис. 2. Результаты расчетов на 1D модели Саратовского водохранилища сценариев прохождения прямых и обратных волн: а) сценарий 1; б) сценарий 2; в) сценарий 3. Условные обозначения: 1 – уровень воды на верхней границе модели (в НБ Жигулевской ГЭС); 2 – уровень воды в створе ППМТ, 3 – уровень воды на нижней границе модели (ВБ Саратовской ГЭС), 4 – средняя скорость течения в створе ППМТ

Таким образом, сценарные расчеты позволили оценить степень влияния распространения прямых и обратных длинных волн на скоростной режим в центральной части водохранилища. Продемонстрированы существенные колебания скоростей течения за короткий период, причем наибольшее воздействие зафиксировано при наложении двух волн.

Список литературы

1. Караушев А.В. Речная гидравлика. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 416 с.
2. Основные правила использования водных ресурсов Саратовского водохранилища на р. Волге. Москва, 1983 (РВ-260-83), утвержденные приказом Министерства мелиорации и водного хозяйства РСФСР от 11 ноября 1983 г. № 596.
3. Рахуба А.В. Длинноволновая динамика и ее влияние на формирование качества вод водохранилища суточного регулирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 5. С. 196–203.
4. Cameron T. Ackerman. HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS User’s Manual. 2009. 246 p.
5. Gary W. Brunner, CEIWR-HEC. HEC-RAS, River Analysis System User’s Manual. Version 5.0, 2016. 960 p.

Барабанова Т.С., Самохин М.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши,
г. Москва, Tanushka94.21@mail.ru

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕК НОВОЙ МОСКВЫ

В соответствии с решением Правительств г. Москвы и Московской области от 30.07.2011 г. к городу Москве присоединена территория Московской области площадью 144.7 тыс. га. Территория расположена к югу и юго-западу от МКАД. На присоединенной территории образованы два административных округа города Москвы: Троицкий и Новомосковский (ТиНАО).

Рассматриваемая территория слабо урбанизирована: население составляет около 300 тыс. человек (2% населения Москвы), фонд недвижимости – порядка 16 млн м^2, около половины территории занято лесами [4].

В настоящее время водоснабжение ТиНАО преимущественно обеспечивается за счёт эксплуатации подземных вод с общим водоотбором около 140 тыс. м^3/сут. Примыкающие ко МКАД районы получают поверхностную воду из системы Мосводоканала.

Гидрогеологические условия территории ТиНАО г. Москвы являются сложными: в плане и разрезе наблюдается сильная изменчивость фильтрационных параметров водоносных горизонтов, гидродинамических характеристик, качества подземных вод.

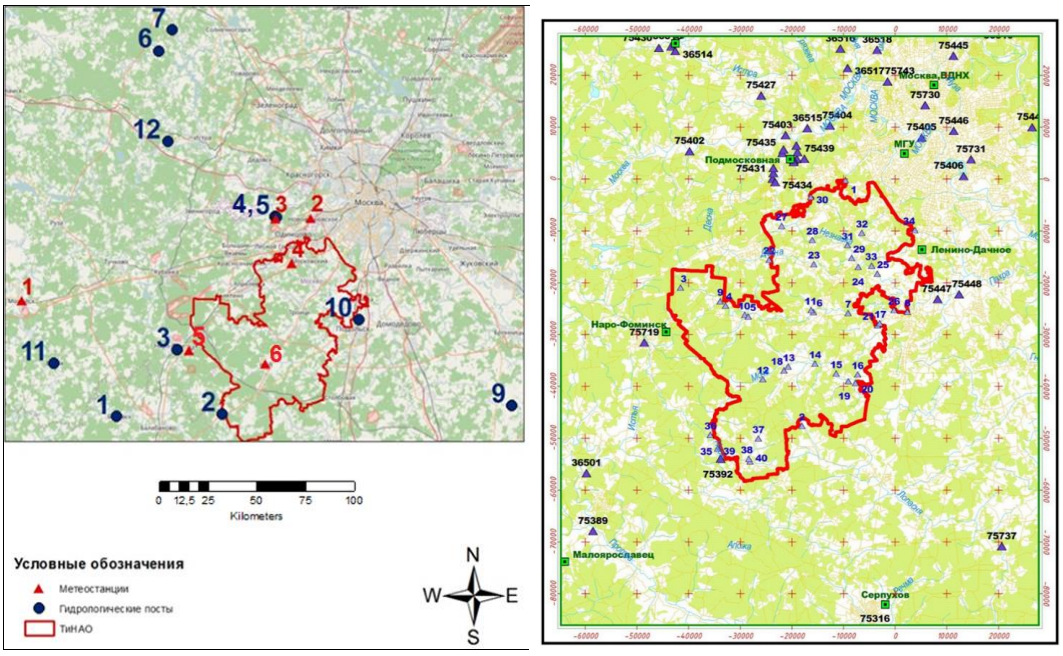
Территория Троицкого и Новомосковского округов подлежит планомерному градостроительному освоению. Реализация этих планов потребует дополнительных источников водоснабжения населения и объектов промышленности, что окажет существенное влияние на состояние природной среды, в том числе на гидрологические и гидрогеологические условия территории. Для оценки потенциала источников водоснабжения Новой Москвы необходимо определить основные гидрологические характеристики рек данной территории.

По состоянию на 2016 год на территории Новой Москвы действующих гидрологических постов нет. На расстоянии до 150 км от границ ТиНАО только 12 гидрологических постов расположены на техногенно незарегулированных реках с продолжительными периодами наблюдения за расходами воды (рис. 1, а). На каждом гидрологическом посту имеется ряд данных продолжительностью наблюдений от 24 до 59 лет (табл. 1).

Таблица 1

Сведения о гидрологических постах-аналогах

№	Река	Створ	F, км^2	Дата открытия	Дата закрытия	Расстояние от истока, км	Уклон водосбора, ‰	Hср, м
5	Закза	д. Большое Сареево	17.0	25.10.1945	действ.	6.00	32.0	191
4	Медвен-ка	д. Большое Сареево	21.5	25.10.1945	действ.	11.0	21.0	192
10	Пахра	д. Стрелковская Фабрика	1690	(Макарово 06.01.1925) 10.07.1968	действ.	90.0	39.1	191
7	Катыш	с. Троицкое	70.5	01.11.1967	действ.	15.0	28.0	228
6	Нудоль	д. Кузнецево	291	01.12.1968	01.01.1994	38.0	22.0	236
11	Протва	г. Верея	935	25.07.1977	с 01.01.1999 уровенный	87.0	44.7	224
1	Протва	с. Спас-Загорье	3640	01.04.1937	действ.	204	42.5	202
3	Нара	г. Наро-Фоминск	665	23.09.1976	с 01.01.1997 уровенный	43.0	18.0	198
2	Нара	д. Папино	971	01.09.1956	01.09.1996	77.0	39.4	198
12	Малая Истра	д. Киселево	280	01.01.1956	с 01.01.1997 уровенный	41.0	20.0	214
9	Северка	с. Покровское	792	13.08.1969	действ.	60.0	21.0	164
8	Нерская	г. Куровское	612	28.10.1929 (09.09.1958)	с 01.01.1998 уровенный	35.0	5.00	135



а б

Рис. 1. а) Схема расположения гидрологических постов-аналогов (номера согласно таблице 1) и ближайших метеорологических станций (1 – Можайск, 2 – Немчиновка, 3 – Подмосковная, 4 – Внуково, 5 – Наро-Фоминск, 6 – Михайловское). б) Схема расположения временных гидрологических постов

Данные гидрологические посты рассматривались в качестве аналогов для организованных 40 временных постов (рис. 1, б). Местоположение створов обуславливает возможность верификации полученных данных с гидрогеологической моделью, что позволит оценить потенциал подземных источников для водоснабжения Новой Москвы.

По постам-аналогам была собрана база данных, включающая значения характерных расходов воды. Сведения по наличию данных иллюстрирует рис. 2. Пропуски в данных могут составлять от 1 года до 40 лет. Подробный анализ был произведен по следующих характеристикам водного стока: среднегодовой расход воды, максимальный расход воды весеннего половодья и дождевых паводков, слой стока весеннего половодья, минимальный расход воды за период ледостава и летне-осенней межени.

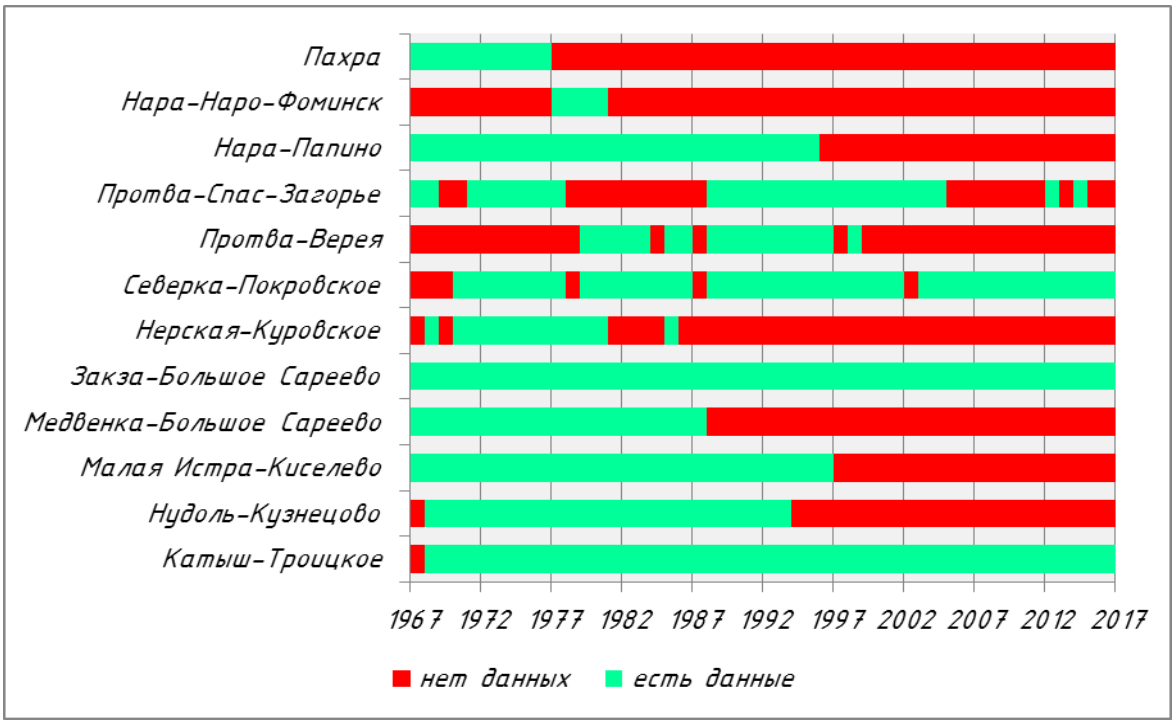


Рис. 2. Наличие данных наблюдений по минимальным расходам воды за период ледостава

Для всех перечисленных характеристик был выбран репрезентативный период 1967–2016 гг. по принципу однородности, связности и наличия данных. Для рядов, имеющих пропуски в наблюдениях, по каждому количественному показателю стока была построена корреляционная матрица (табл. 2).

Оптимальные реки-аналоги были подобраны, на основе морфометрического сходства бассейнов, географическую близость водосборов и однотипность условий формирования стока. Далее пропуски были восстановлены с учетом введенных поправок на систематически заниженную дисперсию при среднем парном коэффициенте корреляции 0,68.

Таблица 2

Корреляционная матрица для максимальных расходов воды весеннего половодья

Переменная	Катыш-Троицкое	Нудоль-Кузнецово	Малая Истра-Киселево	Медвенка-Большое Сареево	Закза-Большое Сареево	Нерская-Куровское	Северка-Покровское	Протва-Верея	Протва-Спас-Загорье	Нара-Папино	Нара-Наро-Фоминск	Пахра
Катыш-Троицкое	1.000	0.739	0.573	0.524	0.404	0.511	0.470	0.349	0.620	0.382	0.315	0.525
Нудоль-Кузнецово	0.739	1.000	0.557	0.376	0.153	0.457	0.254	0.304	0.372	0.521	0.404	0.379
Малая Истра-Киселево	0.573	0.557	1.000	0.600	0.544	0.475	0.472	0.478	0.584	0.658	0.505	0.611
Медвенка-Большое Сареево	0.524	0.376	0.600	1.000	0.833	0.639	0.711	0.897	0.584	0.667	0.751	0.730
Закза-Большое Сареево	0.404	0.153	0.544	0.833	1.000	0.644	0.758	0.604	0.635	0.646	0.593	0.766
Нерская-Куровское	0.511	0.457	0.475	0.639	0.644	1.000	0.791	0.635	0.733	0.832	0.787	0.776
Северка-Покровское	0.470	0.254	0.472	0.711	0.758	0.791	1.000	0.579	0.732	0.702	0.577	0.809
Протва-Верея	0.349	0.304	0.478	0.897	0.604	0.635	0.579	1.000	0.596	0.807	0.758	0.728
Протва-Спас-Загорье	0.620	0.372	0.584	0.569	0.635	0.733	0.732	0.596	1.000	0.791	0.575	0.691
Нара-Папино	0.382	0.521	0.658	0.667	0.646	0.832	0.702	0.807	0.791	1.000	0.909	0.862
Нара-Наро-Фоминск	0.315	0.404	0.505	0.751	0.593	0.787	0.577	0.758	0.575	0.909	1.000	0.661
Пахра	0.525	0.379	0.611	0.730	0.766	0.776	0.809	0.728	0.691	0.862	0.661	1.000

Для каждого поста по восстановленным блокам данных была проведена статистическая обработка и построено семейство аналитических кривых. На рис. 3 продемонстрированы кривые распределения обеспеченностей максимального расхода воды весеннего половодья за весь период наблюдений (1925–2016 гг.) и однородный период, характеризующий современные условия (1967–2016 гг.) для р. Пахры. Максимальный расход воды 1%-ной обеспеченности за однородный период меньше в 1,24 раза относительного полного периода, что обусловлено климатическими изменениями (статистически значимое уменьшение продолжительности периода снегонакопления). Построение аналитических кривых, на основе распределения Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа, позволили получить значения требуемых обеспеченностей расходов воды на основе получения основных параметров методом моментов и методом наименьших квадратов (табл. 3).

Полученные значения переносились в створ временных постов. Расчет выполнялся на основе требований действующих нормативных документов (СП 33.101.2003), данных наблюдений на метеорологических станциях и гидрологических постах-аналогах, а также на основе гидроморфометрических параметров водосборов в расчетных створах. Пример полученных результатов по максимальным расходам воды весеннего половодья представлен в табл. 4.

Таблица 3

Основные параметры и расчетные значения расходов воды, полученные по аналитическим кривым

№	Река	Створ	QmaxВП1%	QmaxДП1%	h1%	K0	Qср50%	QminЛО80%	QminЛед80%
5	р. Закза	д.Большое Сареево	6.24	5.61	184	0.0070	0.19	0.063	0.056
4	р. Медвенка	д.Большое Сареево	15.9	14.5	189	0.0141	0.14	0.014	0.026
10	р. Пахра	д. Стрелковская Фабрика	345	152	192	0.0089	10.3	1.55	
7	р. Катыш	с. Троицкое	41.5	54.9	279	0.0106	0.570	0.087	0.13
6	р. Нудоль	д.Кузнецево	66.7	74.8	270	0.0057	3.71	0.468	0.39
11	р. Протва	г. Верея	193	102	187	0.0084	28.2	2.07	1.48
1	р. Протва	с. Спас-Загорье	810	276	212	0.0102	21.3	5.31	5.75
3	р. Нара	г. Наро-Фоминск	103	7.41	188	0.0061	3.78		
2	р. Нара	д. Папино	180	11.2	185	0.0080	6.20	1.23	1.39
12	р. Малая Истра	д. Киселево	55.2	42.3	175	0.0071	2.02	0.565	0.55
9	р. Северка	с. Покровское	204	72.9	150	0.0116	3.44	0.800	1.00
8	р. Нерская	г. Куровское	85.7	30.4	173	0.0057	3.71		0.64

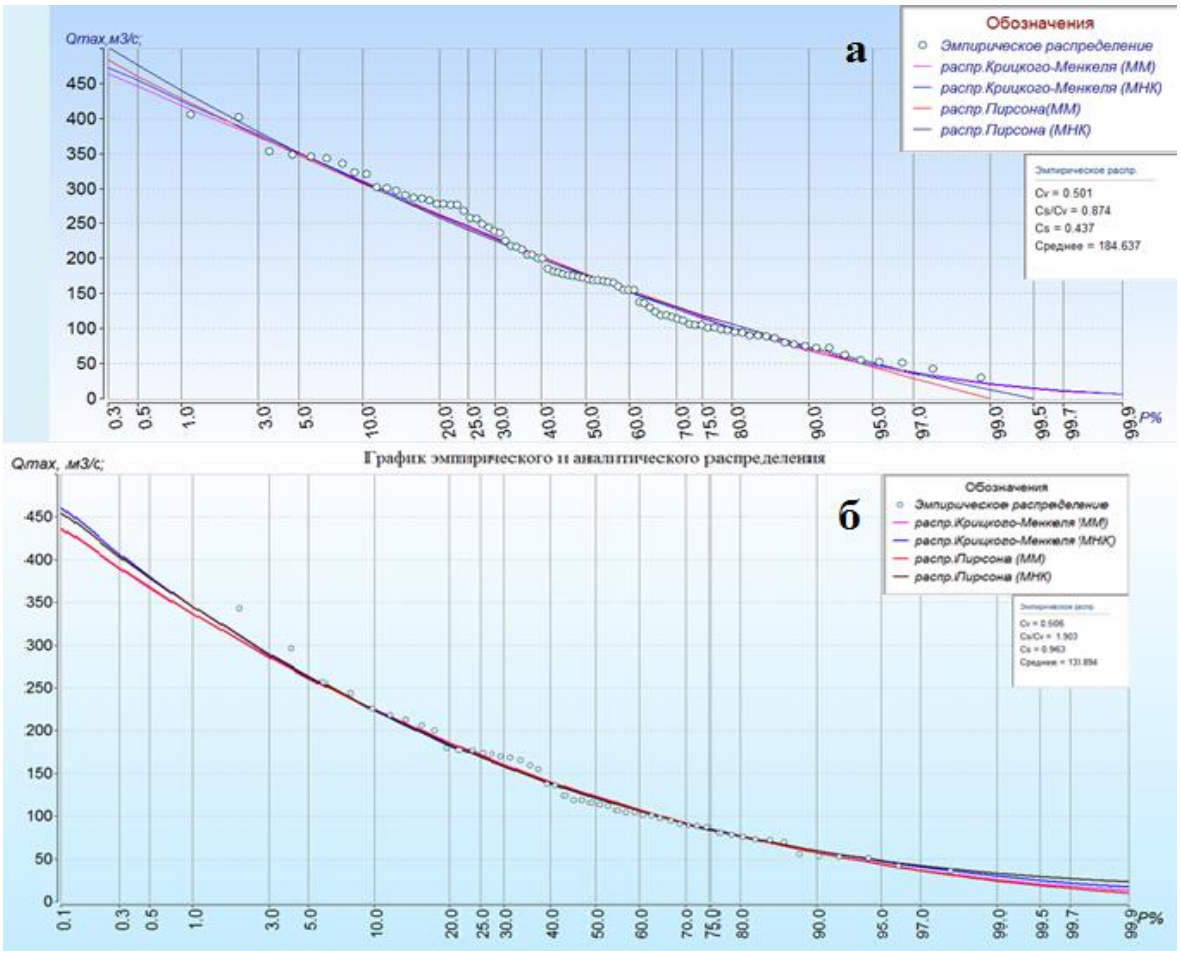


Рис. 3. Эмпирические и аналитические кривые распределения обеспеченностей максимального расхода воды весеннего половодья р. Пахра д. Стрелковская Фабрика: а) 1925 – 2016 гг., б) 1967 – 2016 гг.

Таблица 4

Расчетные значения максимальных расходов воды ($м^3/с$) весеннего половодья в исследуемых створах (номера согласно рис. 1)

Расчетный створ	**Река**	**А, км^2**	**Максимальный расход воды весеннего половодья**		
			Q1%	***Q10%***	***Q50%***
1	Сетунь	83.0	29.9	19.4	13.4
2	Лопасня	28.8	10.7	6.94	4.8
3	Пахра	20.4	7.80	5.07	3.5
4	Пахра	112	34.0	22.1	15.2
5	Пахра	259	68.2	44.3	30.5
6	Пахра	361	91.1	59.2	40.7
7	Пахра	410	102	66.4	45.7
8	Пахра	1664	330	211	130
9	Лодырка	27.5	10.7	6.96	4.8
10	Сохна	92.8	28.8	18.7	12.9
11	Жилетовка	27.5	10.6	6.90	4.8
12	Моча	17.9	7.72	5.01	3.5
13	Моча	88.6	28.7	18.7	12.9
14	Моча	163	49.8	32.4	22.3
15	Моча	213	61.8	40.2	27.7
16	Моча	313	84.4	54.9	37.8
17	Моча	472	120	78.2	53.8
18	Вороновка	29.1	11.6	7.51	5.2
19	Моча	252	71.1	46.2	31.8
20	Трешня	56.6	19.7	12.8	8.8
21	Лубянка	30.6	11.9	7.73	5.3
22	Десна	198	56.5	36.7	25.3
23	Десна	250	69.4	45.1	31.1
24	Десна	534	133	86.2	59.3
25	Десна	642	156	101	69.8
26	Пахра	921	198	127	78
27	Незнайка	44.6	16.8	10.9	7.5
28	Незнайка	106	34.9	22.7	15.6
29	Незнайка	217	63.8	41.4	28.5
30	Ликова	32.4	13.0	8.47	5.8
31	Ликова	74.3	26.2	17.0	11.7
32	Сосенка	17.4	7.88	5.12	3.5
33	Сосенка	87.6	32.1	20.9	14.4
34	Битца	18.7	8.20	5.33	3.7
35	Нара	962	175	118	72
36	Кременка	126	37.3	24.2	16.7
37	Черничка	21.5	8.61	5.59	3.9
38	Черничка	51.5	18.7	12.2	8.4
39	Черничка	105	34.4	22.4	15.4
40	Десенка	19.3	8.29	5.39	3.7

По полученным значениям можно выделить некоторые закономерности в пространственном распределении. Например, значения среднегодового расхода воды закономерно уменьшаются с северо-запада на северо-восток территории ТиНАО. Для некоторых других показателей сложно установить закономерности по причине большого влияния азональных факторов.
Сопоставление полученных результатов (по статистически обработанным рядам за 1967-2016 гг.) с эмпирическими обобщениями, опубликованными в Ресурсах поверхностных вод [1] (полученным на основе обработки рядов до 1967 г.), свидетельствует о значимом снижении максимальных расходов весеннего половодья (на 30–70%), снижении слоя стока весеннего половодья (на 15–20%), увеличении расхода воды в период зимней межени (20–25%), на фоне не значительного увеличения среднегодового расхода воды (10–15%).

Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 10. Верхне-Волжский. Книга 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1973.
2. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
3. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик.
4. https://stroi.mos.ru

Бекасов М.А, Айбулатов Д.Н.

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши,
г. Москва, maxbekas@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ МАЛЫХ РЕК НА АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ НА ПРИМЕРЕ НОВОЙ МОСКВЫ

Рост городов и прогрессирующая урбанизация в последние века претендуют на роль одних из ведущих факторов в изменении показателей стока рек. Одной из насущных научных проблем является перестройка гидрографической сети и интенсивное использование природных вод в хозяйственно-бытовых, промышленных и рекреационных целях в процессе расширения городов. Эффекты от резко возрастающего антропогенного воздействия на природные водные объекты изучены не до конца. Объектом данного исследования выступает территория Новой Москвы – крупнейший в России пример территории, трансформирующейся из малоосвоенной в урбанизированную. Предметом исследования являются изменения в показателях максимального стока рек. Актуальность данной работы заключается в малой изученности изменений стока, связанных с влиянием урбанизации, а также активным развитием исследуемого региона.

Целью работы является оценка максимального стока воды рек Новой Москвы за последние 60 лет и выявление роли антропогенного фактора в этом процессе. К основным задачам исследования относится исследование изменений в ландшафтной структуре территории, анализ изменения характеристик стока рек Новой Москвы, а также климатических характеристик.

Изучаемая территория целиком относится к бассейну внутреннего стока Каспийского моря. Все водотоки Новой Москвы являются притоками Оки разного порядка Ока же в свою очередь впадает в Волгу. Всего в пределах Новой Москвы насчитывается около 15 рек и ручьёв протяжённостью свыше 10 км. Общая длина водотоков составляет около 635 км. Преобладающий тип рек ТиНАО – малые реки. Площадь водосборов местных рек не превышает 2000 км^2. Единственной рекой, которую относят к средним рекам является Пахра с площадью водосбора 2580 км^2. Кроме этого, крупнейшими реками данной территории являются Десна, Лопасня, Моча. Густота речной сети участка составляет 0,44 км/км^2. Характеристики основных рек Новой Москвы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Крупнейшие реки Новой Москвы и их характеристики

Река	**Длина, км**	**Площадь водосбора, км^2**	**Приёмная река**
Пахра	135	2580	Москва
Лопасня	108	1090	Ока
Десна	88	717	Пахра
Моча	58	482	Пахра
Незнайка	32	207	Десна
Битца	24	101	Пахра
Ликова(Ликовка)	21	63,4	Незнайка
Сосенка	20	107	Десна
Черничка	18	139	Нара
Сохна	14	90	Пахра

По состоянию на 2016 год на территории Новой Москвы не расположено ни одного гидрологического поста. Основными источниками о состоянии гидрометрических характеристик водотоков региона являются 11 постов аналогов, расположенных в не более чем в 150 километрах от изучаемой территории, а также 1 пост на р. Пахра, наблюдения на котором прекратились в 2007 году. В среднем, в Московской области 1 гидрологический пост приходится на 3 000 км^2. Площадь водосборов постов варьируется от 17 до 3 640 км^2. Это позволяет оценить порядок гидрометрических величин на малых водотоках региона, имеющих площадь 2 000 км^2, а также на средних реках (>2 000 км^2). На каждом гидрологическом посту имеется ряд данных от 24 до 59 лет. Информация о гидрологических постах и представлена на рис. 1.

Территория Новой Москвы в настоящее время активно подвергается комплексной застройке и освоению. Наступающий процесс урбанизации подразумевает собой кардинальную перестройку ландшафтной структуры территории и её гидрографической сети. Водный режим рек в этих условиях может изменяться в связи с заменой естественной подстилающей поверхности на асфальтовое покрытие, появлением новых антропогенных ландшафтов, перестраивающих структуру поверхностного стока, а также непосредственно из-за преобразования самих водных объектов человеком. Ведущая роль среди факторов изменения стока в пределах городских территорий принадлежит увеличению малопроницаемых поверхностей в пределах водосборов рек. Помимо этого, гидрографическая сеть изменяется с появлением канализационных и дренажных систем. Благодаря им, время склонового и руслового добегания значительно сокращается.

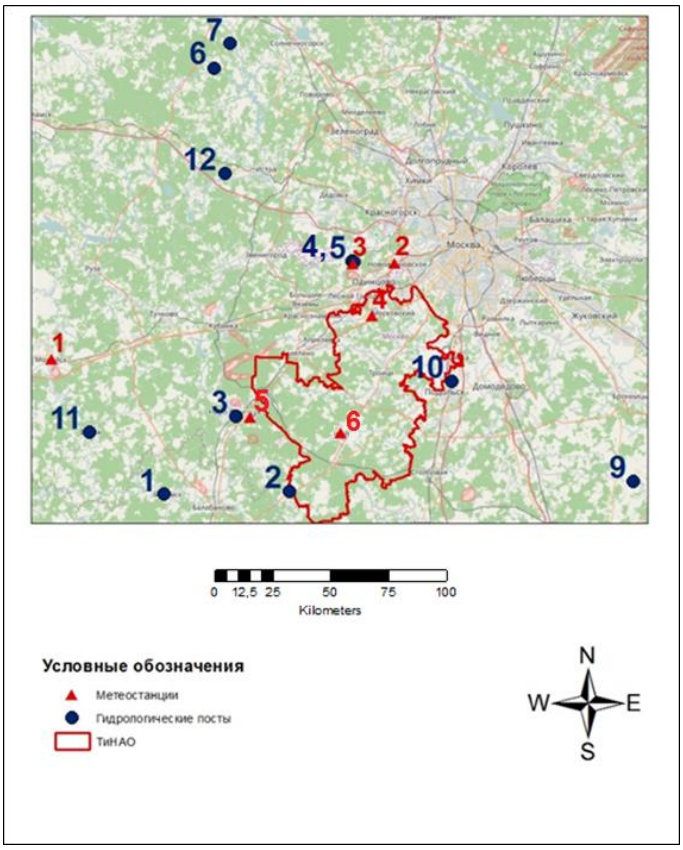


Рис. 1. Схема гидрологических постов и метеорологических станций
(Гидропосты: 1 – р. Протва (Спас-Загорье), 2 – р. Нара (Папино), 3 – р. Нара (Наро-Фоминск), 4 – р. Медвенка (Большое Сареево), 5 - р. Закза (Большое Сареево), 6 – р. Нудоль (Кузнецово), 7 – р. Катыш (Троицкое), 8 – р. Нерская (Куровское), 9 – р. Северка (Покровское), 10 – р. Пахра (Стрелковская фабрика), 11 – р. Протва (Верея), 12 – р. Малая Истра (Киселёво)

Учёт влияния урбанизированной территории на максимальные расходы дождевых паводков заданной обеспеченности P при наличии наблюдений определяется по формуле [1]:

$$Q_{(макс.\ д.(P)} = \left(\frac{K_Q q_P F^n}{F_y^n}\right) F_y, \qquad (1)$$

где $K_Q = q_y/q_a$ – параметр, характеризующий отношение модуля максимального расхода воды с урбанизированной территории к модулю стока реки-аналога(q_a); q_p – модуль стока обеспеченностью *P; F* и F_y –площадь водосбора реки-аналога и урбанизированной территории; *n* – коэффициент редукции модуля максимального расхода воды с увеличением площади водосбора.

Когда данных наблюдений нет учёт влияния урбанизированных территорий на максимальные расходы дождевых паводков на водосборах площадью от 50 до 200 км^2 определяется по формуле предельной интенсивности стока [2]:

$$Q_p = q_{1\%}\alpha H_{1\%}\lambda_P F_y, \qquad (2)$$

где q_p – максимальный модуль стока обеспеченностью P = 1%, выраженный в долях произведения $\alpha H_{1\%,}$ определяемый в зависимости от гидромофрометрической характеристики русла Фр и продолжительности склонового добегания $\tau_{ск}$; α – сборный коэффициент стока, $H_{1\%,}$ – максимальный суточный слой осадков обеспеченностью P = 1%; λ_P – коэффициент перехода от максимальных мгновенных расходов воды обеспеченностью P = 1% к максимальным расходам воды другой обеспеченности.; F_y – площадь урбанизированного водосбора.

Гидроморфометрическую характеристику русла исследуемой реки $\Phi_р$ определяют по формуле [1]:

$$\Phi_р = 1000\,L/\left[m_p I_p^m A^{0,25}(\varphi H_{1\%})^{0,25}\right] \qquad (3)$$

где $m_р$ – гидравлический параметр, характеризующий состояние и шероховатость русла водотока; $I_р$ – средневзвешенный уклон водотока, ‰; А – площадь исследуемого водосбора, км^2.

Сборный коэффициент стока φ для равнинных рек определяют по формуле [2]:

$$\varphi = \frac{c_2}{(A+1)^{n_3}}\varphi_0\left(\frac{I_{ск}}{50}\right)^{m_2} \qquad (4)$$

где c_2 – эмпирический коэффициент, который для тундры и лесной зоны принимают равным 1,2, для остальных природных зон – 1,3; φ_0 - сборный коэффициент стока для условного водосбора с площадью А, равной 10 км^2, и средним уклоном $I_{ск}$ равным 50‰; в первом приближении определяют по редукционным кривым осадков.

В табл. 2 приведены этапы и результаты расчёта максимальных нарушенных расходов дождевых паводков. При расчёте использовалось допущение, что в формуле (4) значение сборного коэффициента стока φ_0 = 0.9, а коэффициента m_2 = 0.2 ввиду предполагаемой заасфальтированности подстилающей поверхности.

Таблица 2

Расчёт максимальных расходов воды дождевых паводков в условиях нарушенного (фактического) стока при $\varphi_0 = 0.9$ и n = 0.2

Река	**Площадь, км^2**	**L, км**	**Уклон водосбора, ‰**	**Уклон реки, %**	**A**	**Ф**	**q1%**	**Q, м^3/с**
Незнайка	207	32	59.7	1.5	0.77	218.4	0.012	220.0
Ликовка	63.4	21	73.8	1.5	0.87	186.8	0.014	89.0
Сосенка	107	20	55.5	1.5	0.79	159.7	0.017	166.2
Черничка	139	18	20.0	1.5	0.64	142.3	0.015	152.5
Сохна	90	14	40.2	1.5	0.75	118.3	0.023	179.5
Сетунь	182	14	55.6	1.5	0.77	98.8	0.026	416.9
Городня	104	14	92.1	1.5	0.88	109.7	0.026	274.0

Расходы дождевых паводков при естественном и нарушенном режиме стока рек Новой Москвы сведены в табл. 3. Из таблицы видно, что максимальный сток дождевых паводков малых рек существенно возрос. Интервал увеличения расхода дождевых паводков колеблется от 1,1 раза на реках с наименьшим водосбором до 4,7 раза на более крупных реках в категории до 200 км^2.

Таблица 3

Результаты расчёта максимальных расходов воды дождевых паводков при естественном и нарушенном режиме

Река	**Площадь, км^2**	**L, км**	**Q пав. естеств., м^3/с**	**Qmax пав. нарушен., м^3/с**
Незнайка	207	32	81.6	220.0
Ликова (Ликовка)	63.4	21	60.9	89.0
Сосенка	107	20	35.3	166.2
Черничка	139	18	53.2	152.5
Сохна	90	14	164	179.5
Сетунь	182	14	127	416.9
Городня	104	14	80.4	274.0

Таким образом, территория Новой Москвы испытывает значительную ландшафтную и гидрологическую трансформацию вследствие антропогенного вмешательства. В условиях отсутствия гидрологических данных судить об изменениях максимальных расходов малых рек этого региона затруднительно. Используя данные постов-аналогов и формулы расчёта максимальных расходов дождевых паводков, применяемых при недостатке данных, установлено, что экстремальные значения расходов в антропогенно измененных ландшафтах будут превышать естественные для этих рек показатели от 1,1 до 4,7 раза.

Список литературы

1. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Государственный ордена Трудового Красного Знамени, Гидрологический институт. Методические рекомендации по учёту влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчётах для водохозяйственного проектирования. Л.: Гидрометиздат, 1986. 168 с.
2. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Государственный ордена Трудового Красного Знамени, Гидрологический институт. Пособие по определению расчётных гидрологических характерстик. Л.: Гидрометиздат, 1984. 447 с.

Харитонов В.В., Бородкин В.А.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ), г. Санкт-Петербург,
kharitonov@aari.ru

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СТАМУХ

В работе рассмотрены критерии отличия стамух и торосов, сидящих на грунте (так называемых застамушенных торосов), предложено определение для термина «стамуха». Соотношение киля и паруса – основополагающий параметр стамухи. По данным экспедиционных исследований с участием автора для стамух это отношение изменяется в пределах 0,6…1,8 (в среднем 1,1–1,2) для арктического шельфа и 0,4…1,5 (в среднем 0,8–0,9) для Каспийского моря. По краям стамух обязательно присутствуют приливные трещины. Предложена методика комплексных исследований стамух. В ее основе лежит тепловое бурение скважин, в результате которого определяются основные морфометрические характеристики стамухи и ее пористость, а также тепловое резание льда, имеющее своей целью подготовку условий для взятия кернов льда на текстурно-структурный анализ из труднодоступных областей стамухи, в первую очередь из консолидированного слоя.

Введение

За последние два десятка лет и в России, и за рубежом проведены значительные работы по исследованию физических, механических и других свойств льда. Существенно увеличился объем исследований ледового режима водоемов, стали широко применяться численные методы расчетов и прогнозов, основанные на математических моделях ледовых процессов. Активность действий по освоению арктического шельфа предполагает знание о строении ледяного покрова этого региона, и таким образом задача таких исследований актуальна.

Оценивая геометрию торосистых образований, исследователи обычно производят бурение некоторого количества скважин через его поперечное сечение, чтобы получить величины паруса и осадки киля. Иногда ограничиваются непосредственными измерениями паруса, и для измерения профиля киля используют гидролокатор. Типичные измерения, которые могут быть сделаны на торосистом образовании [9]: высота и ширина паруса, глубина и ширина киля, углы ската паруса и киля, толщина консолидированного слоя (КС) и толщина окружающего торос ровного льда. Кроме того, могут быть измерены размеры блоков льда в парусе.

Данная работа предлагает к рассмотрению расширенную методику комплексных исследований стамух.

Дефиниция термина «стамуха»

Быстрый рост исследований привел к возникновению понятийно-терминологических проблем [3]. Нередко как сами ледоисследователи, так и заказчики работ под одними и теми же терминами понимают не одно и то же. Одним из таких терминов является стамуха.

Разные коллективы авторов предлагают различные определения этим ледяным образованиям. Бушуев А.В. и др. [4] дают такое определение: стамуха – это торосистое, сидящее на мели ледяное образование. Согласно Гляциологическому словарю [5] стамуха – это торосистое образование, сидящее на грунте или на мели. Образуется из остатков торосистого берегового припая, из несяков и торосистых льдин, севших на грунт. Стамухи отличаются от остальных торосов большой высотой (до 10 м и более) и крутыми клонами со стороны, куда дрейфует лед. Бородачев В.Е. и др. [3] определяют стамуху как крупное торосистое нагромождение льда, сидящее на грунте на глубине 30 м и более высотой 10 м и более.

Все эти определения в той или иной степени имеют или необоснованные ограничения, или даже неоднозначное толкование.

На рис. 1 и 2 приведены фотографии стамух, а на рис. 3 – профиль бурения стамухи.

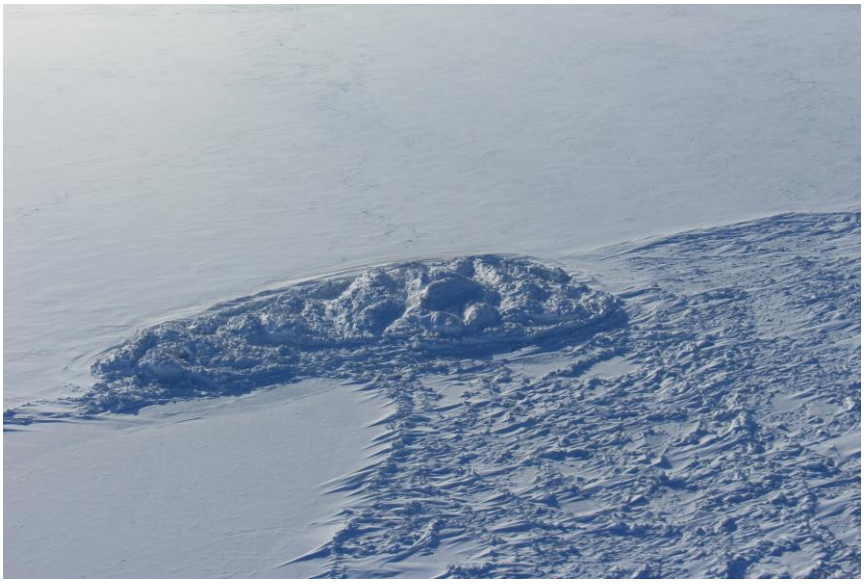


Рис. 1. Стамуха в море Лаптевых. Фото Макарова Е.И. (ААНИИ)

Всемирная Метеорологическая Организация в своем словаре объясняет термин «Grounded hummock» как сидящий на мели, соединенный с землей торос [10]. При переводе на русский язык этот сидящий на мели торос превращается в стамуху, что приводит к путанице. На самом деле этот термин было бы правильнее перевести как «застамушенный торос», который часто используется ледоисследователями для определения такого ледяного

образования. На рис. 4 приведен типичный профиль бурения такого застамушенного тороса. Торос, севший на мель, не перестает быть торосом, так же, как и корабль, севший на мель, не перестает быть кораблем. Поэтому считать стамухой севший на мель торос нет никаких оснований.

Рис. 2. Стамуха в Каспийском море. Фото Тюрякова А.Б. (ААНИИ)

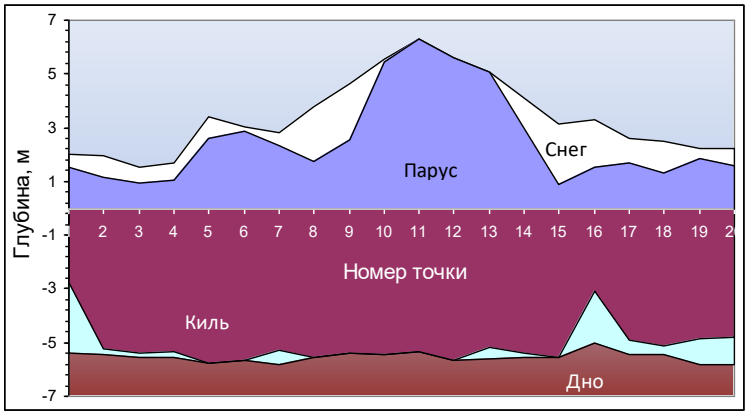


Рис. 3. Профиль бурения стамухи

Застамушенный торос в одной или нескольких точках киля касается дна, заякорив таким образом дрейфующую льдину, на которой он находится. Отличие его от стамухи определяется рядом признаков:

1. Соотношение глубины моря в месте расположения застамушенного тороса и высоты его паруса. У стамух это отношение менее двух.

2. Форма надводной части застамушенного тороса. Торосы обычно представляют собой гряду, стамухи преимущественно овальной формы или бесформенные.

3. Наличие приливных трещин по краям. У застамушенных торосов их может не быть, а у стамух есть всегда.

4. У стамух нередко наблюдаются крупные разломы в парусе.

На взгляд авторов, достаточно корректным будет следующее определение: *стамуха – это ледяное образование, возникшее в результате нагромождения обломков льда на сидящий на грунте торос, частично смороженное, у которого отношение толщин подводной части и надводной не превышает двух, а по краям присутствуют приливные трещины.*

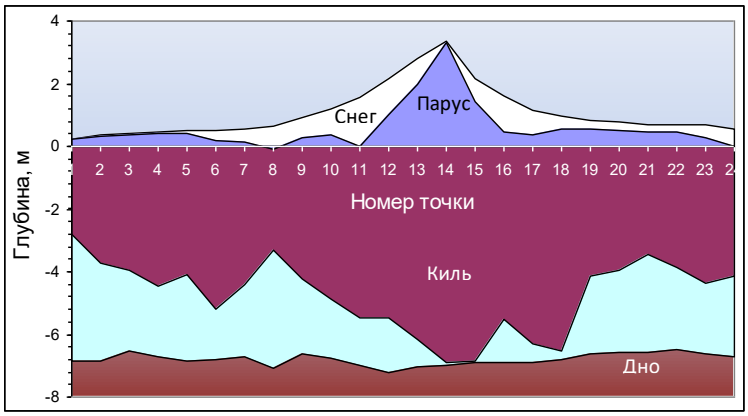


Рис. 4. Профиль бурения застамушенного тороса

Соотношение киля и паруса – основополагающий параметр стамухи. По данным экспедиционных исследований, в которых принимал участие автор данной статьи, для стамух это отношение изменяется в пределах 0,6…1,8 (в среднем 1,1–1,2) для российского арктического шельфа и 0,4…1,5 (в среднем 0,8–0,9) для Каспийского моря. Barker и Croasdale [5] дают это соотношение для Каспия в пределах 0,39…0,95.

Методика исследования стамух не отличается кардинально от методики исследования торосов – также в основе лежит бурение скважин, измерение размеров блоков паруса и керновое бурение для измерения температуры, солености льда и приготовления образцов для экспериментов на прочность. Однако большие размеры стамух и вследствие этого не очень высокая степень консолидации предполагают некоторые отличия в методике исследований.

С 1985 по 1995 г. сотрудниками СахалинНИПИморнефть производились исследования морфологических параметров и внутреннего строения торосов и стамух как объектов воздействия на сооружения, а также глубины внедрения стамух в грунт [1]. Большое значение уделялось выделению КС и определению коэффициента заполнения. Методика проведенных исследований была разработана Бекецким С.П. [2]. Для изучения строения торосов и стамух и определения глубины внедрения стамух в грунт выполнялись визуальное обследование, геодезические работы и термобурение. Тепловое бурение льда производилось с отбором керна. Бурились опорные скважины, количество которых определялось размерами ледяного образования и варьировало от двух до пяти. По результатам бурения опорных скважин намечалась сеть точек бурения сплошным забоем для детализации рельефа дна непосредственно под

стамухой. Бурение выполнялось по взаимно-перпендикулярным профилям, расстояние между точками бурения определялось размерами стамухи и составляло не более 10 м. Профили точек бурения торосов располагались перпендикулярно гряде, а расстояние между точками, как правило, принималось равным пяти метрам. Первая и последняя точки на профиле бурились на ровном льду. После окончания бурения каждой скважины измерялся уровень воды в скважине, а на стамухах выполнялся отбор проб грунта для определения его физико-механических свойств.

Крокер с коллегами [7] при исследовании стамух для измерения парусов применяли лазерный сканер, установленный на треноге, а также водяное бурение по профилям с интервалом 2,5 м и измеритель уровня воды в скважинах. В их статье предложены четыре основных типа формирования стамух: «ramp-up», или «трап вверх», «turn-over», или опрокидывание, «rubbling», или нарастание груды ледяных обломков и «keel-building», или «строительство киля». Не смотря на интерес к этой теме, обсуждение этих вопросов выходит за рамки данной работы.

Методика исследования стамух

Во время ледоисследовательских работ на стамухах термобурение, исследование физико-механических свойств льда, геодезическая съемка верхней поверхности льда и подводные съемки с помощью телевизионного подводного аппарата (ТПА) и гидролокатор применяются бессистемно, в зависимости от внешних факторов. В результате продолжительных исследований были выявлены некоторые аспекты, указывающие на необходимость систематизировать методику комплексных исследований стамух. Согласно полученному опыту, она представляется следующей.

Самым первым действием, которое выполняется на стамухе, покрытой ненарушенным снежным покровом, является ее фотографическая съемка.

Затем выполняется разметка основного секущего профиля, проложенного через максимальную точку паруса. Рекомендуется также привязать профиль к сторонам света, определить координаты ключевых точек, сделать описание состояния поверхности ледяного и снежного покрова, выделив внешнюю форму стамухи (например, отдельная или в массиве и т.д.), направление и величину застругов на ровных участках льда.

Следующий этап в исследованиях – применение неразрушающих методов, а именно: гидролокатора и геодезической съемки. Практически одновременно с ними можно проводить исследование ровного льда в окрестностях стамухи с помощью электромагнитного измерителя EM31 Ice. По результатам исследования возможна коррекция расположения секущего профиля, его удлинение или укорочение.

Далее начинается термобурение вдоль основного профиля. В самом начале производится бурение нескольких скважин в ключевых точках профиля.

Затем в эти точки устанавливаются светодиодные маркеры для облегчения ориентации ТПА подо льдом. После этого производится обследование подводной части стамухи с помощью ТПА.

Одновременно с работой ТПА в характерных точках профиля организуются ледовые станции с выбуриванием кернов для определения температуры, солености, плотности, структуры и текстуры льда. Для получения информации о процессах формирования льда в районе торошения одна ледовая станция выполняется на ровном льду за пределами склона стамухи. В выбранных точках проводятся эксперименты по определению локальной прочности льда с помощью зонд-индентора.

Следующая стадия исследования стамухи – продолжение термобуровых работ. Для уверенного фиксирования границы льда и грунта (особенно в случае лёссовых грунтов) для бурения рекомендуется применять термобуры с регистрацией температуры талой воды, т.к. этот параметр резко изменяет свое значение при переходе термобура изо льда в грунт [8]. Во время термобурения по мере продвижения бурового поста вдоль профиля бурения может возникнуть необходимость провести эксперименты по определению локальной прочности льда или других физических параметров в дополнительных точках, если картина распределения льда вдоль скважины покажется интересной и заслуживающей более тщательного изучения данного участка стамухи. Рекомендованный интервал между скважинами – не более двух метров.

В центральной части овальной стамухи, например, такого типа, что представлена на рис. 1, с помощью водяного ледореза готовится ровная площадка для размещения на ней установки для кернового бурения льда. В идеальном случае установка размещается на верхней поверхности КС, если этому позволяют условия безопасности работ. Затем производится отбор керна из КС на структурные и текстурные исследования. По возможности в этом месте производятся эксперименты по определению локальной прочности КС стамухи с помощью зонд-индентора.

Также с помощью ледореза в наиболее интересном месте паруса с точки зрения генезиса стамухи производится разрез с удалением отделенных блоков. Этот разрез должен находиться на краевой части паруса для безопасного выполнения работ. После удаления отрезанной части паруса производится фотографирование стенки разреза для последующего уточнения пористости паруса.

Относительно основного профиля термобурения прокладываются дополнительные параллельные профили для получения регулярной сетки. Производится бурение скважин вдоль этих профилей.

Одновременно с термобуровыми работами производится измерение размеров блоков льда, слагающего парус стамухи. По возможности, с помощью ТПА попытаться выполнить оценку размеров блоков в киле стамухи. Необходимо также выполнить серию промеров дна в окрестностях стамухи.

Предложенная методика исследования стамух ограничивается ледоисследовательскими работами. Несомненно, требуется проведение океанографических работ, а также отбор проб грунта. Также необходимо получить данные о метеорологических условиях района работ в предшествующий период, начиная с момента ледообразования.

Заключение

Исследования стамух на арктическом шельфе показывают тенденцию к расширению, и это призывает к новым, современным подходам к выполнению таких работ на качественно новом уровне. Статистический подход, когда в условиях ограниченного времени исследуется максимально возможное количество стамух, в некоторых случаях, особенно если стоит именно такая задача, оправдан.

Предложенная методика позволяет за счет уменьшения количества исследованных стамух получить большее количество качественной информации об их внутреннем строении. Особенно важен анализ льда кернов, позволяющий нарисовать гипотетическую картину процесса формирования стамухи, а значит и косвенно оценить ее прочностные свойства как объекта в целом.

Список литературы

1. Астафьев В.Н., Сурков Г.А., Трусков П.А. Торосы и стамухи Охотского моря. Санкт-Петербург: Пресс-Погода, 1997. 208 с.
2. Бекецкий С.П. Морфологические и прочностные параметры торосистых образований Охотского моря: дисс. … канд. геогр. наук. Оха, СахалинНИПИморнефть, 1996. 190 с. (фонды ААНИИ, №Р-4989).
3. Бородачев В.Е., Гаврило В.П., Казанский М.М. Словарь морских ледовых терминов. СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. 128 с.
4. Бушуев А.В., Волков Н.А., Лощилов В.С. Атлас ледовых образований. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 140 с.
5. Гляциологический словарь / под ред. чл.-корр. АН СССР В.М. Котлякова. Л.: Гидрометеоиздат, 1984, 527 с.
6. Barker A., Croasdale K. Numerical modeling of ice interaction with rubble mound berms in the Caspian Sea // Proc. of the 17th Int. Symp. on Ice. Saint Petersburg, Russia, 21–25 June, 2004. P. 257–264.
7. Crocker G., Ritch A., Nilsen R. Some Observations of Ice Features in the North Caspian Sea // Proc. of the 21st Int. Conf. on POAC'11, July 10–14, 2011. Montréal, Canada.
8. Kharitonov V.V., Morev V.A.. Computer recording of hot water drilling of ice ridges and stamukhas // Proc. of the 20th Int. Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), June 9–12, 2009, Luleå, Sweden.

9. Sudom D., Timco G. Knowledge gaps in sea ice ridge properties // Proc. of the 22nd Int. Conf. on POAC, 2013, June 9–13.
10. WMO Sea Ice Nomenclature: Terminology, codes and illustrated glossary. Word Meteorological Organization. WMO No. 259. 1970–2017.

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ»

Стрелецкая И.Д.[1], Васильев А.А.[2,3], Облогов Г.Е.[2,3]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, г. Москва, irinastrelets@gmail.com
[2]ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень
[3]Тюменский государственный университет, г. Тюмень

НОВООБРАЗОВАНИЕ МЕРЗЛОТЫ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НИЗКИХ АККУМУЛЯТИВНЫХ ЛАЙД КАРСКОГО МОРЯ

Одной из наиболее актуальных проблем в инженерных изысканиях в криолитозоне является необходимость учета текущих и прогнозируемых изменений климата, как на стадии изысканий, так и при проектировании. В связи с этим активно разрабатываются модели и делаются оценки изменения криолитозоны, включая пространственное распространение, температурный режим и т.п [1, 5, 6 и др.]. Обращает на себя внимание, что подавляющее число работ направлено на исследование процессов деградации многолетнемерзлых пород (ММП). В тоже время одновременно с деградацией криолитозоны в континентальных условиях наблюдаются процессы ее новообразования в современных аккумулятивных отложениях арктических морей даже в цикле потепления климата.

Морские лайды – современные низкие аккумулятивные образования, сравнительно широко распространены на побережье Карского моря. К ним могут быть отнесены системы низких островов и кос Марре-Сальских и Шараповых кошек, мыс Скуратова, восточная часть о. Белого и другие морские аккумулятивные образования. Помимо морских аккумулятивных форм также широко развиты аккумулятивные аллювиально-морские низменности в устьях рек.

Исследование термического режима ММП в годичном цикле в мелководной части дельты р. Маккензи (Канада) было выполнено С. Соломоном (S.M. Solomon) [4] в 2005–2006 гг. Среднегодовая температура верхних горизонтов пород составляла –2,4 ÷ –3,7°С. Следует подчеркнуть, что выявленные новообразования мерзлоты появились в пресноводных условиях дельты крупной реки, где температура фазовых переходов близка к 0°С. Тем не менее, методика измерений и обработки данных представляют интерес при постановке аналогичных наблюдений в морских отложениях. Температуры и мощности промерзающих современных морских отложений в районе Шараповых и Марре-Сальских кошек на Западном Ямале были определены по результатам зимнего бурения Н.Ф. Григорьевым [2]. При мощности мерзлоты от 5 до 10 м зафиксированы относительно низкие (до –5°С) температуры.

Выявлено чередование твердомерзлых и пластично мерзлых прослоев в разрезе.

Скважина (69°36′ с.ш.; 66°49′ в.д.) пробурена нами в 2007 г/ примерно в 12 км к югу от метеостанции Марре-Сале на поверхности морской лайды, в области морской аккумуляции, до глубины 3,0 м и обсажена металлической трубой диаметром 76 мм. Высота устья скважины над уровнем моря составляет 0,25 м. В приливы, шторма и при нагонах, поверхность лайды покрывается водой. Наблюдения за температурой с помощью автономных логгеров HOBO Water Temp Pro v2 выполнялись на глубинах 0,03; 0,6; 1,1; 1,6; 2,0; 2,5 и 3,0 м. Измерения проводились четыре раза в сутки.

Помимо наблюдений на морской лайде в районе Марре-Сале проводился мониторинг температурного режима многолетнемерзлых пород в шести наблюдательных скважинах глубиной 10 м, расположенных на поверхности третьей морской террасы.

При бурении скважины на лайде отбирались образцы на влажность пород, изучение гранулометрического состава, содержания и состава солей и общее содержание органического углерода.

Геологический разрез голоценовых морских отложений с поверхности до глубины 1,0 м представлен переслаиванием мелкозернистого песка и супеси с прослоем аллохтонного торфа. С глубины 1,0 м залегают не полностью консолидированные суглинистые отложения с включением органического детрита. С глубиной консолидация пород повышается.

С глубины 0,25м отложения полностью водонасыщены. Влажность (льдистость) пород изменяется в пределах 30–45%. Породы засолены, содержание воднорастворимых солей в поверхностных песках составляет 0,5–1,1%, в суглинках – 0,9 ÷ 1,5%. Температура начала замерзания суглинков с таким содержанием солей изменяется от –1,1 до –3,8°С.

В мерзлотном отношении разрез ниже слоя сезонного протаивания представлен чередованием твердомерзлых горизонтов мощностью 0,02–0,2 м., содержащих тонкие линзы и отдельные кристаллы льда, и отрицательно температурных пластично - мерзлых слоев мощностью 0,2–0,5 м. без видимых ледяных включений. Такие особенности физического состояния пород при новообразовании мерзлоты в районе Марре-Сале ранее установлены Н.Ф. Григорьевым [2]. Глубина сезонного оттаивания составляет 1,5–1,8 м.

Детальные многолетние наблюдения за температурой верхнего горизонта отложений лайды дают возможность определить основные особенности температурного режима. Распределение температуры по глубине на начало каждого месяца позволяет заключить, что глубина нулевых годовых амплитуд температуры промерзающих отложений составляет около 3,0–4,0 м (рис. 1).

Среднегодовая температура мерзлых на глубине 3,5 м составляет от –2,0 до –3,9°С, что примерно на 1,5°С выше, чем в скважинах на поверхности третьей морской террасы. Малая мощность слоя нулевых годовых амплитуд объясняется затратами тепла на фазовые переходы в толще промерзающих

пород. По данным Н.Ф. Григорьева [2], на лайде о. Болотный, расположенном в нескольких км от скважины SB 03, среднегодовая температура составляла около –4,0°С. Глубина слоя нулевых годовых амплитуд достигает 4–5 м. При этом мощность ММП составляет 5–10 м. Таким образом, на морских лайдах происходит новообразование сравнительно низкотемпературной мерзлоты со среднегодовой температурой около –4,0°С.

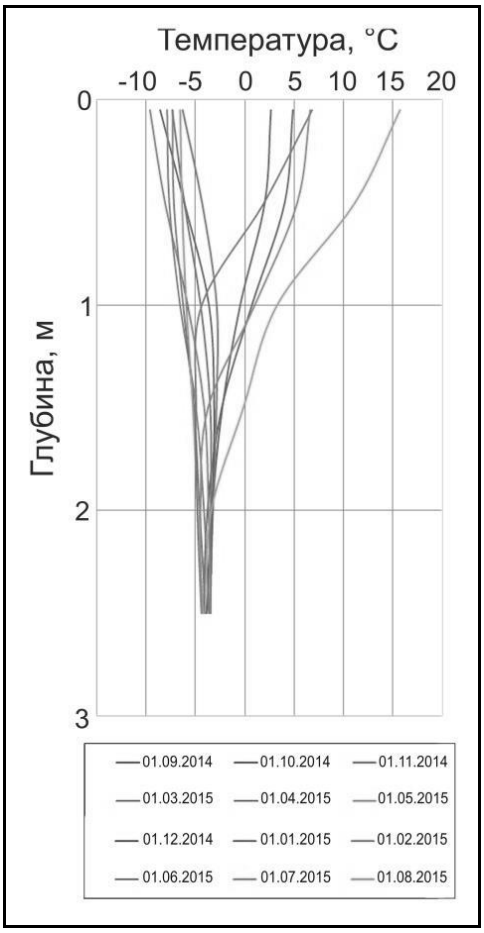


Рис. 1. Распределение температуры пород по глубине верхнего горизонта отложений лайды

На основании данных многолетних наблюдений можно рассчитать среднегодовые температуры на каждой глубине и определить градиенты среднегодовых температур ММП в верхнем горизонте (рис. 2).

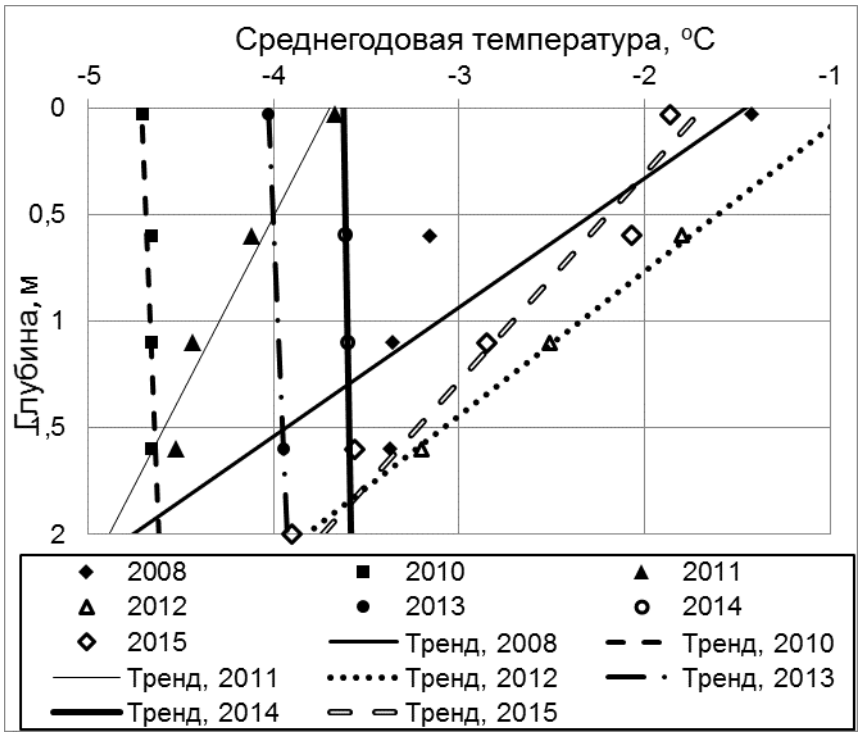


Рис. 2. Распределение среднегодовых температур в верхних горизонтах промерзающих отложений лайды

Для расчета градиентов температуры в качестве первого приближения использована линейная интерпретация. Как следует из рисунка, в разные годы градиенты среднегодовых температур различаются. Максимальный градиент отмечался в 2012 г. и достигал 1,7°С/м. Минимальные градиенты среднегодовой температуры характерны для 2010, 2013 и 2014 гг. В эти годы они имеют отрицательные значения в доли градуса или близки к нулю.

Подобное распределение среднегодовой температуры по глубине в промерзающей толще позволяет сделать вывод о том, что в целом температурный режим при новообразовании многолетнемерзлых пород соответствует климатической норме – многолетняя среднегодовая температура воздуха составляет –7,7°С. При превышении этой нормы наблюдается отепление мерзлоты, а при ее понижении – охлаждение мерзлой толщи.

Тепловой поток, расходуемый на прогрев верхнего горизонта мерзлой толщи, в максимально теплые годы в 150 раз превышает величину теплового потока снизу, который в мелководной части Карского моря составляет 0,045–0,058 Вт/м^2 [3].

Сравнение величин тепловых потоков с аномалиями среднегодовой температуры воздуха, рассчитанной как разница между среднегодовыми температурами за текущий год и климатической нормой, показывает их высокую корреляцию (рис. 3). Проведенные наблюдения позволяют оценить тепловые потоки в мерзлый грунт в области новообразования многолетнемерзлых пород в зависимости от прогнозных расчетов аномалий

температуры воздуха и упростить расчеты термического состояния промерзающих толщ.

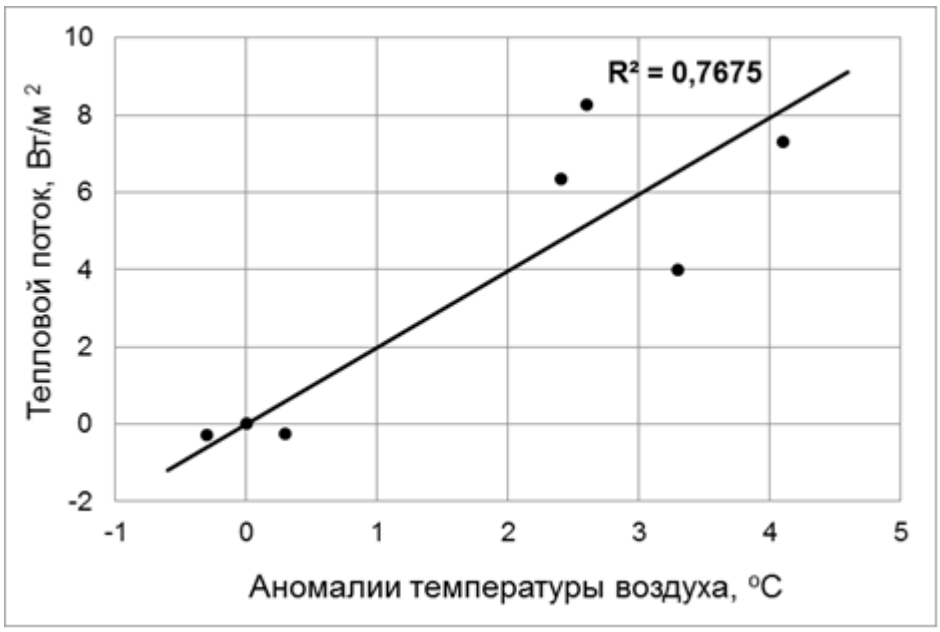


Рис. 3. Корреляция между тепловыми потоками в грунт и аномалиями среднегодовой температуры воздуха

Таким образом, выполненные исследования позволили оценить основные особенности инженерно-геокриологических условий низких промерзающих морских лайд Карского моря:

– на низких морских лайдах происходит современное новообразование «холодной мерзлоты»;

– глубина слоя нулевых годовых амплитуд не превышает 3–4 м;

– среднегодовая температура промерзающих отложений меняется год от года в пределах –2 ÷ –4°С;

– мощность многолетнемерзлых пород составляет 5–10 м;

– по физическому состоянию промерзающая толща представлена чередованием твердомерзлых и пластичномерзлых горизонтов;

– отложения засолены, содержание солей составляет 0,2–1,3%.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №16-17-102. Данные по физическим свойствам отложений получены в рамках проекта РФФИ № 16-05-00612 А.

Список литературы

1. Васильев А.А., Дроздов Д.С., Москаленко Н.Г. Динамика температуры многолетнемерзлых пород Западной Сибири в связи с изменением климата // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 2. С. 10–18.

2. Григорьев Н.Ф. Криолитозона прибрежной части Западного Ямала. Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 1987. 172 с.
3. Мельников В.П., Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск: Наука, 1995. 198 с.
4. Solomon S.M., Taylor A.E., Stevens Ch.W. Nearshore ground temperatures, seasonal ice bonding, and permafrost formation within the bottom-fast ice zone, Mackenzie Delta, NWT // Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost. University of Alaska Fairbanks, June 29 – July 3, 2008. Fairbanks: Institute of Northern Engineering, University of Alaska, 2008. Vol. 2. P. 1675–1680.
5. Streletskiy D., Anisimov O., Vasiliev A. Permafrost Degradation // Snow and Ice-Related Hazards, Risks and Disasters. NY: Elsevier, 2014. P. 303–343.
6. Thermal state of permafrost in Russia / V. Romanovsky, D. Drozdov, N. Oberman, G. Malkova, A. Kholodov, S. Marchenko, N. Moskalenko, D. Sergeev, N. Ukraintseva, A. Abramov, D. Gilichinsky, A. Vasiliev // Permafrost and Periglacial Processes. Special Issue: The International Polar Year. 2011. Vol. 21(2). P. 136–155.

Гребенец В.И.[1], Остроумова Е.А.[2], Андрющенко Ф.Д.[3], Толманов В.А.[1], Керимов А.Г-о.[4]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, г. Москва, vgreb@inbox.ru
[2]ООО «ИГИИС», г. Москва
[3]ООО «ЯкутИзыскания», г. Москва
[4]ООО «НПО «Фундамент», г. Норильск

ИЗМЕНЕНИЕ МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА И КЛИМАТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Введение

В последние десятилетия нарастают риски и ущербы, связанные деформациями зданий и сооружений в криолитозоне. Ухудшение мерзлотно-экологической обстановки, снижение инженерно-геокриологической безопасности обусловлено техногенными влияниями на вечномерзлые основания и с климатическими изменениями. В таких городах криолитозоны России как Воркута, Игарка, Диксон деформировано более 60% объектов, в Якутске – около 40%, в Норильске, Талнахе, Мирном – 35%, фактически 100% – в старых национальных поселениях; в неудовлетворительном состоянии находится более 80% земляных плотин с мерзлым противофильтрационным ядром.

Результаты и обсуждения

На урбанизированных территориях активизируются опасные криогенные процессы. Например, при увеличении глубины сезонно-талого слоя усиливается морозное пучение опор трубопроводов: только на территории Ямбургского газоконденсатного месторождения ежегодно вследствие негативного воздействия криогенного пучения подвергаются срезке или полной замене 3–5 тыс. штук опор газопроводов. На участках прокладки подземных трубопроводов развиваются зоны оттаивания, зачастую сопровождающиеся чрезмерными просадками грунтов. Интенсивность негативных проявлений, во-многом, определяется региональными геокриологическими особенностями, особенностями техногенной нагрузки и климатическими трендами, причем тенденции к потеплению климата (следовательно, к повышению температуры мерзлоты и ее протаиванию) наиболее отчетливо выражены в Арктике.

На застроенных территориях усиливается мозаичность тепловых воздействий: холодные основания (под зданиями с проветриваемыми подпольями или на участках применения термосвай) соседствуют с теплыми незастроенными пространствами, покрытыми техногенными (главным образом, песчаными) подсыпками, аккомулирующими тепло, с подземными

коллекторами для коммуникаций, создающими вокруг себя зоны протаивания грунтов, с участками постоянного складирования снега и т.п. [2]. Следует отметить, что города создают особый микроклимат, отличающийся повышением температуры наружного воздуха. Таким образом, города – это мощные техногенные (прежде всего, тепловые) прессы, наложенные на вечную мерзлоту; в совокупности с климатическими изменениями (повышение температуры наружного воздуха, рост количества осадков) эти влияния способствуют деградации.

Терморежим грунтов вечномерзлых оснований на урбанизированных территориях формируется за счет 4-х основных систем: 1) техногенный тип воздействия; 2) экстенсивный фактор (площадь контакта техногенного элемента с вечномерзлым основанием); 3) интенсивность этого контакта (тепловыделение в мерзлоту); 4) длительность воздействия [1].

Существенным моментом является влияние региональных климатических изменений на терморежим оснований. Для ряда населённых пунктов криолитозоны России (рис. 1) было проведено численное моделирование тепловых полей, формирующихся в основании сооружений; также (по разным источникам была осуществлена оценка степени деформированности объектов. Расчеты были выполнены в программе «Тепло» и «Q-Frost».

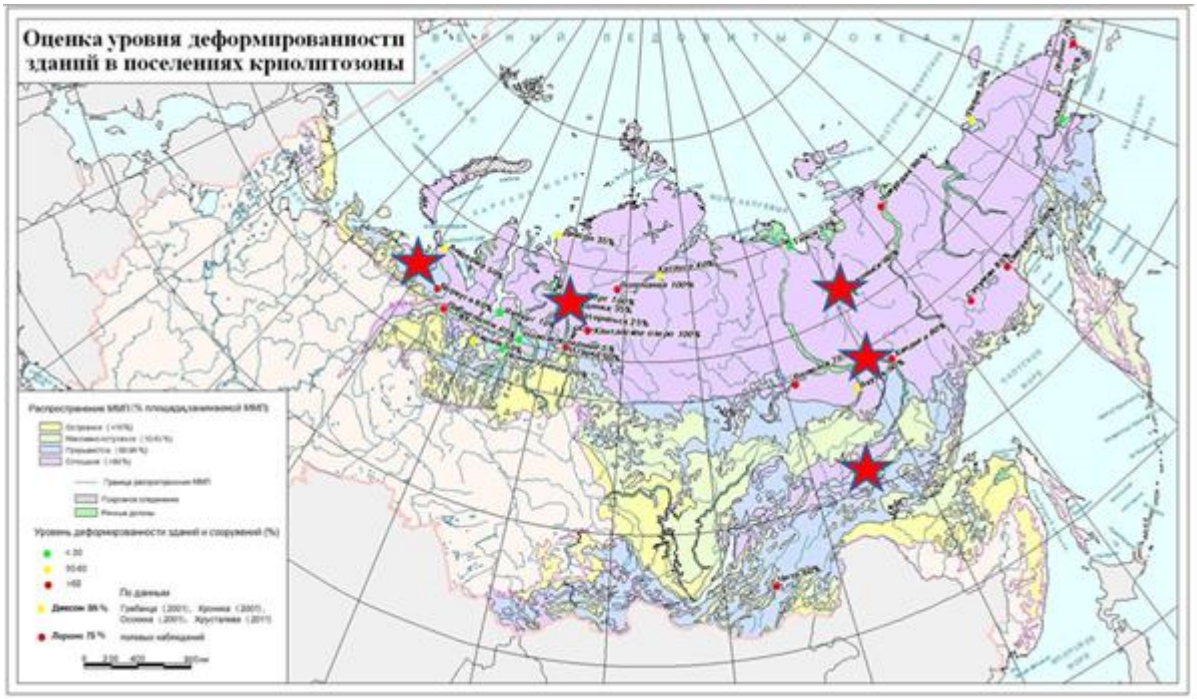


Рис. 1. Оценка степени деформированности объектов в криолитозоне России (звездочками отмечены пункты, для которых проводилось численное моделирование)

Для анализа было выбрано стандартное здание с холодным проветриваемым подпольем, имеющее одинаковые параметры (рис. 2).

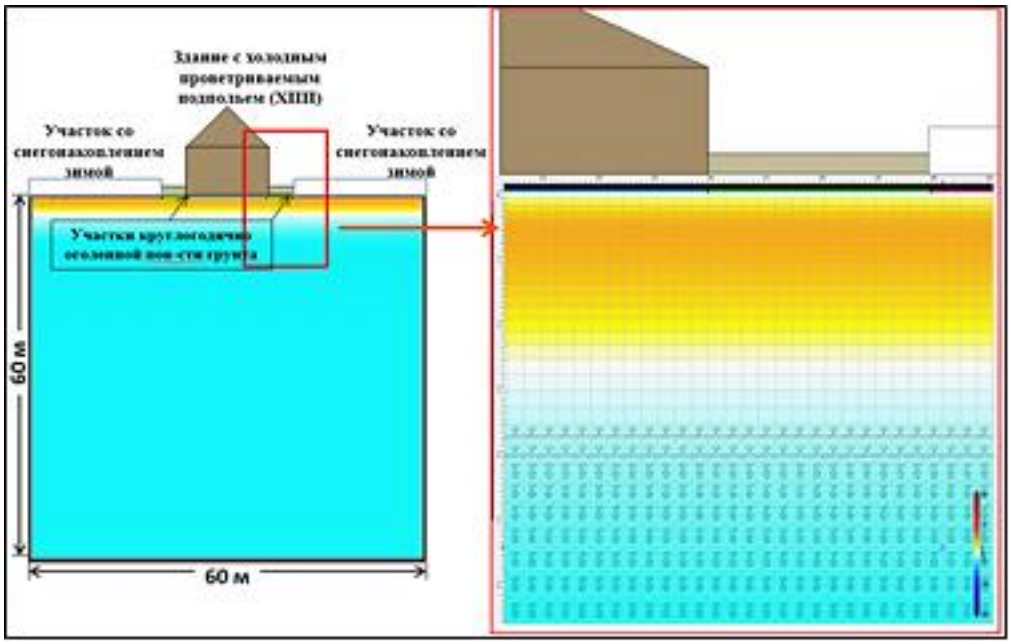


Рис.2. Задание условий теплообмена и постановка начальных условий

Для каждого из населенных пунктов задавались свои климатические (в т.ч. с учетом трендов изменений) и инженерно-геокриологические параметры.

Результаты численного моделирования изменения терморежима через 50 лет (при сохранении существующих тенденций изменения климата) оснований приведены на рис. 3.

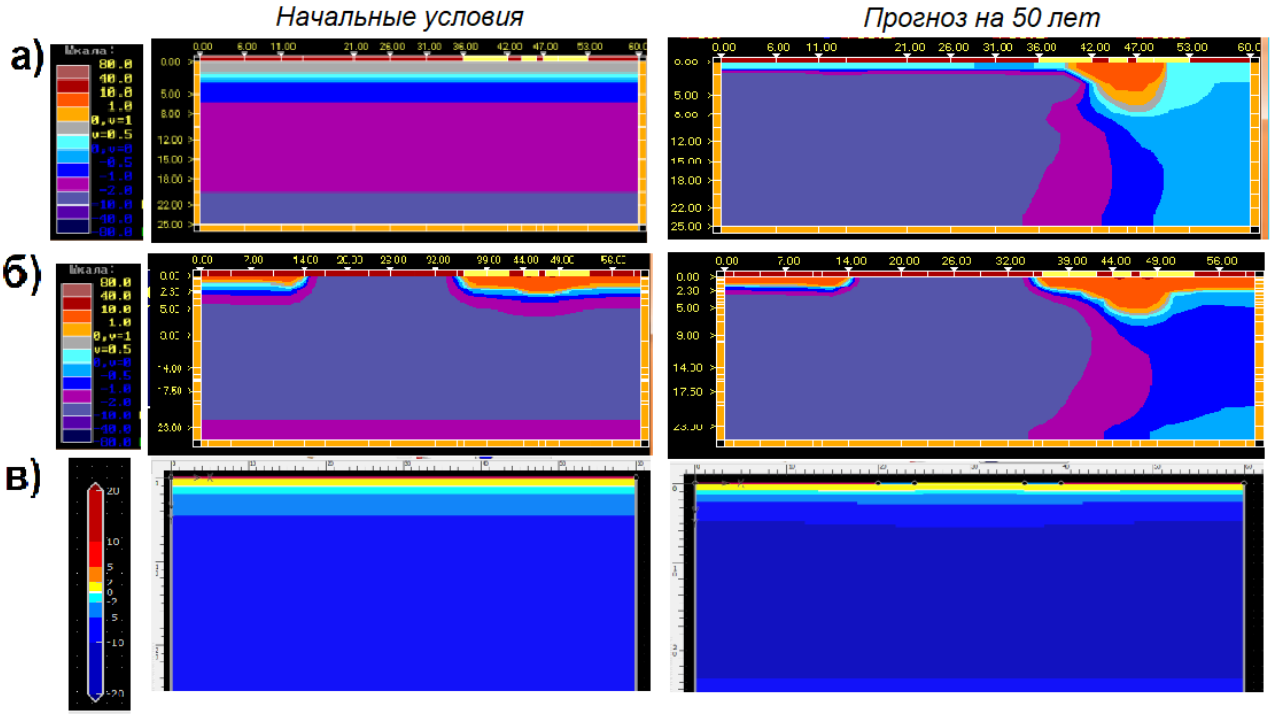


Рис. 3. Прогноз изменения теплового состояния вечномерзлых оснований в городах криолитозоны при сохранении трендов изменения климата: а – Воркута, б – Норильск, в –Верхоянск

Как видно из рис. 3, за счёт трендов к повышению температуры наружного воздуха и увеличения снежности в исследуемых регионах возможно заметное отепление на территориях, примыкающих к сооружениям с холодными проветриваемыми подпольями (ХПП), в целом, система становится менее устойчивой, при даже незначительных нарушениях в эксплуатации геотехнических систем снижается надёжность объектов.

Интересные результаты получены для регионов с резко континентальным климатом: ХПП – за счет «срезки» в ХПП самых низких отрицательных значений температуры наружного воздуха (минус 50 – 60°С) – в длительной перспективе ХПП может оказывать, в целом, отепляющее влияние на вечномерзлые грунты оснований.

В городах мерзлые грунты оснований испытывают различные воздействия:

– *механические*: разработка грунтов для фундаментов, устройство карьеров и выемок, прокладка шахт и штолен проводят к изменению прочностных свойств и сплошности мерзлых грунтов; сооружение отвалов, хвостохранилищ и техногенных подсыпок способствуют новообразованию мерзлых пород или их деградации;

– *техногенное засоление и подтопление*: для грунтовой влаги в сезонно-талом слое городов зачастую характерно химическое (техногенное как в Норильске или антропогенное как в Якутске и т.п.) загрязнение, агрессивное по отношению к бетону фундаментов. Засоление понижает температуру начала замерзания грунтов, способствует увеличению глубины СТС, протаиванию сильнольдистых горизонтов и развитию термокарста;

– *изменение условий теплообмена через поверхность*: практически все селитебные и помышленные зоны крупных городов лишены растительного покрова и зафальтированы. Асфальт способствует увеличению потока тепла в грунт за счет летнего нагревания и выхолаживанию в зимнее при уборке снега. Наблюдения показали, что на участках постоянного снегоскладирования температура мерзлых пород на 2–3°С выше, чем под постоянно убираемыми от снега дорогами. Устройство проветриваемых подполий способствует понижению температуры грунтов за счет затенения и отсутствие снега зимой. Техногенные подсыпки, без горизонтальных противофильтрационных экранов, в целом, негативно влияют на мерзлоту. Перекрывая мохово-растительный покров, они ликвидируют его теплоизолирующую роль, что способствует увеличению теплопотока в грунты. Кроме того, значительные коэффициенты фильтрации материала подсыпки (иногда – до 10–50 м/сут) обеспечивают проникновение через подсыпку поверхностных вод;

– *тепловое*: дополнительное поступление тепла в грунт (тепловыделения промышленных предприятий, жилых зданий и коммуникаций, сброс воды от производств и при прорыве труб, отсутствие ливневой канализации и др.) приводит к их деградации мерзлоты. Особую роль в городах играют подземные коллектора для коммуникаций, которые взаимосвязаны и представляют собой

мощную решетчатую техногенную систему, заглубленную на 4–6 м в грунт. Натурные наблюдения показывают, что внутри существующих коллекторов в течение года фиксируется положительная среднегодовая температура, формируются ореолы оттаивания. Зимой в коллекторах нередко образуются наледи, а летом происходит сток талых и сточных вод [3].

На рис. 4 и 5 показано, как изменились (по сравнению с 1940-м г., до застройки) температурные поля в пределах селитебной части г. Норильска – крупнейшего города криолитозоны.

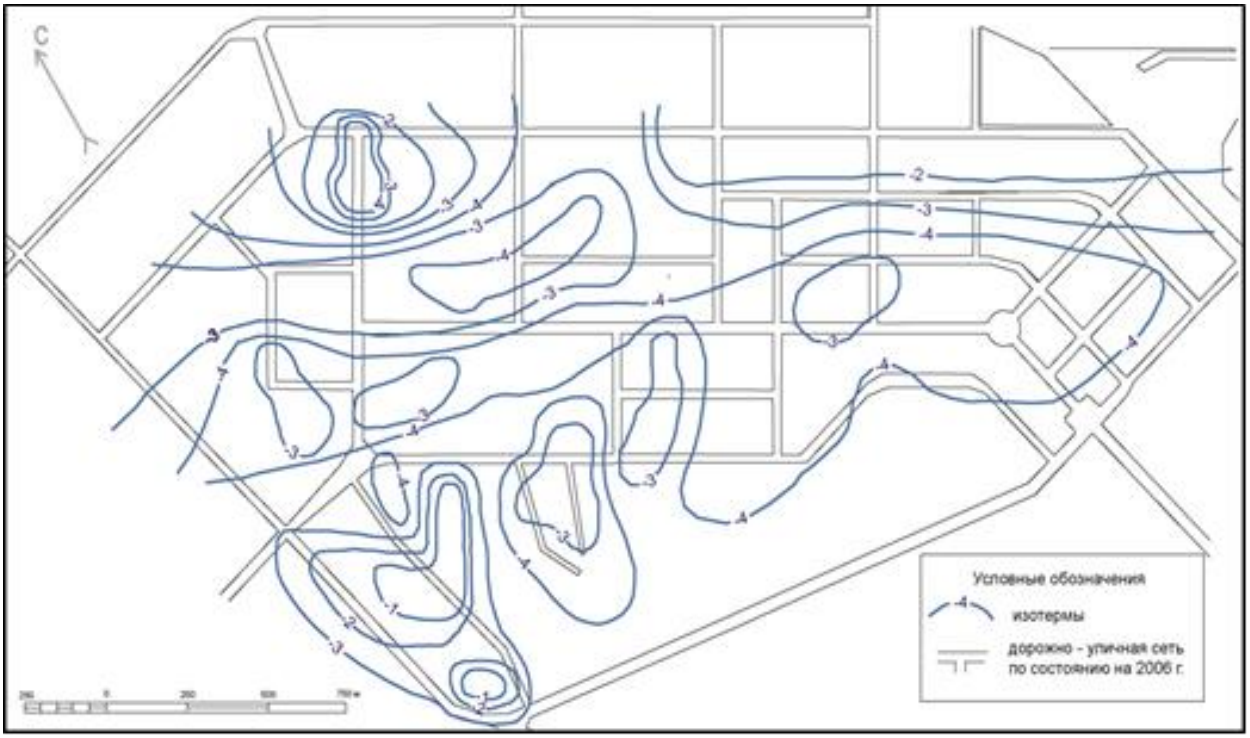


Рис. 4. Карта-схема среднегодовой температуры мерзлых пород на территории г. Норильска, 1940 г. (по данным изысканий Мерзлотной станции Норильского горно-металлургического комбината)

Следует отметить, что изменений терморежима грунтов, рост глубин сезонного оттаивания, формирование отдельных таликов, в целом, активизировало опасные криогенные процессы на территории застройки, рис. 6; здания подвергаются деформациям, рис. 7, 8.

В большинстве случаев при эксплуатации объектов в крупных городах криолитозоны прослеживается тенденция к деградации мерзлоты, реже – к ее укреплению, примеры приведены на рис. 9.

Безусловно, что эти изменения связаны с условиями застройки и эксплуатации объектов, а также с микроклиматом городов и региональными климатическими изменениями. Вклад «техногенеза» и «климата» был оценен сравнительным анализом натурных измерений в разные годы и возможным воздействием потепления климата (численное моделирование), результаты приведены на рис. 10 и в таблице. Если бы не было нарушений в эксплуатации

ХПП и других негативных воздействий, то за счет климатического потепления температура грунтов за 30 лет повысилась бы незначительно, в реальности это повышение весьма значительно.

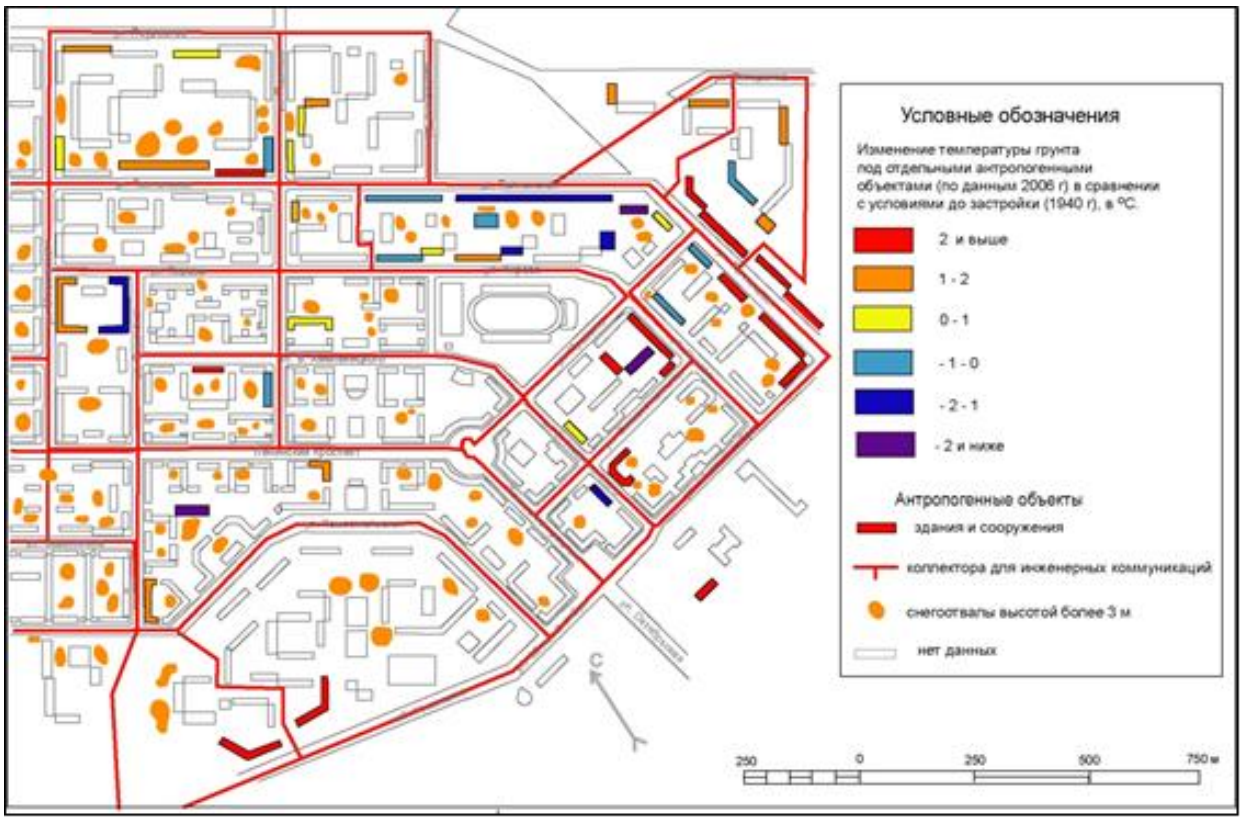


Рис. 5. Изменение температуры грунтов на глубине 10 м в восточной части г. Норильска по состоянию на 2006 г. в сравнении с 1940 г. (по данным замеров УНСОФ и НПО «Фундамент»)

Рис. 6. Карта-схема опасных криогенных процессов, селитебная часть г. Норильска, 2006 г.

Рис. 7. Ростверки снесённых 9-ти этажных жилых домов, г. Норильск, 2017 г.
Фото В. Гребенца

Рис. 8. Осадки и просадки грунтов на территории г. Норильска, 2017 г.
Фото А. Керимова

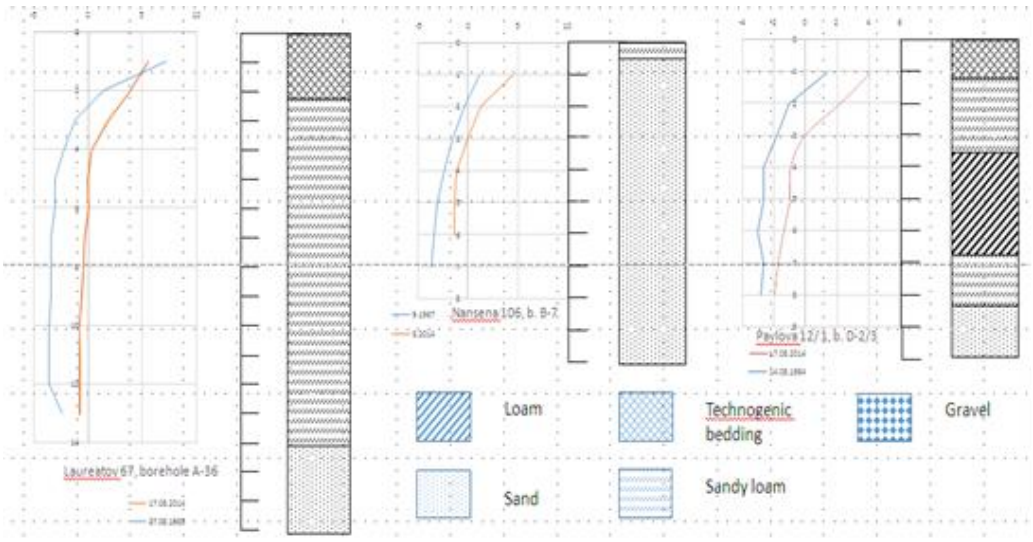


Рис. 9. Изменение температуры грунтов в различных мерзлотно-литологических условиях, г. Норильск

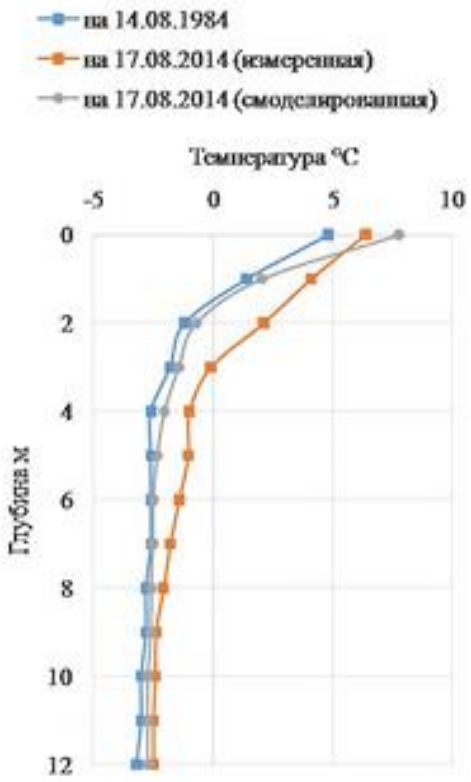


Рис. 10. Температура грунтов в основании жилого дома в г. Норильске: изменение за 30 лет

Таблица 1

Оценка изменения несущей способности (НС) вмороженных фундаментов при изменении температуры оснований и увеличении глубины СТС (сокращение зоны смерзания с грунтами)

Объект	Снижение относительно изначальной величины НС %		Вклад в снижение %	
	Изменения климата	Нарушения в эксплуатации	Изменения климата	Нарушения в эксплуатации
Павлова 12-1	8	17	32	68

Выводы

Анализ десятков тепловых полей, сформировавшихся в различных мерзлотно-грунтовых условиях на урбанизированных территориях, показал, что для почти 70% случаев характерны деградационные тенденции, для 20% – аградация мерзлоты, для 10 % – сохранение тех мерзлотных условий, которые были до строительства объекта. На урбанизированных территориях криолитозоны отмечены многочисленные деформации крупных зданий,

газопроводов, водоводов, промобъектов, малонагруженных сооружений подсобного назначения и др. Характер и интенсивность деформаций, в целом, зависят: а) от сложности инженерно-геокриологического режима; б) от несовершенных приемов инженерной подготовки территории к застройке; в) от типа и технологии устройства фундаментов; г) от степени отклонения от проектных режимов эксплуатации; д) от воздействий на основания объекта соседних элементов урбанизированной среды; е) от длительности техногенного воздействия на вечномерзлые основания; ж) от климатических изменений.

Изменения под влиянием потепления климата глубины и температуры сезонно-талого слоя, режима летних осадков и других природных параметров, а также усиление техногенеза требуют новой стратегии в освоении криолитозоны.

Список литературы

1. Гребенец В.И. Негативные последствия деградации мерзлоты // Вестник МГУ. 2005. № 3. С. 18–21.
2. Гребенец В.И., Ухова Ю.А. Снижение геотехнической надежности при ухудшении мерзлотных условий оснований // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2008. № 5. С. 24–29.
3. Dynamics of permafrost conditions in the largest cities of Russian Arctic under climate change and technogenic impacts / V.I. Grebenets, A.D. Andryuscenko, E.A. Ostroumova, A.G. Kerimov, D.A. Streletskiy, G.T. Bjornsson // International Geographical Union (IGU) Regional Conference, Moscow, 17–21 August 2015.

Юров Ф.Д., Гребенец В.И.

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии,
г. Москва, vgreb@inbox.ru, JochenGeistS@gmail.com

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВАНКОРСКОМ И ЗАПОЛЯРНОМ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

В настоящее время проблема деградации вечномерзлых пород является весьма актуальной, в том числе в контексте глобального потепления. Во всем мире идут споры на тему современных трендов климата, явно говорящих о повышении температур, особенно заметных в приполярных областях, где и сосредоточена «львиная доля» вечной мерзлоты. В нашей стране эти вопросы имеют не только теоретический и научный характер, но и прикладной. В криолитозоне располагаются крупные города, где развито многоэтажное строительство. Кроме того, к регионам с вечной мерзлотой приурочена значительная часть месторождений полезных ископаемых: металлов, каменного угля, углеводородов, как разрабатываемых, так и перспективных. В этих случаях на мерзлотные условия оказывают влияние не только тренды климата, но и техногенное воздействие. Именно в северных городах и на нефтяных и газовых месторождениях проблема не только деградации, но и иных изменений в грунтах стоит особенно остро: от свойств вечномерзлых пород и мощности сезонно-талого слоя (СТС) напрямую зависит несущая способность оснований зданий и сооружений, как проектируемых, так и уже построенных, но рассчитанных на совсем другие условия.

Для выявления влияния изменений климата и нагрузок антропогенного характера на вечномерзлые грунты и их свойства были выбраны две площадки: Ванкорское и Заполярное нефтегазовые месторождения. Основная цель: оценить изменения в температурном поле вечномерзлых грунтов и их физико-механических свойствах на выбранных площадках с момента начала работ по освоению и разработке месторождений до настоящего времени (то есть за последние 10–15 лет).

Для решения поставленных задач в ходе камерального этапа исследований проводился сбор информации о физико-географических и геокриологических условиях региона, анализировались публикации и исследования, посвященные тенденциям современных изменений климата, проводилась работа с материалами дистанционного зондирования Земли, обрабатывались и обобщались данные метеорологических наблюдений на метеостанциях, расположенных вблизи исследуемых площадок. В дальнейшем, в полевых условиях проводились работы по замеру температур в толще мерзлых грунтов в термоскважинах в разные периоды года, оценивалась эффективность мер по предотвращению техногенного отепления грунтов и связанных с этим деформаций в основаниях зданий и сооружений (в частности,

проводились нивелирные работы по деформационным маркам на объектах Ванкорского месторождения). Третьим этапом работы стало обобщение и сравнение полученных в полевых условиях данных о тепловом поле в грунтах под объектами месторождений с фондовыми материалами и более ранними измерениями, а также построение модели дальнейшего изменения температурных характеристик грунтов при помощи программы QFrost.

Выбранные для сравнения нефтегазовые месторождения находятся в пределах Западно-Сибирской равнины, в северной ее части. Заполярное месторождение располагается на территории Тазовского района Ямало-Ненецкого Автономного Округа, на междуречье Пура и Таза. Ванкорское месторождение лежит на северо-западе Красноярского края, в Туруханском районе, на левом берегу р. Енисей. Отметки высот составляют 100 м и менее [5]. Реки описываемой территории относятся к бассейну Карского моря, имеют типично равнинный характер: корытообразный поперечный профиль долин; широкие русла, часто разбивающиеся на протоки; сильное меандрирование; малые величины падения, что обуславливает малые скорости течения [7]. Преобладает снеговое питание, его доля может достигать 80%. Переувлажненность территории обуславливает большое количество озер в пределах описываемой территории: от достаточно крупных постоянно существующих озер до мелких сезонных озер в термокарстовых котловинах [1]. Наиболее характерны для этой территории неглубокие (2–5 м) озера с площадью не более 1 км^2 [7].

Северо-восточная часть Западной Сибири находится в зоне влияния Арктических и Атлантических воздушных масс. Большую часть года здесь преобладает циклонический режим, хотя в зимний период возможно распространение на эту территорию западного отрога Азиатского антициклона. Плоский равнинный рельеф территории в совокупности с особенностями атмосферной циркуляции (пониженное давление над равнинной территорией и повышенное над Северным Ледовитым океаном) обуславливает достаточно высокие скорости ветра, преимущественно, северного направления – до 20 м/с [1, 6]. На Ванкорском месторождении количество осадков составляет 300 мм/год, а на Заполярном месторождении – до 400–500 мм. Большая часть осадков выпадает здесь в теплое время года. Зима на описываемых территориях длится от 190 до 220 дней. На Ванкорском месторождении (по данным метеостанции в г. Игарка) средние температуры января составляют –27°С, средние температуры июля +12°С, мощность снежного покрова – 70 см. На Заполярном месторождении (по данным метеостанции в пос. Тазовский) средние температуры января составляют –26°С, средние температуры июля +10°С, мощность снежного покрова – 80 см.

Отмечено, что за период 1970–2010 гг. тренд повышения среднегодовой температуры воздуха в Надыме составил 0,03°С в год, а сумм положительных температур – 0,2°С в год [3]. По данным IPCC [8] рост температур за период 1901–2012 гг. для данной территории составил около 1,5°С. По прогнозным

моделям некоторых исследователей, за период 1990–2050 гг. температура воздуха повысится на 1,16–2,5°С [9]. При этом отмечается общая тенденция к некоторому замедлению процесса потепления: скорость роста температур в северном полушарии в 1998–2012 гг. составила 0,05°С за десятилетие, в то время как в 1951–2012 гг. она составляла 0,12°С за десятилетие [8]. О снижении темпов потепления климата в криолитозоне говорит и А.В. Павлов, он оценивает увеличение температур воздуха на севере России в 2001–2005 гг. как очень слабое и не превышающее 0,1°С за 5 лет [4]. При этом повышение температур верхних горизонтов ММП не является пропорциональным по отношению к повышениям температур воздуха. Так, А.В. Павлов оценивает тренды повышения температур воздуха на севере Западной Сибири в период 1965–2005 гг. в 0,04°С в год, в то время как тренд повышение температур верхнего горизонта ММП составляет 0,025°С в год. Рост температур в будущем А.В. Павлов оценивает в 0,6°С для воздуха и 0,4°С для почвы к 2025 году и 1,6°С и 1°С соответственно к 2050 г., таким образом соотношение трендов повышения температур воздуха и грунта составит примерно 1,5–1,6 раза [4]. О повышении температур воздуха говорит и проведённый автором анализ среднемесячных температур по данным метеостанция, расположенных в непосредственной близости от исследуемых месторождений (в пос. Тазовский и в г. Игарка), тренды для этих метеостанций практически совпадают (рис.1).

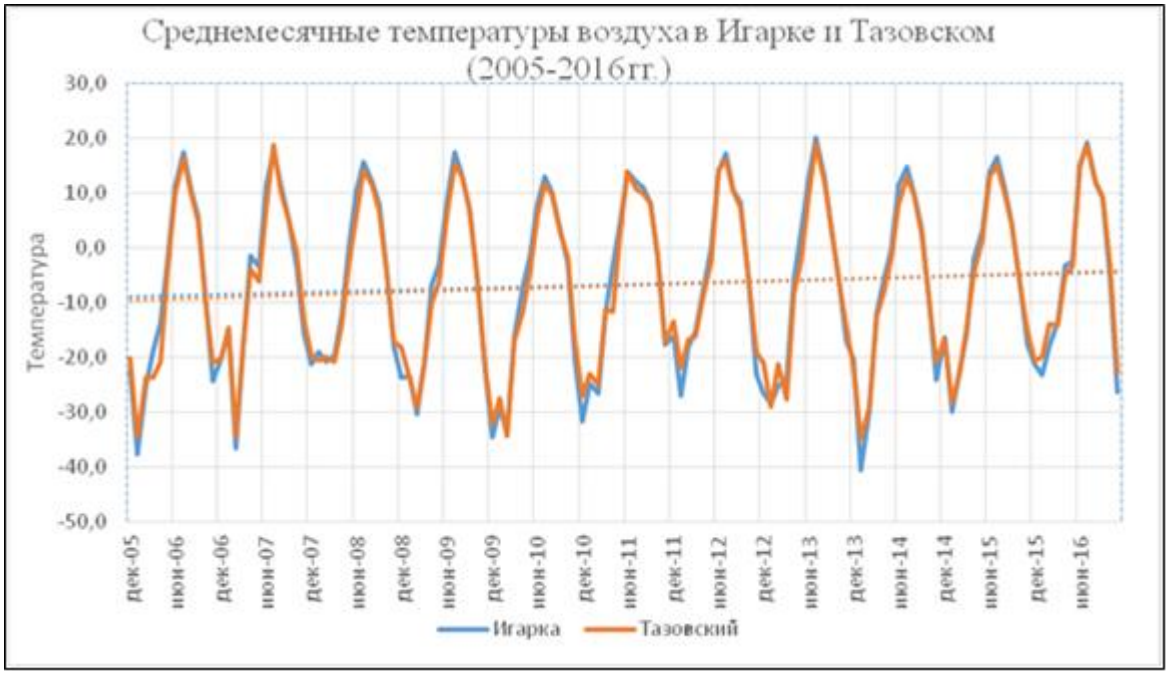


Рис.1. Температуры воздуха на метеостанциях пос.Тазовский и г.Игарка

Несмотря на схожие орографические и климатические условия Заполярное и Ванкорское месторождения показывают различные тенденции в развитии мерзлотных условий. Это связано, в первую очередь, с различиями в типе распространения вечномерзлых пород (островной тип распространения на

Заполярном месторождении и сплошной – на Ванкорском) и с различиями в литологическом составе верхних горизонтов пород (преобладание супесчаных и песчаных отложений на Заполярном месторождении и суглинистых – на Ванкорском). За время эксплуатации месторождений на Заполярном месторождении фиксируется рост температур в грунтах и увеличение мощности СТС, а численное моделирование прогнозирует продолжение этого процесса в будущем, что приведет к росту температур в грунтах с –0,5°С до –0,2°С (рис. 2) и увеличению мощности СТС к 2028 г.

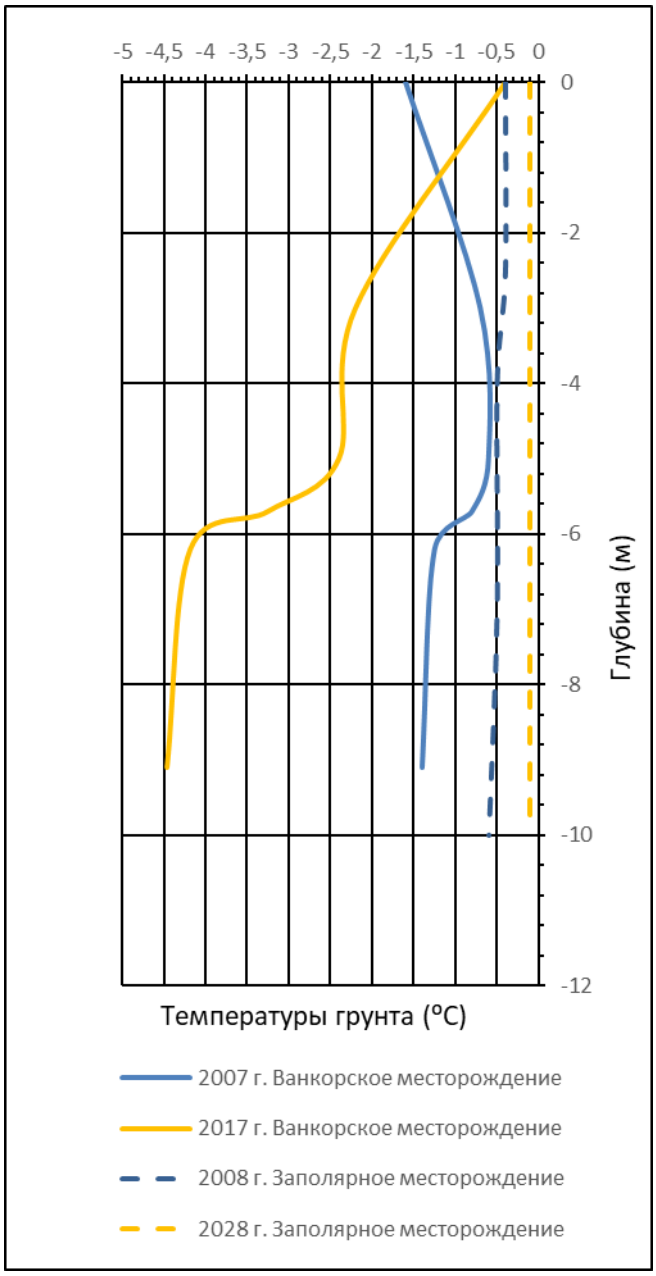


Рис. 2. Грфики распределения температур в грунтах на Заполярном и Ванкорском месторождениях

Об увеличении мощности СТС в районе Заполярного месторождения говорит в своей работе Д.С. Дроздов. По материалам его наблюдений в районе Уренгоя (расположенного в непосредственной близости от Заполярного месторождения) в высокотемпературных вечномерзлых грунтах рост СТС происходит активнее, чем в более холодных, а также происходит формирование надмерзлотных таликов в результате опускания кровли вечной мерзлоты [2]. На Ванкорском месторождении за время инструментальных наблюдений (с 2007 г. по 2016 г.) заметных изменений в температурах в толще грунтов не наблюдалось. Натурные измерения фиксируют некоторое увеличение мощности СТС, но ряд наблюдений еще недостаточно велик, чтобы утверждать, что данный процесс является следствием техногенного воздействия или изменений климата. Изменения мощности СТС может быть связано со случайными колебаниями температур воздуха в летние периоды, так как заметное увеличение мощности СТС фиксировалось в 2011–2012 гг., а в 2013–2017 гг. мощность СТС вернулась к своим исходным значениям на 2008 год. Данные численного моделирования температурного поля грунтов на Ванкорском месторождении к 2025 году показали, что в ближайшие 10 лет при сохранении текущих трендов климата и техногенных нагрузок на территории Ванкорского месторождения не произойдет заметных изменений температур в толще мерзлых грунтов. Температурная кривая соответствует кривым, построенным по данным наблюдений за время эксплуатации месторождения. Единственным изменением по данным расчетов стало некоторое увеличение мощности СТС (примерно на 20 см) (рис. 3).

Достаточно типичными для обоих регионов являются участки торфяников. Для Заполярного месторождения характерны мощность торфяных горизонтов от 2,5 м до 3,5 м, а температуры в грунтах там составляют от –1,3 до –1,6°С (по состоянию на 2008 г.); на Ванкорском месторождении торфяные горизонты имеют такие же мощности, а значения температур грунтов составляют порядка -20. Из сравнения участков торфяников и типичных плакорных участков видно, что на территории Заполярного месторождения гораздо сильнее проявляется контрастность в температурных полях между различными ландшафтными и литогенетическими комплексами: средняя температура типичной для Ванкорского месторождения верхней толщи ММП составляет от –1° до –1,1°С, а разница со средними температурами в торфянистых грунтах – не более 0,5°С, в то время как на Заполярном месторождении разница достигает 1°С и более. По прогнозам температурных условий ММП на Заполярном месторождении к 2028 г. ожидается увеличение контрастности: повышение температур в верхних горизонтах ММП на типичных участках до –0,1°С, в то время как в торфянистых грунтах значения температур по-прежнему будут составлять менее –1°С.

При анализе температурных полей под объектами месторождений стоит отметить эффективность систем температурной стабилизации мерзлых грунтов в основании объектов Ванкорского месторождения. Более низкие температуры

ММП в естественном состоянии и активное применение систем термостабилизации предотвращают отепление грунтов и, как следствие, ухудшение их прочностных свойств. Так, на момент проведения измерений температур грунта с участием автора в 2016 г. охлаждение ММП при помощи систем термостабилизации по отношению к температурам в 2007 году составляло в среднем от –2°до –3°С.

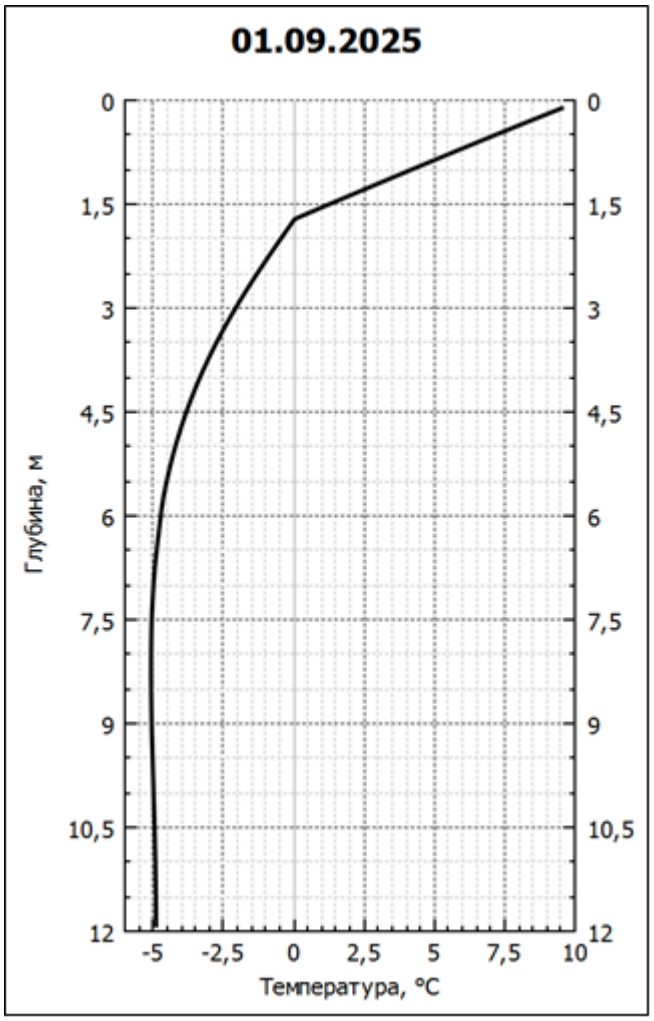


Рис. 3. График распределения температур в грунтах для площадки ЦПС на 01.09.2025

Велико влияние на мерзлотные условия в пределах месторождений криогенных процессов, вызванных техногенным воздействием. Наиболее распространенный негативный процесс на Ванкорском месторождении – развитие термоэрозии и термокарста в следствие подтопления территории, вызванного нарушением естественных путей стока поверхностных вод. На трассе магистрального нефтепровода «Ванкор-Пурпе» активно морозное пучение, в т.ч. выпучивание опор за счет воздействия касательных сил морозного пучения. Заполярное месторождение меньше подвержено воздействию опасных криогенных процессов, что объясняется меньшей льдистостью и пучинистостью пород, но большую опасность представляет

формирование под зданиями и сооружениями месторождения чаш оттаивания, что ведет к падению прочностных характеристик оснований и чревато развитием просадки.

В результате анализа температурных полей в ММП на территории Ванкорского и Заполярного месторождений было выявлено, что при сходных физико-географических условиях и техногенных нагрузках различные по составу и типу распространения мерзлые породы имеют значительные различия в реакции на потепление климата. Более льдистые суглинистые породы Ванкорского месторождения, имеющие более низкие естественные температуры, гораздо слабее реагируют на тренды к потеплению климата. В то же время ММП Заполярного месторождения, имеющие преимущественно супесчаный состав, показывают тренды к сильному отеплению и деградации. Кроме того, различные ландшафтные структуры на территории Заполярного месторождения реагируют на потепления климата неодинаково, контрастность между температурными характеристиками в разных по составу грунтах на одном участке только увеличивается со временем. Можно прогнозировать, что на территории Ванкорского месторождения в ближайшие годы не будет происходить критических изменений температур грунта в сторону их повышения, а принятые меры по стабилизации температур грунта будут обеспечивать устойчивость зданий и сооружений месторождения. На Заполярном месторождении будет происходить дальнейшая деградация мерзлоты на участках супесчаных грунтов и их значительное отепление с падением прочности при относительной стабильности мерзлоты на участках торфяников, что вероятно приведет к формированию островной структуры распространения ММП.

Список литературы

1. Ларин С.И. Физико-географические условия качества поверхностных вод Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. 2011. № 12. С. 18–23.
2. Мониторинг геокриологических условий южно-тундровых ландшафтов Европейского Север и Западной Сибири / Д.С. Дроздов, Г.В. Малков, Н.Г. Украинцева, Ю.В. Коростелев // Труды десятой Межд. Конф. по мерзлотоведению (TICOP) «Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире». Тюмень: «Печатник», 2012. Т. 3. С. 159–164.
3. Москаленко Н.Г. Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 2. С. 38–42.
4. Павлов А.В. Тренды современных изменений температуры почвы на Севере России // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 3. С. 22–27.
5. Трофимов В.Т., Кашперюк П.И. Орография // Геокриология СССР. Западная Сибирь / под ред. Э.Д. Ершова. М: «Недра», 1989. С. 38–40.

6. Шварева Ю.О. Климат // Природные условия и естественные ресурсы СССР. Западная Сибирь / отв. ред. Г.Д. Рихтер. М: Изд-во Академии наук СССР, 1967. С. 70–94.
7. Шмелев Л.М. Географическое положение и орогидрография // Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности / отв. ред. И.Я. Баранов. М: Изд-во «Наука», 1967. С. 8–9.
8. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.
9. Nelson F.E., Anisimov O.A., Shiklomanov N.I. Climate Change and Hazard Zonation in the Circum-Arctic Permafrost Regions // Natural Hazards. 2002. Vol. 26. Issue 3. P. 203–225.

Лукьянов С.Н.

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии,
г. Москва, lukyanovsn.msu@gmail.com

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ВЕРХОВЬЯХ Р. КОЛЫМЫ

Верховья реки Колыма интенсивно осваиваются с начала 1930-х годов. В результате техногенного воздействия на вечномерзлые основания происходят изменения теплового и механического состояния грунтов, что приводит к активизации опасных экзогенных процессов и является, как правило, причиной высокой аварийности сооружений. В сентябре 2013 года в Тенькинском районе Магаданской области (61.558299 N, 147.99991 E) были проведены обследования оснований под фундаменты объектов горно-обогатительного комбината, а также мониторинг инженерно-геокриологической ситуации, складывающейся на территориях хозяйственного освоения. Основные методы полевых исследований: бурение скважин с отбором образцов для исследования физико-механических свойств, а также термометрия.

Территория верховьев Колымы характеризуется интенсивной расчленённостью среднегорного рельефа, с абсолютными отметками от 750 до 1 600 м. Резко континентальный климат: суровая и относительно снежная зима, весьма тёплое, но короткое лето. Среднегодовая многолетняя температура воздуха минус 11,7°С. Распределение осадков в течение года довольно неравномерно. В зимнее время года осадков выпадает значительно меньше, чем летом. Максимальное количество осадков наблюдается в июле и августе, когда сезонное оттаивание весьма значительно, что способствует дренированию воды сквозь грубообломочные породы к поверхности мерзлоты. Коренные породы, представлены алевролитами, песчаниками, гранодиоритами, эруптивными брекчиями, риолитами, различной трещиноватости и, соответственно, различной прочности: от пониженной до очень прочной. Грунты оснований, в основном, слабольдистые, в пределах таликовых зон – талые.

Район исследований расположен в области сплошного распространения вечномёрзлых грунтов, сплошность которой прерывается сквозными или надмерзлотными таликами. Мощности вечномерзлых грунтов (ВМГ) в районе варьируют от 60 м в долинах рек (р. Омчак) и до 300–400 м на водоразделах. В долинах водотоков отмечается развитие несквозных и сквозных таликов. Устойчивые талики имеют ограниченное распространение в пойме реки Омчак и в устьевой части ее притоков: Геологический, Мороз, Павлик и др.

Верхняя граница ВМГ, в основном, повторяет наземные формы рельефа и зависит от экспозиции склонов, литологического состава пород, мощности и водопроницаемости рыхлых отложений, наличия растительного покрова, близости поверхностных водотоков.

Помимо климата на формирование температурного поля и мощности вечной мерзлоты существенное воздействие оказывают рельеф и высота

местности (вертикальная зональность), геоморфологическое и геологическое строение, литологический состав пород, подземные и поверхностные воды, а также техногенное воздействие человеком.

Температурный режим грунтов на изучаемой территории отмечается большой вариабельностью. По результатам натурных измерений на участке в пределах распространения ВМГ температура пород на глубине 10 м составила минус 1,8–минус 3,1ºС. В пределах таликовых зон (долина р. Омчак) температура талых грунтов менялась от 6,7ºС у поверхности до 3,2ºС на глубине 10 м. Резкое отклонение мерзлотных характеристик от средних величин в сторону повышения температуры и уменьшения мощности вечной мерзлоты отмечается на современных поймах рек (пойма р. Омчак), на южных склонах, в места устойчивых надувов снега высотой 0,7–0,8 м и более, на участках питания и выхода подмерзлотных вод.

Глубина оттаивания грунтов находится в зависимости от условий и характера теплообмена, которые, в свою очередь, прямо зависят от географического положения, высоты и рельефа местности, среднегодовой температуры воздуха, ветровой деятельности, экспозиции склона, микрорельефа, толщины и характера растительного покрова, высоты и плотности снегового покрова, литологического состава и влажности грунтов и деятельности воды в последних.

При наличии мохо-торфяного покрова толщиной от 10 до 30 см и более мощность деятельного слоя (протаивающего над вечной мерзлотой) вне зависимости от других факторов, как правило, не превышает 0,8 м и чаще всего лежит в пределах от 0,4 до 0,8 м. Мощность деятельного слоя в зависимости от различного сочетания вышеуказанных факторов имеет следующие максимальные значения протаивания/промерзания: в торфяных льдистых и сильнольдистых грунтах – 0,8/3,0 м; в суглинистых и пылеватых грунтах – 1,2/3,5 м; в галечно-гравийном грунте с песчаным и супесчаным заполнителем, льдистый и сильнольдистый, на северных склонах – 1,2/3,2 м; в песчано-галечных грунтах на ровных, дренируемых террасах и южных склонах – 1,5/3,5 м; в щебенистых грунтах с песчаным, реже супесчаным заполнителем, слабольдистые (на склонах) – 1,4/4,2 м.

Глубина сезонного промерзания, в силу действия климатических факторов и температурной сдвижки, возникающей из-за разницы коэффициентов теплопроводности в мерзлом и талом состоянии, как правило, превосходит глубину сезонного протаивания грунтов в 1,2–1,5 раза и достигает мощности до 4,5 м.

Льдистость и формирование криогенных текстур пород определяется, в первую очередь, их литологическим составом, а в пределах одной литологической разности - генезисом. В целом, для дисперсных грунтов характерно уменьшение льдистости от тонкодисперсных пород к крупнообломочным и сверху вниз по разрезу. Пластовые льды в районе

встречаются спородически, на склонах северных экспозиций под слоем торфа, мощность льдов составляет до 4–5 м.

Для техногенных грунтов, сложенных щебнем, дресвой, гравием и галькой с песчаным, редко супесчаным заполнителем, характерна льдистость в пределах от 5 до 45% и массивная и корковая криотекстуры, в отдельных случаях грунты сыпучемерзлые.

Следует отметить, что даже с учетом тренда к потеплению климата в последние 30–40 лет, природные условия района приводят к новообразованию вечной мерзлоты. Свидетельством этого является сплошное промерзание громадных отвалов горной породы, расположенных неподалеку от строительства ГОК «Павлик».

Оценивая влияние абсолютной высоты и форм рельефа местности на характер распространения вечной мерзлоты южной части Колымского нагорья можно отметить следующее:

а) как правило, под депрессиями и, в частности, под долинами рек мощность вечной мерзлоты меньше, чем под водоразделами;

б) с увеличением абсолютной отметки местности мощность вечной мерзлоты повсеместно возрастает;

в) нижняя граница вечной мерзлоты представляет волнистую поверхность, повторяющую в несколько сглаженном виде формы рельефа поверхности земли. Фактические материалы показывают, что даже незначительное превышение местности по отношению ко дну речных долин резко увеличивает мощность вечной мерзлоты.

В верховьях Колымы наблюдаются активные экзогенные процессы. На склонах развивается солифлюкция, морозобойное трещинообразование и пучение грунтов (рис.), местами фиксируется термокарст, связанный с вытаиванием подземных льдов и льда в льдистых и сильнольдистых дисперсных грунтах, морозное выветривание крупнообломочных и коренных пород. В руслах ручьев и реки Омчак отмечены речная боковая эрозия и наледеобразование, размыв берегов и подтопление низких участков в период снеготаяния и затяжных дождей, заболачиваемость переувлажненных участков в пределах пойм и надпойменных террас.

Рис. Бугры пучения в котловине

Строительство в предгорной местности и в горных районах имеет много специфических особенностей. При возведении крупных зданий и сооружений в этих условиях особое значение имеет правильно сооруженный фундамент. Помимо традиционных требований, предъявляемых при строительстве, в таких районах дополнительно должны учитываться также и сейсмические условия. В отличие от равнинных районов, в предгорной местности довольно сложные геологические условия, в том числе неоднородный по глубине и по расположению на местности грунт, сложный рельеф. На небольшом расстоянии абсолютные отметки залегания скальных грунтов могут меняться до нескольких метров, что в свою очередь усложняет условия строительства. В условиях вечной мерзлоты в горном районе строительство и эксплуатация сооружений требуют особого внимания.

Толманов В.А.[1], Гребенец В.И.[1], Исаков В.А.[1], Керимов А.Г-о.[2]

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, г. Москва, vgreb@inbox.ru
[2]ООО «НПО «Фундамент», г. Норильск

ДЕФОРМАЦИИ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА В СЛОЖНЫХ МЕРЗЛОТНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НОРИЛЬСКОГО ПРОМРАЙОНА

Введение

Норильский промышленный район (НПР) – регион интенсивного хозяйственного освоения с середины 1930-х годов – обладает развитой сетью авто- и железных дорог, соединяющих города Норильск, Талнах, Кайеркан, Дудинку и ряд функционирующих или заброшенных поселков (Алыкель, Валёк, Медвежий ручей, Тундра и др.), а также десятки промышленных и других площадок (рудники, металлургические заводы, складские зоны, полигоны складирования отходов, угольные карьеры, туристические базы, рыбные заводы и др.). Протяженность дорог различного назначения, класса и степени благоустройства составляет в настоящее время около 1,2 тыс. км. Наряду с железными дорогами активно эксплуатируются автодороги с твердым покрытием (трассы «Талнах – Норильск – Дудинка», «Талнах – рудник «Таймырский» и др.) или грунтовые с уплотнением («Норильск – водозабор на р. Ергалах», «Надеждинский завод – хвостохранилище» и др.). Состояние дорог различно, однако по причине суровых климатических и сложных мерзлотно-грунтовых условий существенно уменьшается срок надежной эксплуатации, увеличиваются затраты на содержание и ремонты. Социально-экономические проблемы последних 20 – 25 лет (в частности, почти полное уничтожение в НПР ранее развитой стройиндустрии, отказ «Норильского никеля» - основной компании, эксплуатирующей природные богатства региона, - от содержания ряда переданных муниципалитетам дорог и уличной сети в поселениях, уменьшение средств, выделяемых на содержание дорог) способствуют развитию деформаций. Детальные обследования состояния дорог в НПР были проведены нами в августе–сентябре 2010 г. и в августе–сентябре 2017 г.

Результаты и обсуждение

Деформации объектов в криолитозоне в России в последние десятилетия носят массовый характер, что обусловлено комплексом причин, которые условно можно разделить на т.н. «субъективные» и «объективные» [1]. К первым относятся:

– некачественные инженерно-геокриологические изыскания (или их отсутствие);

– ошибки в расчетах и проектировании;

– несовершенство приемов инженерной подготовки территории к застройке;

– применение устаревших или неадаптированных к северным условиям методов строительства;

– брак при производстве работ, отклонения от проектных режимов эксплуатации;

– снижение затрат на обеспечение надежного функционирования объектов, отсутствие геотехнического и геокриологического мониторинга и др.

«Объективные» причины связаны со сложностью инженерно-геокриологических условий, в т.ч. степенью пораженности территории опасными криогенными процессами, с развитием морозного пучения (при промерзании) и осадкой (при оттаивании) грунтов деятельного слоя; с воздействием склоновых процессов, с особым температурным режимом верхних горизонтов вечной мерзлоты при сезонных колебаниях, с длительностью эксплуатации объектов, с климатом и его изменениями.

Важную роль в развитии деформаций играет формирование специфических квазистационарных полей в системе «дорожное полотно – подсыпка – примыкающие участки» [4], региональные условия (температура наружного воздуха и режим атмосферных осадков, ландшафтные особенности, мерзлотно-литологическое строение оснований) приводят к различным , иногда, кардинально отличающимся, состояниям авто- и железных дорог в разных регионах криолитозоны, что затрудняет создание единого алгоритма (технологий, методов) решения проблемы надежного функционирования объектов.

Детальные обследования, в т.ч. попикетажно, каждого километра, важнейших трасс НПР (авто- и железных дорог между городами Норильск и Талнах) были проведены в августе–сентябре 2010 г., научно-технический отчет об этих изысканиях (архив НПО «Фундамент», 2010, г. Норильск) был передан в Администрацию Норильского муниципального образования. Определенные результаты этих исследований, включая разовые обследования отдельных мест в 2013–14 г.г., покали, что, несмотря на значительные средства, вкладываемые в эксплуатацию этих конкретных дорог, их состояние на многих участках неудовлетворительно или близко к аварийному [2]. Следует отметить, что и для ряда других регионов выявлены схожие проблемы [5].

Деформации дорожного полотна в НПР, связанные с природными (климатическими, гляциологическими и геокриологическими) условиями, можно разделить на три основные группы: 1) связанные со склоновыми процессами; 2) обусловленные дополнительным охлаждением; 3) развивающиеся при отеплении мерзлых грунтовых оснований и примыкающих к дорогам участков. Последняя группа – наиболее распространенные и опасные, причем в связи с усилением в течение многих десятилетий техногенеза и определенным трендом к потеплению климата в регионе они весьма динамичны и имеют ярко выраженную тенденцию к активизации.

НПР расположен в горных и предгорных районах, даже Вальковская озерно-аллювиальная равнина (обширная долина рек Норильская, Рыбная, Наледная, Щучья с их притоками), в пределах которой расположена большая часть промышленных и селитебных комплексов, имеет чрезвычайно расчлененный (западинно-грядовый) мезорельеф, связанный с активным развитием термокарста по сильнольдистым отложениям и наличием большого количества сегрегационно-инъекционных бугров пучения. Естественно, что солифлюкция разрушает различные грунтовые дороги, проявляется и на откосах основных трасс. В горных районах, особенно, Талнахского промузла (западные отроги Хараелаха), а также на руднике «Медвежий ручей» и на дорогах к пос. Западный, водозабору на р. Ергалах и др. (последние территории – в пределах Норильских гор), на дорожные системы негативно влияют лавины, особенно активные (водно-ледово-снежные) в апреле – мае, т.е. в периоды максимального снегонакопления. В горах близ Талнаха на отдельные дороги надвигаются осыпи, они также попадают в зоны камнепадов. Разрушающее действие на ряд дорог произвели катастрофические перемещения крупнейшего в мире техногенного каменного глетчера на склоне г. Рудной в г. Норильске, в отношении которого был выполнен цикл исследований [3], позволивших выявить причины движения и разработать прогноз смещения, что позволило вывести новые дороги за пределы опасной зоны.

Воздействие холода проявляется прежде всего в морозобойном растрескивании (рис. 1, рис. 2), активизирующемся при постоянной снегоуборке покрытия дорог.

Рис. 1. Морозобойная трещина покрытия автодороги «Норильск – Талнах» в районе пос. Купец

Рис. 2. Система продольных и поперечных морозобойных трещин. Автодорога «Норильск – Талнах», район турбазы «Наледная»

Наледеобразование на дорогах происходит при прорывах водоводов, выполненных надземным способом рядом с ними. В то же время, природно-техногенные наледи фиксируются в Кайеркане и на Талнахе на дорогах, проложенных на склонах: в первые месяцы зимы за счет регулярной снегоуборки под полотном дорог идёт быстрое промерзание сезонно-талого слоя (СТС), создаётся своеобразный «мерзлотный порог», препятствующий дренированию грунтовых вод СТС с верхних отметок. Особу опасность представляет подобная наледь на одной из самых востребованных трасс, связывающих Талнах и рудники «Октябрьский, «Таймырский» и другие промзоны, наледь фактически постоянно существует в огромных размерах (длиной до 120–150 м) в течение всей второй половины долгой зимы.

Несомненно, деформациям авто- и железных дорог в НПР способствует неравномерное пучение грунтов СТС при их промерзании; на многих дорогах фиксируются пучины, в т. ч. за счет выпучивания остатков опор, установленных ранее для различных объектов, например, для снесённых зданий, трубопроводов (рис. 3).

Рис. 3. Выпучивание остатков свайных опор на автодороге в аэропорт «Валёк»

Безусловно, основную опасность для авто- и железных дорог НПР представляют процессы, связанные с отеплением мерзлоты или с вытаиванием подземных льдов и сильнольдистых отложений. Максимальное распространение подобные деформации имеют в пределах Вальковской равнины, наиболее хозяйственно освоенной, а также в районе Дудинки.

Сползание откосов и дорожного полотна может происходить по ряду причин, одной из которых является повышение температуры в основании подсыпки и снижение, таким образом, длительных прочностных параметров вечномерзлых грунтов (рис. 4).

Рис. 4. Сползание откоса и крен дорожного полотна, трасса «Норильск – Дудинка», 15 км восточнее г. Дудинки, 4.09.2017

Весьма распространены волнообразные деформации на поверхности дорог, связанные, как правило, с вытаиванием повторно-жильных льдов в основании дорожного полотна (рис. 5).

Рис. 5. Волнообразные равномерно распределенные деформации полотна трассы «Норильск–Алыкель» при вытаивании повторно-жильных льдов, объезд г. Кайеркан. 5.09.2017

Максимальное распространение получили деформации (чрезвычайно опасные!) откосов и самих дорог при развитии термокарста на примыкающих к дороге территориях (рис. 6, 7).

Рис. 6. Размыв и сползание откоса на трассе «Норильск–Талнах» при активизации термокарста (участок вблизи промплощадки НЭР, ремонт через каждые 2 – 3 года)

Рис. 7. Сползание откоса и части дороги в термокарстовое озеро при его развитии. Участок дороги в аэропорт «Валёк»

Часто встречаются деформации, связанные как с вытаиванием льдов непосредственно под дорогой, так и с активным термокарстом или термоэрозией на примыкающих участках (рис.8).

Рис. 8. Деформации дороги к рекреационному комплексу «Валёк» при вытаивании подземных льдов в основании и развитии термокарста на примыкающих участках

Выводы

Деформации авто- и железных дорог в Норильском промрайоне весьма значительны; их причинами является как ряд определенных социально-экономических проблем, так и климатические (размыв паводковыми и дождевыми водами, суровая зима и прохладное, но дождливое лето, тенденции к потеплению климата в регионе и к увеличению снежности), и **главным образом –** специфические геокриологические условия (большие территории с сильнольдистыми отложениями, участки с залеганием подземных льдов разного генезиса, активное развитие термокарста на территории и др.). Заметную роль в развитии деформаций дорог играет расчлененность рельефа, условия дренирования подземных вод, неравномерность пучения – осадки грунтов сезонно-талого слоя, возникновение морозобойного растрескивания полотна дорог при регулярной снегоочистке и др. Особая проблема – устойчивость мостовых переходов – тема отдельного исследования, проведенного нами и отображенного в ряде публикаций. В НПР весьма велики затраты на содержание дорожной инфраструктуры, однако ряд второстепенных дорог практически непригодны к эксплуатации в связи с большими деформациями.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского Географического Общества №15\2017: *«Современное состояние и динамика опасных природных процессов, влияющих на существующую и перспективную транспортную сеть Сибири и Дальнего Востока»”.*

Список литературы

1. Гребенец В.И. Деформации объектов в криолитозоне при непрогнозируемых изменениях сложных инженерно-геокриологических условий оснований // Инженерная геология. 2007. Сентябрь. С. 17–20.
2. Гребенец В.И., Исаков В.А. Деформации железных и автомобильных дорог на участке Норильск – Талнах и методы борьбы с ними // Криосфера Земли. 2016. Т. XX. № 2. С. 69–77.
3. Гребенец В.И., Титков С.Н. Инженерно-геологические риски, связанные с формированием техногенных каменных глетчеров // Инженерная геология. 2006. № 2. С. 18–21.
4. Исаков В.А. Температурный режим в основании дорог на вечной мерзлоте // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. № 3. С. 25–34.
5. Шестернев Д.М. Линейные сооружения в криолитозоне России // Мат-лы Пятой конф. геокриологов России. МГУ имени М.В. Ломоносова, 14–17 июня 2016 г. Т. 1. М.: «Университетская книга», 2016. С. 228–235.

Кизяков А.И.[1], Лейбман М.О.[2,3], Зимин М.В.[4]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, г. Москва, akizyakov@mail.ru
[2]Институт криосферы Земли, Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень
[3]Тюменский государственный университет, г Тюмень
[4]ГК «СКАНЭКС», г. Москва

ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОРОНОК ГАЗОВОГО ВЫБРОСА

Использование материалов дистанционного зондирования Земли – аэрофото- и космоснимков давно и прочно вошло в практику инженерных изысканий. Космические снимки успешно применяются на всех этапах жизненного цикла крупных инженерно-технических проектов, начиная со стадии проектирования и заканчивая периодом мониторинга на стадии эксплуатации, а также на стадии консервации или рекультивации используемых земель.

Материалы разновременной съемки широко применяются как при оценке пораженности осваиваемых территорий экзогенными геологическими процессами, так и для мониторинга ландшафтных изменений и определения динамики криогенных рельефообразующих процессов в области распространения многолетнемерзлых пород. Новым, ранее не изученным явлением в области многолетнемерзлых пород стали воронки газового выброса.

Первая из известных воронок (ВГВ-1) была обнаружена вертолетчиками в центральной части полуострова Ямал летом 2014 года. Воронка сразу привлекла к себе внимание мерзлотоведов, а также специалистов нефтегазового комплекса, поскольку образовалась в 4 км к западу от магистрального газопровода «Бованенково-Ухта» – части трубопроводной системы Ямал-Европа. В ходе проведенных полевых исследований группами исследователей из Института криосферы Земли СО РАН, МГУ имени М.В.Ломоносова, Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А.Трофимука СО РАН собраны данные о криолитологическом строении воронки, проведено опробование стенок и воды внутреннего озера, сделаны первые предположения о происхождении. Для обозначения этого образования исследователями предложен термин «воронка газового выброса» (ВГВ) [3].

Практически сразу после обнаружения ВГВ-1 стала поступать информация о новых подобных объектах в криолитозоне Западной Сибири, по которым выполнен первичный анализ данных дистанционного зондирования [4]. Тем же летом 2014 года из новостных лент стало известно об обнаружении воронки на Гыданском полуострове.

Наша научная группа изучает ВГВ на Ямале и Гыдане начиная с 2014 года комбинируя полевые и дистанционные методы исследования. Космические снимки различного пространственного разрешения применяются нами для решения следующих задач:

1) определение временного интервала образования исследуемых ВГВ;

2) получение ландшафтных и геоморфологических характеристик участков их расположения;

3) количественная и качественная оценка изменений в рельефе, связанных с образованием ВГВ;

4) выявление динамики эволюции образовавшихся ВГВ.

Далее остановимся на рассмотрении получения количественных оценок рельефообразующего эффекта образования ВГВ на примере двух объектов – ВГВ-1 на Центральном Ямале и Антипаютинской воронки (АнтВГВ) на Гыданском полуострове.

Для получения детальных морфометрических характеристик рельефа ключевых участков и реконструкции рельефа, предшествовавшего образованию ВГВ, необходимо построение цифровых моделей рельефа (ЦМР). В качестве исходных данных выбраны наиболее доступные продукты космической стереосъемки сверхвысокого пространственного разрешения (<1м/пиксель). Для достоверного анализа произошедших изменений в рельефе использованы выбранные в глобальных каталогах стереопары со спутников WorldView-1 и WorldView-2 наиболее приближенные ко времени образования ВГВ. Временной интервал образования ВГВ-1 (с 09 октября по 01 ноября 2013 года) установлен в результате анализа серий космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения [6]. Дата образования АнтВГВ (27 сентября 2013 года) сообщена местными жителями и заверена в ходе аналогичного анализа космических снимков [2].

В результате фотограмметрической обработки стереопар для каждого из ключевых участков построены плотные ЦМР 2013 и 2014 гг. с шагом сетки в 1 м. Относительная точность построенных ЦМР нами оценена в пределах 0,35–0,55 м.

ЦМР ключевых участков позволили охарактеризовать положение ВГВ относительно основных выделяемых высотных ярусов и элементов мезорельефа и выявить значительные отличия в геоморфологической приуроченности ВГВ (рис. 1). В районе ВГВ-1 на Центральном Ямале наиболее высоким гипсометрическим уровнем являются расчлененные эрозионно-термокарстовыми процессами останцы IV прибрежно-морской казанцевской равнины высотой 42–48 м. Непосредственно сама ВГВ-1 расположена в подножии склона останца террасовидной поверхности, на границе с находящимся рядом хасыреем. Для района АнтВГВ в верховьях р.Юрибей приводораздельные пространства представлены останцами третьей аллювиально-морской террасы высотой 30-50 м. Склоны останцов изрезаны эрозионными формами – оврагами и балками, вдающимися вглубь приводораздельных пространств. АнтВГВ расположена на периферии останца третьей террасы, на перегибе от бровки террасы к склону врезанной в неё балки [2].

Более детально проанализирован рельеф непосредственно в месте образования воронок. Построенные ЦМР подтверждают, что образованию обеих воронок в 2013 году предшествовало существование бугра (рис.2). Однако в размерах этих форм наблюдаются значительные различия. Образованию ВГВ-1 предшествовал крупный бугор – относительной высотой 5–6 м и диаметром основания 45-58 м [1], тогда как на месте АнтВГВ существовал бугор меньший по размерам – относительной высотой 2 м, диаметром основания 20 м [2, 5].

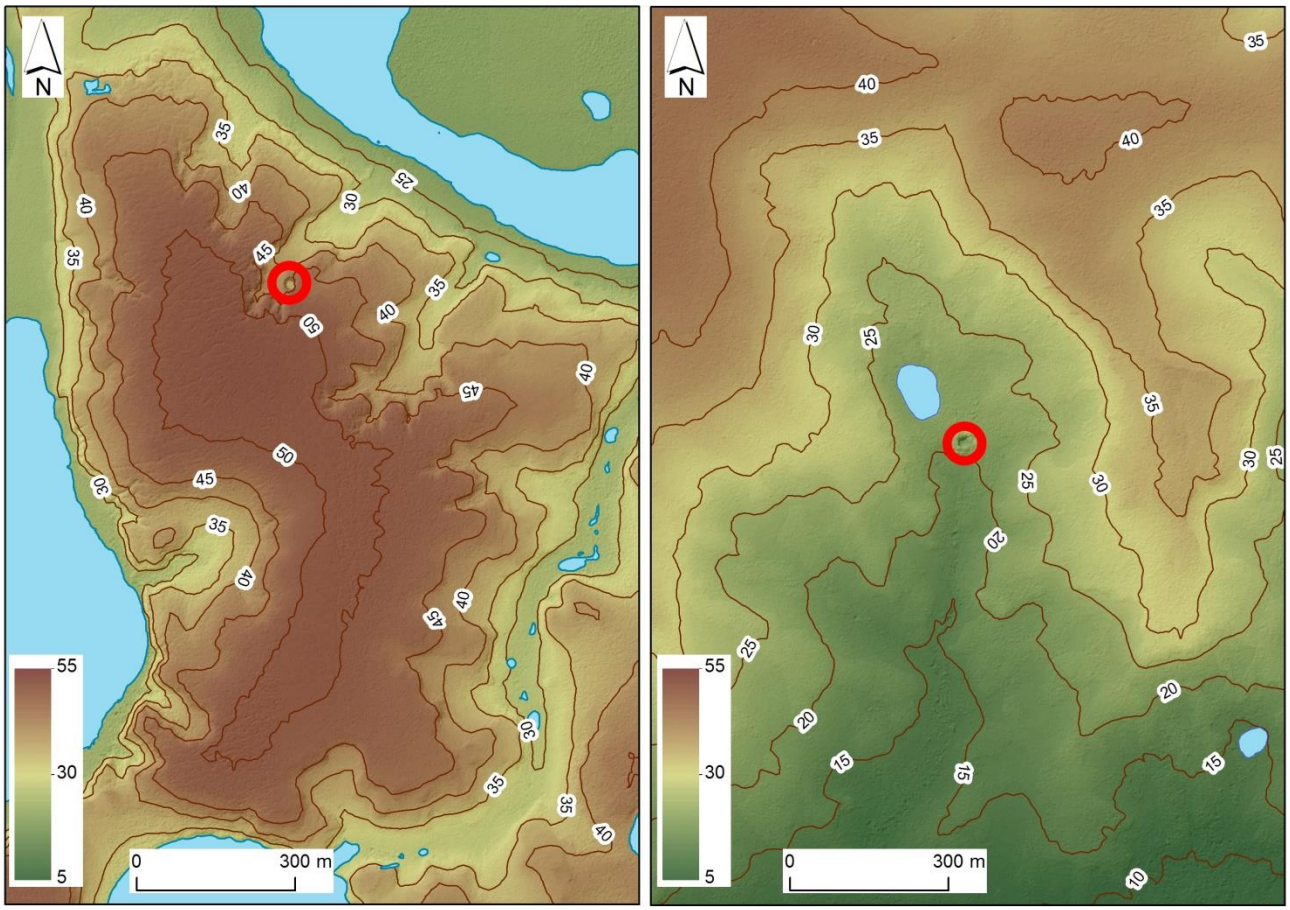


Рис. 1. Цифровые модели рельефа участков образования АнтВГВ на Гыдане (слева) и ВГВ-1 на Ямале (справа)

Полученные результаты свидетельствуют, что наличие значительного по размерам бугра, выступающего на фоне выровненного рельефа, не может являться индикатором предшественников ВГВ для поиска и прогноза новых воронок. Одного анализа ЦМР, построенных на основании сверхвысокодетальных космических снимков, для поиска бугров-предшественников недостаточно.

В результате вычитания разновременных ЦМР 2013 и 2014 гг. получены количественные данные об изменениях в рельефе связанных с образованием ВГВ. Для ВГВ-1 определен объем вынесенного материала (объем частично разрушенного бугра и породы, выброшенной из воронки), составивший 11 200

м^3 и объем материала, отложившийся по периферии в виде бруствера – 1 940 м^3 [1]. Разность объясняется выбросом из воронки льда, растаявшего в течение весенне-летнего сезона 2014 г.

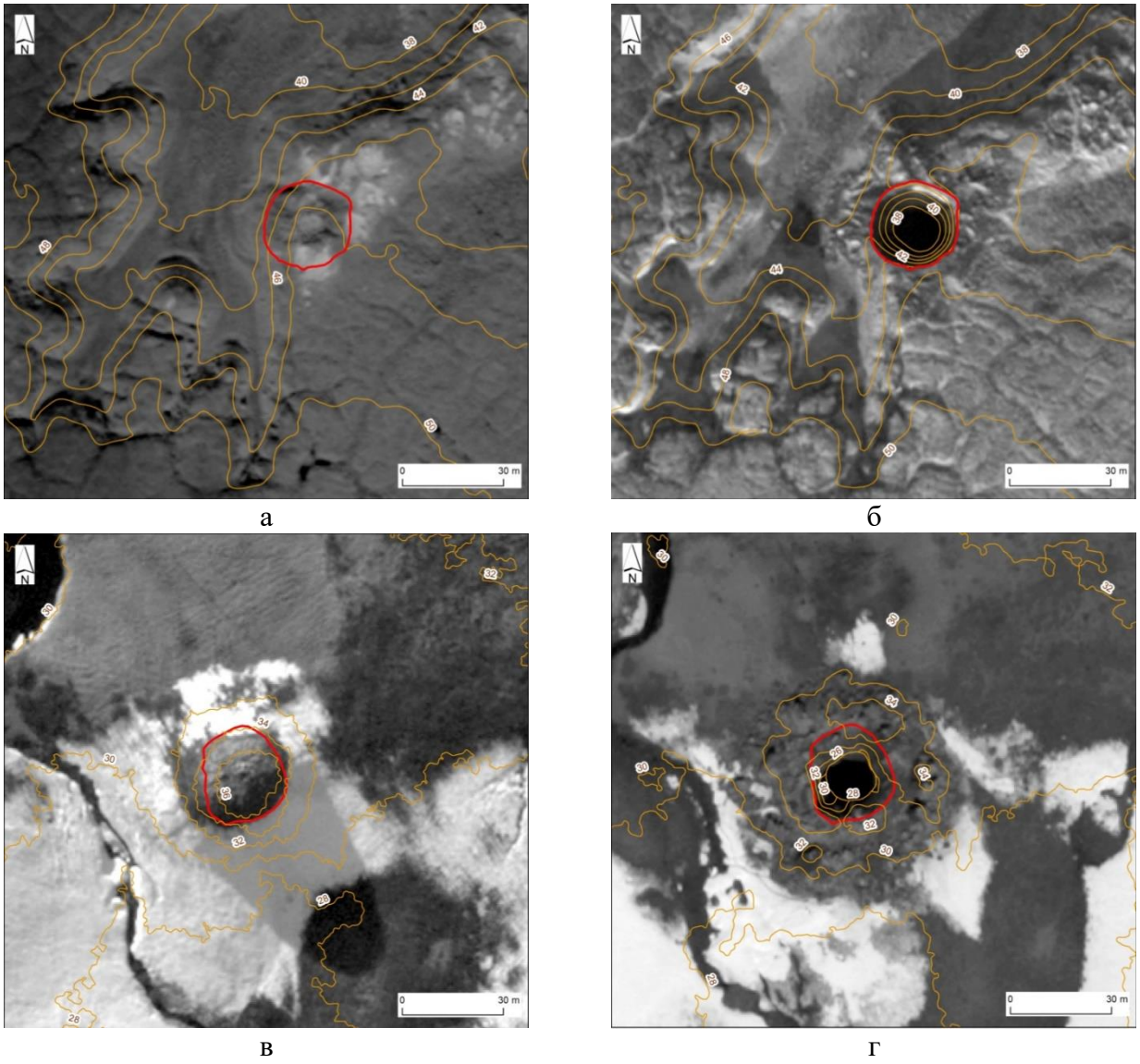


Рис. 2. Космические снимки и изолинии рельефа ключевых участков. (а) АнтВГВ по состоянию на 21.08.2013, (б) АнтВГВ по состоянию на 11.10.2014; на (а) и (б) красная линия – бровка АнтВГВ на 11.10.2014. (в) ВГВ-1 по состоянию на 09.06.2013, (г) ВГВ-1 по состоянию на 15.06.2014; на (в) и (г) красная линия – бровка ВГВ-1 на 15.06.2014

Для АнтВГВ не удалось аналогичным образом посчитать объем вынесенного материала, поскольку отсутствуют данные о глубине воронки. Глубина ВГВ не определяется по стереопарам из-за узости воронок и затенения центральных частей. Этот параметр ВГВ необходимо определять в ходе полевых обследований и использовать для уточнения построенных ЦМР. Для АнтВГВ у нас нет результатов подобных полевых измерений глубины. При этом, в результате анализа ЦМР 2013 и 2014 гг. нами зафиксировано отсутствие

выраженных в рельефе аккумулятивных тел по периферии АнтВГВ (с учетом точности метода). Отсутствие бруствера у АнтВГВ, видимо, объясняется выбросом льда и мерзлого песка, который растаял и оставил на места падения блоков только тонкий песчаный плащ.

В стенках образовавшихся ВГВ обнажаются мерзлые породы и пластовый лед. С таянием мерзлых стенок и обрушением пород связано отступание бровок воронок, которые хорошо дешифрируются на космических снимках субметрового пространственного разрешения. За год с 2014 по 2015 гг. диаметр верхней бровки АнтВГВ увеличился с 25–28 м до 43–47 м. В тот же период диаметр ВГВ-1 вырос с 29 до 52–54 м [5].

Воронки заполняются водой, образуются озера, форма которых, как показали наши наблюдения за эволюцией озера на месте ВГВ-1, приобретают за несколько лет неправильные очертания, отличные от первоначального круглого озера, наследовавшего форму воронки. В 2016 году больший диаметр неправильного в плане озера на месте ВГВ-1 достигал 83-85 м [5].

Таким образом, в результате применения космических снимков для изучения ВГВ нами получены следующие результаты:

– доказано существование бугров, предшествующих образованию ВГВ, получены количественные характеристики этих бугров. Размеры бугров, предшествовавших образованию ВГВ-1 и АнтВГВ, существенно различаются. Высота бугра-предшественника ВГВ-1 составляла 5-6 м, диаметр основания – 45-48 м; на месте АнтВГВ существовала бугор высотой 2 м и 20 м в диаметре [1, 2, 5];

– на настоящий момент не удалось установить достоверные критерии поиска на космических снимках бугров-предшественников из-за существенных различий в размерах;

– установлены различия в геоморфологической приуроченности изученных ВГВ. ВГВ-1 расположена на подножии пологого склона, а АнтВГВ – на бровке останца террасовидной поверхности;

– при наличии достоверных полевых измерений глубины ВГВ, уточненные ЦМР позволяют оценить объем выброшенного и отложившегося по периферии ВГВ материала;

– установлена динамика расширения образовавшихся ВГВ за счет таяния и обрушения мерзлых стенок. За первый год существования воронок ВГВ-1 и АнтВГВ их диаметр увеличился в 1,7–1,8 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 16-17-10203).

Список литературы

1. Геоморфологические условия образования воронки газового выброса и динамика этой формы на Центральном Ямале / А.И. Кизяков, А.В. Сонюшкин, М.О. Лейбман, М.В. Зимин, А.В. Хомутов // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. № 2. С. 15–25.
2. Оценка рельефообразующего эффекта образования Антипаютинской воронки газового выброса по данным спутниковой стереосъемки А.И. Кизяков, А.В. Сонюшкин, А.В. Хомутов, Ю.А. Дворников, М.О. Лейбман // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 4. С. 67–7. doi:10.21046/2070-7401-2017-14-4-67-75
3. Лейбман М.О., Плеханов А.В. Ямальская воронка газового выброса: результаты предварительного обследования // Холод’ОК. 2014. № 2 (12). С. 9–15.
4. Сизов О.С. Дистанционный анализ последствий газопроявлений на севере Западной Сибири // Геоматика. 2015. № 1. С. 53–68.
5. Comparison of Gas Emission Crater Geomorphodynamics on Yamal and Gydan Peninsulas (Russia), Based on Repeat Very-High-Resolution Stereopairs / A. Kizyakov, M. Zimin, A. Sonyushkin, Y. Dvornikov, A. Khomutov, M. Leibman // Remote Sensing. 2017. Vol. 9 (10). P. 1023. doi:10.3390/rs9101023
6. New permafrost feature: deep crater in Central Yamal, West Siberia, Russia as a response to local climate fluctuations / M.O. Leibman, A.I. Kizyakov, A.V. Plehanov, I.D. Streletskaya // Geography, environment, sustainability. 2014. Vol. 07. № 04. P. 68–80.

Самсонова В.В.[1], Ефимов В.М.[2]

[1]Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, vsamsonova@mail.ru
[2]Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН,
г. Якутск efimov_vm@mail.ru

НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ И РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Концепция геотехнического мониторинга (ГТМ) на всех стадиях жизненного цикла разработана в 2005 году [5, 6]. В качестве технологии управления состоянием и обеспечения механической безопасности опорной компоненты геотехнических систем газового комплекса в криолитозоне ГТМ успешно реализуется на промысловых (с 1992 г.) и газотранспортных (с 2007 г.) объектах ПАО «Газпром» [7, 10, 13]. С 2006 года проекты объектов нового строительства и реконструкции содержат раздел ГТМ, с 2007 г. разрабатывается методология оценки геотехнических рисков как основа проектирования сетей ГТМ трубопроводов и других линейных сооружений в составе газотранспортных систем [8, 9, 10, 12, 13], с 2011 г. реализуется ГТМ на стадии строительства магистрального газопровода (МГ) «Бованенково–Ухта».

Разработка и формирование системы геотехнического мониторинга в виде раздела в составе проектной документации и его выполнение на всех последующих стадиях жизненного цикла магистральных газопроводов направлены на соблюдение требований введенных в 2006 году отраслевых нормативных документов – СТО Газпром 2-3.1-071-2006 «Регламент по организации работ по геотехническому мониторингу объектов газового комплекса в криолитозоне»; СТО Газпром 2-3.1-072-2006 «Регламент на проведение геотехнического мониторинга объектов газового комплекса в криолитозоне».

Необходимость научного сопровождения при реализации системы геотехнического мониторинга в процессе строительства магистральных газопроводов, заключается в том, что состояние опорной компоненты линейной части МГ в этот период подвергается существенной трансформации из-за изменений теплообмена на поверхности и в массиве вмещающих грунтов основания и более подвержено непосредственному воздействию колебаний климата, как и на всех последующих стадиях жизненного цикла, чем грунтовые основания площадочных объектов. Актуальность этой проблемы для магистрального газопровода усугубляется существенной неоднородностью инженерно-геокриологических условий.

Изменения климата имеют колебательный характер, что наблюдается и в настоящее время, и приводят к активизации и/или усилению деструктивных и иных опасных природных и природно-техногенных криогенных процессов: при

потеплении – термокарст, термоэрозия, наледеобразование, солифлюкция; при похолодании – морозное пучение, морозобойное растрескивание, новообразование мерзлых пород. Оценки тенденций изменения климата в текущем столетии неоднозначны. Волны похолодания прогнозировались рядом специалистов в 2009–2013, 2023–2026, 2060–2070-х гг., особенно в зимнее время; наиболее теплые периоды (с 20-летней цикличностью) – с пиками в 2035, 2055, 2075 и 2095 гг. [2]. При эксплуатации газопроводов в Якутии в 1967–1987 гг. произошло 60 аварий, удельное количество аварий в год на 1 км магистрального газопровода составило 0,0283 случая. При этом в первое десятилетие этого периода происходило похолодание, а во второе – потепление климата. Результаты натурных наблюдений за тепловым и механическим взаимодействием с окружающей средой газопровода Мастах–Якутск [3] свидетельствовали о существенном влиянии потепления климата на повышение температуры грунтов, а периодичность в разрушении кольцевых сварных швов в этот период его эксплуатации [4] – о воздействии межгодовой мерзлотно-климатической динамики на напряженно-деформированное состояния трубопровода.

При инженерно-геологических изысканиях не исследуются и не оцениваются пространственно-временная неоднородность и изменчивость геокриологических и климатических условий, а также межгодовая изменчивость климатических характеристик, значимых для теплообмена трубопровода с вмещающими грунтами.

Проектирование и строительство собственно линейной части МГ осуществляется при более слабом информационном обеспечении в части оценки динамики опасных экзогенных процессов по сравнению с площадочными объектами в ее составе. Значительная протяженность и разнообразие геокриологических условий осложняют процесс проектирования наблюдательной сети для линейной части и разработки геотехнического паспорта МГ. Исследования выполнялись поэтапно в следующей последовательности:

– Анализ материалов научных исследований и инженерных изысканий для предварительного выявления участков с многолетнемерзлыми грунтами и опасными геокриологическими и инженерно-геокриологическими процессами;

– Рекогносцировочное обследование участков;

– Геофизические исследования участков, буровые и лабораторные работы, натурные наблюдения;

– Анализ проектных решений;

– Прогнозная оценка мерзлотно-климатической динамики в районах зоны трассы;

– Разработка решений, рекомендаций, дополнений к проекту.

На первом этапе анализировались материалы инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических изысканий; карты инженерно-геокриологического районирования масштаба 1:200 000 и 1:25 000; материалы

сейсмологических и сейсмотектонических исследований; результаты и материалы региональных геокриологических исследований и обобщений; космоснимки районов прокладки трассы МГ; материалы исследований состояния и динамики криолитозоны на фоновых и затронутых техногенезом участках и объектах, получаемые на полигонах геокриологического мониторинга в рамках различных научных проектов и программ.

Трасса магистрального газопровода проходит в условиях развития прерывистой криолитозоны и характеризуется широким распространением криогенных образований и процессов. Совокупная протяженность многолетнемерзлых пород (ММП) составляет около 30% от общей протяженности трассы. Было обращено внимание на то, что участки развития ММП по трассе магистрального газопровода отличаются спецификой комплекса криогенных процессов, проявления которых обусловлены региональными особенностями геологических и геокриологических условий (наледеобразование и мерзлотный карст) [1, 11, 13], тенденций изменения климата и межгодовой изменчивости климатических условий. При этом современная динамика кровли вечной мерзлоты и криогенных процессов на участках развития ММП в составе инженерно-геологических изысканий не фиксируется, т.е. не характеризуется и не оценивается. Регионы криолитозоны, в которых осуществляется строительство и будет эксплуатироваться магистральный газопровод, относятся к наиболее наледным и наледеопасным в нашей стране. Негативное воздействие наледей и наледеобразования здесь испытывают федеральная автотрасса А360 (М-56) «Лена», Амуро-Якутская железнодорожная магистраль, линейные сооружения трубопроводной системы ВСТО. Опыта строительства и эксплуатации газотранспортных систем в районах широкого распространения и развития наледей нет. Во время обследования участков наледных полян в мае и сентябре–октябре 2017 года предположения об интенсивности сопутствующих наледеобразованию процессов, а также о возможности формирования природно-техногенных и техногенных наледей подтвердились (рис. 1).

На этапе рекогносцировочного обследования отрезка трассы «Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение–Сковородино» были проведены исследования распространения криогенных процессов с оценкой активности и динамики актуальных и потенциальных опасных экзогенных процессов (рис. 2), кроме этого получены фактические данные о мощности и теплофизических характеристиках деятельного слоя и покровов, необходимые для теплотехнических расчетов и оценки темпов промезания-протаивания.

Полученные материалы были использованы для составления картосхем участков с наличием криогенных процессов и разработки рекомендаций для геофизических исследований и буровых работ.

Рис. 1. Природно-техногенная наледь, пересекающая трассу газопровода, май 2017 года

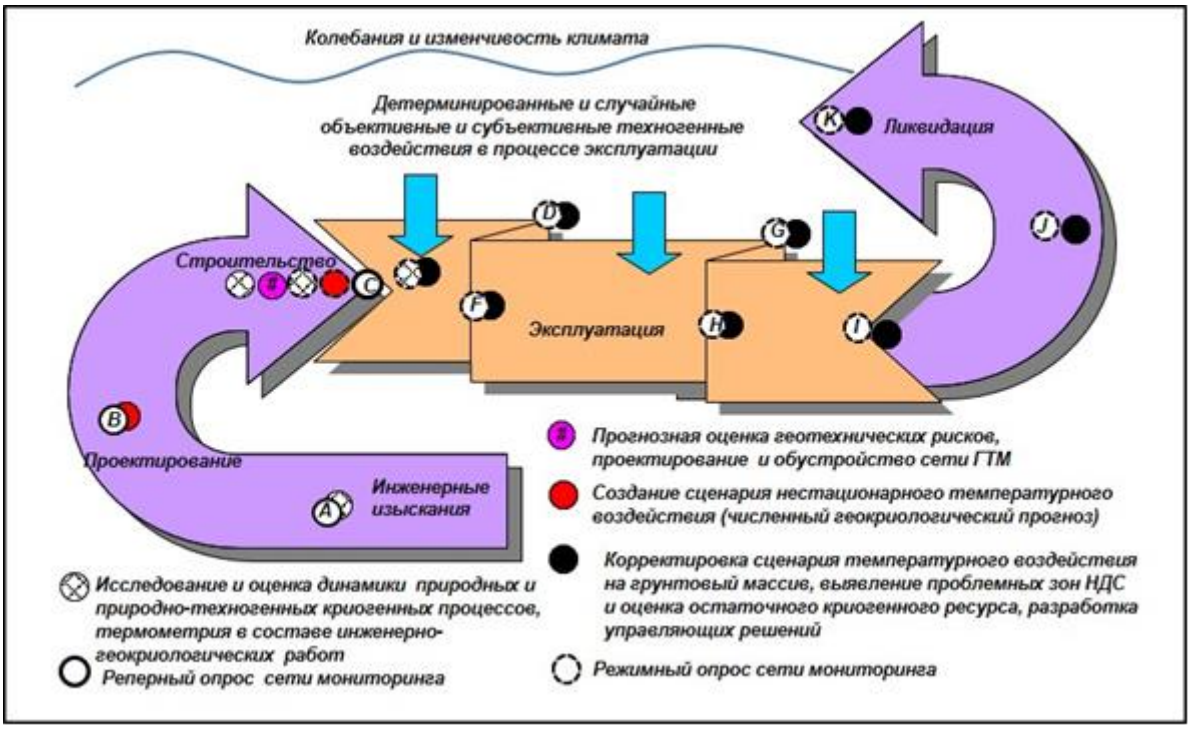


Рис. 2. Блок-схема исследований и организации работ по геотехническому мониторингу линейной части магистрального газопровода [9]

Всего было обследовано 266 участков (174 опасных участка линейной части и 92 площадки крановых узлов). Установлено, что наиболее распространенным криогенным процессом является неравномерное пучение грунтов, подтверждена современная активность наледеобразования, карста и суффозии. Рекомендовано для дополнительного изучения с применением геофизических и буровых работ и обустройства сетями ГТМ 54 опасных участка, где отмечена современная активность негативных природных и природно-техногенных процессов [9].

На этапе геофизических исследований и буровых работ с использованием электротомографии и георадиолокационного зондирования на участках с современной и потенциальной активностью опасных криогенных процессов были выявлены контуры и интервалы с геотехнически опасными характеристиками грунтов оснований. В задачи исследований на этом этапе входило определение мощности рыхлых отложений, льдистости грунтов, их мощности, глубины протаивания или промерзания, либо положения кровли ММП, положение контуров талых и мерзлых зон, а также карстовых полостей, влажности (льдистости) заполняющих их грунтов и положения кровли ММП. Были пройдены заверочные (в зоне трассы) и фоновые скважины (на расстоянии 100–150 м от оси трассы, обустроены для выполнения режимных наблюдений) с отбором керна из всех встреченных литологических разновидностей грунтов для определения физико-механических, водно-физических и теплофизических свойств и характеристик пород разреза. После выстойки в скважинах были выполнены геотермические исследования.

На этапе анализа проектных решений оценивалась неоднородность геокриологических условий, анализировались данные о способах прокладки и проектном положении трубопровода, материале труб, балластирующих устройств, засыпки, прочих вспомогательных технических средств, тепловом и температурном режимах работы газопровода, технические решения по ГТМ, производилась типизация всех исследованных участков, подготовка данных к численному моделированию и прогнозным расчетам.

Прогнозная оценка мерзлотно-климатических рисков показала, что в связи с вырубкой леса под просеку в зоне магистрального газопровода на участках с температурой многолетнемерзлых пород (ММП) около –0,5ºС при сохранении региональной тенденции потепления климата в 2015–2016 гг. возможно формирование устойчивых перезимков, затем начнется процесс опускания кровли ММП (к 2052 году она достигнет глубин 10–11 м), на участках с залежами подземного льда сопровождающийся термокарстом. Поэтому технология транспорта газа со знакопеременным в годовом цикле температурным режимом на начальном этапе эксплуатации приведет на большей части МГ к неравномерному пучению грунтов, что характеризуется высоким удельным геотехническим риском [9].

Температура транспортируемого газа на начальном этапе эксплуатации в холодный период года принимает отрицательную температуру (первый год – на протяжении более 1 400 км, второй год – более 1 000 км, третий год – около 700 км, четвертый и шестой годы – около 100 км), что благоприятно для проявления и развития негативных криогенных процессов (неравномерного пучения грунтов основания с избыточным льдовыделением и последующей неравномерной осадкой при их оттаивании) на участках с водонасыщенными грунтами, а также наледеобразования на участках, где оно происходило до начала строительства или в связи с изменением мерзлотно-гидрогеологических условий под воздействием техногенеза. Кроме этого, радикальное прямое и

косвенное техногенное изменение мерзлотно-гидрогеологических условий на участках распространения карстующихся пород, перекрытых песчаными и супесчаными грунтами, благоприятно для развития суффозии.

На заключительном этапе исследований выполнялось прогнозное моделирование и дополнительные расчеты. Моделировалось влияние естественных и техногенных изменений природной обстановки (вырубка леса, насыпи, изменение снежного покрова и т.д.) на тепловой режим грунтов во взаимодействии с окружающей средой. Были разработаны модели и выполнены прогнозные теплотехнические расчеты ореола оттаивания грунта вблизи газопровода при различных вариантах прокладки. На основе результатов прогнозных расчетов выполнялась оценка величины пучения или осадки линейных сооружений в мерзлых грунтах.

Таким образом, основными результатами, полученными при выполнении исследования, направленными на обеспечение своевременного решения ключевых задач создания, как собственно системы ГТМ, так и ее информационной базы являются:

– фиксация местоположения очагов опасной активизации криогенных и сопутствующих процессов, приводящих к нарушению устойчивости грунтовых оснований при обследовании участков линейной части трассы как в период, так и после завершения укладки трубопровода;

– получение необходимых для кондиционного геокриологического численного прогноза фактических данных о теплофизических характеристиках пород по всему разрезу заверочных и фоновых скважин для 54 опасных участков, а также по теплофизическим характеристикам грунтов деятельного слоя и напочвенных покровов;

– предложения по корректировке размещения сети режимных наблюдений ГТМ на участках линейной части трассы с развитием ММП и опасными криогенными процессами для наблюдения и фиксации изменений геокриологических условий на этапах строительства и эксплуатации и т.д.;

– обустройство сети мониторинга трассы МГ фоновыми геотермическими скважинами на участках с особо опасными геокриологическими условиями.

Список литературы

1. Алексеев В.Р. Подземные льды и гидротермическое движение грунтов на наледных участках речных долин // Лед и снег. 2015. №1. С. 69–88.
2. Дмитриев А.А., Белязо В.А., Гудошников Ю.П. Ритмические колебания земных природных процессов и их гравитационная обусловленность. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2011.
3. Константинов И.П., Гурьянов И.Е. Расчетная оценка усилий и напряжений на деформированных участках газопровода Мастах-Якутск // Криосфера Земли. 2001. Т. V. № 2. С. 68–75.

4. Махутов Н.А., Лыглаев А.В., Большаков А.М. Хладостойкость (метод инженерной оценки). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011.
5. Попов А.П. Управление надежностью геотехнических систем газового комплекса в криолитозоне. Прогноз состояния и обеспечение надежности. Известия высших учебных заведений // Нефть и газ. 2005. № 4. С. 6–16.
6. Попов А.П. Технология геотехнического мониторинга в криолитозоне // Инженерные изыскания. 2009. № 4. С. 20–33.
7. Практика использования нормативов по инженерным изысканиям РСН 67-86 при проектировании линейных объектов магистральной газотранспортной системы «Бованенково-Ухта» // А.П. Попов, В.В. Самсонова, А.А. Усачев, В.А. Егоров, А.В. Петров, И.А. Дуденко, М.А. Бережной // Инженерные изыскания. 2010. № 4. С. 58–67.
8. Рузов Ю.В., Самсонова В.В. Криогенные процессы как фактор риска в районах распространения многолетнемерзлых грунтов // Материалы международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению, посвященной XX-летию ООО НПО «Фундаментстройаркос», Тюмень, 7–10 ноября 2011. Тюмень: Сити-Пресс, 2011. С. 361–364.
9. Самсонова В.В. Геотехнический мониторинг на этапе строительства магистрального газопровода «Сила Сибири» // Материалы XI Международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения, г. Магадан, 5–8 сентября 2017 г.: тезисы докладов. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2017. С. 306–307.
10. Самсонова В.В., Дручина О.Е. Самсонова М.А. Прогнозная оценка мерзлотно-климатических геотехнических рисков строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9-й Международной конференции «ГЕОРИСК-2015», Т. 2. М.: РУДН, 2015. С. 523–530.
11. Самсонова В.В., Киприянова Л.Д. Активные карстовые воронки в бассейне Средней Лены // Географические исследования Якутии: история, современность и перспективы: материалы. всероссийской. науч-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня создания Якутского отдела Императорского Русского географич. общ-ва (21–22 августа 2013 г.). Якутск: ООО «Издательство Сфера», 2014. С. 149–154.
12. Типизация геокриологических условий и прогнозное моделирование как основа проектирования систем геотехнического мониторинга трубопроводов / В.В. Самсонова, Б.А. Манухин, А.П. Попов, О.Е. Дручина // Материалы международной конференции «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения». 2008. С. 154–157.

13. Samsonova V., Berezhnoi M., Reutskikh N. Geotechnical risks associated with construction and operation of gas production and transportation facilities in the Siberian permafrost regions // Journal of Engineering of Heilongjiang University (Special Edition of the 10th International Symposium on Permafrost Engineering, 2014). 2014. Vol. 5. № 3. P. 147–154.

Васильчук Ю.К.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, географичкий факультет, кафедра геохимии ландшафров и географии почв, г. Москва, vasilch_geo@mail.ru

КРИОЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ГЕНЕЗИС ЕДОМНЫХ ТОЛЩ, ВКЛЮЧАЮЩИХ ЩЕБНИСТЫЕ И ГРАВИЙНО-ГАЛЕЧНИКОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Мощные сингенетические повторно-жильные льды обычно встречаются в едомных толщах в долинах рек, на побережьях морей и озер, в горных и предгорных районах они изучены гораздо меньше (рис. 1) – мощные позднеплейстоценовые сингенетические жилы встречены в котловинах Верхнеколымского нагорья, в пределах речных долин Восточного Саяна, Оленек-Анабарского пластового плато (рис. 2).

Рис. 1. Расположение едомных толщ, упоминаемых в данной работе: 1 – Батагайская; 2 – Феникс и Утиная в котловинах Верхнеколымского нагорья, Магаданская область; 3 – повторно жильные льды в районе хребта Черского, оз. Момонтай; 4 – повторно жильные льды на о. Врангеля; 5 – повторно жильные льды в долине р.Амгуэмы; 6 – повторно жильные льды близ г.Анадырь; 7 – на склонах гор Центральной Якутии; 8 – на террасах в котловинах Оленек-Анабарского пластового плато; 9 – повторно жильные льды в едоме Быковского полуострова

Юго-западнее устья р. Утиная, выше по течению Колымы, в нескольких километрах от г.Синегорье, в 25 км южнее пос. Ясный (62º15' с.ш., 150º45' в.д.) располагается золотоносный прииск «Феникс», где в среднегорье, в долине небольшого ручья Ясный, впадающего в Колыму справа, на склоне на абсолютной высоте 412–434 м, залегает позднеплейстоценовый полигонально-жильный комплекс, выраженный в рельефе в виде полого-наклонной террасы. В

нижней части разреза вскрываются песчано-галечниково-щебнистые отложения мощностью около 1 м (рис. 2).

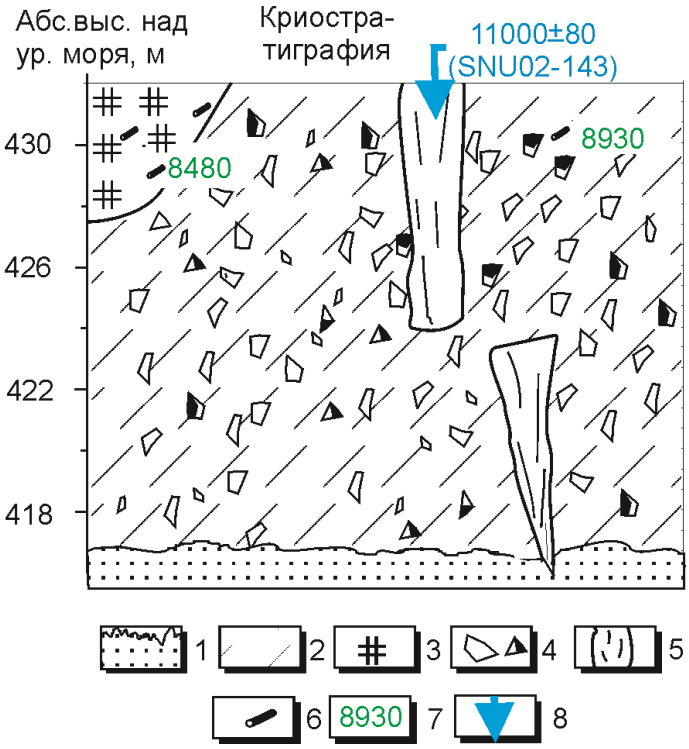


Рис. 2. Строение опорного криолитологического разреза позднеплейстоценового ледового комплекса Феникс в склоновых отложениях в долине ручья Ясный, правого притока р.Колымы. Изотопно-кислородные диаграммы повторно-жильных и текстурных льдов: 1 – песок; 2 – опесчаненная супесь; 3 – торф, корешки и аллохтонный детрит; 4 – щебень и дресва; 5 – сингенетический позднеплейстоценовый повторно-жильный лед; 6 – отбор образцов на радиоуглеродный анализ и возраст, лет назад: 7 – голоценовый; 8 – позднеплейстоценовый – по микровключениям органики в повторно-жильном льду

Выше с четким контактом, отделяющим их от нижней толщи, залегает 15–16-метровая толща с крупным (5–15 см) щебнем, насыщенная текстурообразующим льдом – до 50–60% общего объема породы.

Система мощных двухъярусных сингенетических повторно-жильных льдов рассекает всю толщу. Высота ледяных жил нижнего яруса около 9–10 м, лед в нижней части желто-серый. Ледяные жилы верхнего яруса сложены прозрачным, реже светло-серым вертикально полосчатым льдом. Ширина жил обоих ярусов составляет 1,2–1,5 м, они несколько расширяются вверх. В нижней части обнажения в щебнисто-супесчаной толще встречается торф с корнями, ветками и обломками стволов лиственницы.

В разрезе «Феникс» получены две радиоуглеродные даты из древесины в основании торфяной вкладки: 8 480 ± 50 лет (ГИН–8 923) и 8 930 ± 60 лет (ГИН–8 924), что отчасти подтвердило доголоценовый возраст едомной толщи. Принципиально важным было получение нами в 2003 г. AMS датировки микроорганики из верхней части жилы верхнего яруса 11 000 ± 80 лет (SNU02-

143). Она в полной мере подтвердила наше предварительное заключение заверении формирования толи в разрезе Феникс около 11 тыс. лет назад.

Интересно рассмотреть также данные по разрезу Утиное. Здесь едома вскрывается в долине ручья Утиный, правого притока р.Колымы в ее верхнем течении (62º30′ с.ш., 151º25′ в.д.) – на абс. высотах 330–335 м (рис. 3).

а)

б)

Рис. 3. Строение опорного криолитологического разреза позднеплейстоценового ледового комплекса в склоновых отложениях в долине ручья Утиное, правого притока р.Колымы в ее верховьях: 1 – песок; 2 – опесчаненная супесь; 3 – торф, корешки и аллохтонный детрит; 4 – щебень и дресва; 5 – сингенетический позднеплейстоценовый повторно-жильный лед; 6 – отбор образцов на радиоуглеродный анализ: а – по торфу и корешкам, б – по древесине; лед; 7 – радиоуглеродный возраст

Обнажение представляет собой фестончатый ряд обрывов мощностью 3–4 м (см. рис. 3, *а*), со значительным содержанием в толще неокатанного щебня величиной 10–12 см (рис. 4) и остатков растений, а в верхней части разреза и остатков древесины. В этой насыщенной органикой толще вскрыты повторно-жильные льды мощностью около 4 м, при ширине жил 1,8–2 м.

Рис. 4. Неокатанный щебень размером до 10–12 см во вмещающих сингенетические ледяные жилы склоновых отложениях в опорном криолитологическом разрезе позднеплейстоценового ледового комплекса в склоновых отложениях в долине ручья Утиное, правого притока р.Колымы

Судя по ^{14}C датировкам ледовый комплекс, вскрытый в разрезе Феникс, начал формироваться в интервале от 35 до 25–30 тыс. лет назад, одновременно с толщей, вскрытой в разрезе Утиное (см. рис. 3, *б*), что подтверждает сходство изотопных диаграмм обоих разрезов.

Выполненные нами в Колымском среднегорье исследования едомных толщ показали, что склоновые отложения, насыщенные крупнообломочным материалом, не препятствуют формированию в них мощных сингенетических повторно-жильных льдов, это подтверждено и другими исследованиями (рис. 5, 6).

Рис. 5. Повторно-жильные льды в склоновых отложениях, прииск в 70 км от озера Момонтай. Озеро Момонтай (63°41'34"с.ш., 148°8'52" в.д.) находится, в отрогах хребта Черского, в Сусуманском районе Магаданской области (384 км к северу от Магадана). Фото А. Алексеева

Рис. 6. Повторно-жильные льды и щебень в склоновых отложениях, прииск в 70 км от озера Момонтай, фрагмент. Фото А.Алексеева

Как в настоящее время, так и в прошлом подобные льды возникали в склоновых отложениях, сносимых гравитацией к подножию склона, и достигали мощности 10 м и более. Тем самым поставлены под сомнение представления о единой природе едомных толщ – эоловой ил аллювиальной и т.д.

Такие же толщи с мощными повторно-жильными льдами в супесчаных отложениях с обилием щебнистого материала наблюдали и сотрудники Института мерзлотоведения СО РАН им. П.И. Мельникова (рис. 7).

а)

б)

Рис. 7. Повторно-жильные льды в щебнистых грунтах в межгорных котловинах центральной Якутии. Из презентации М.Н. Железняка [4]

Среди четвертичных аллювиальных отложений Оленек-Анабарского пластового плато. По А.Ю. Деревягиным и С.Ф. Хруцким [3] выделяются два основных типа разреза. Первый тип характеризуется маломощным чехлом рыхлых синкриогенных отложений, перекрывающих сильно выветрелые эпикриогенные коренные породы, он свойствен современным долинам, с инстративным типом осадконакопления. Второй тип разреза характерен для долин с перстративным типом аккумуляции. Чехол рыхлых отложений, залегающий на эпикриогенных коренных породах характеризуется наличием в разрезе повторно-жильных льдов, залежей пластовых льдов и линз льдогрунта. Преобладающие криогенные текстуры для отложений более грубого механического состава – корковая, массивная, линзовидная; для отложений более тонкого механического состава – мелкошлировая линзовидная, слоистая, сетчатая. В отложениях первой-третьей террас часто встречаются повторно-жильные льды, причем не только в тонкодисперсных, но и в грубодисперсных (с песчаным заполнителем) отложениях (рис. 8).

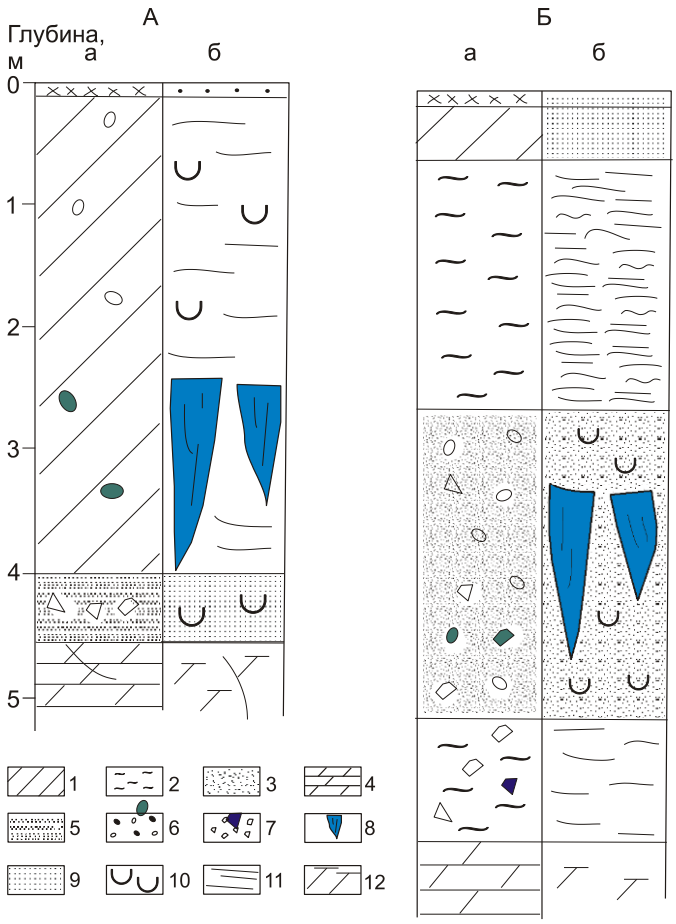


Рис. 8. Повторно-жильные льды в пределах Оленек-Анабарского пластового плато. По А.Ю. Деревягину и С.Ф. Хруцкому [3]: А – на первой надпойменной террасе; Б – на третьей надпойменной террасе (а – литология, б – криотекстура): 1 – суглинки; 2 – супеси; 3 – пески; 4 – доломиты трещиноватые; 5 – доломитовая мука; 6 – гравийно-галечниковые отложения; 7 – дресвяно-щебнистые включения; 8 – повторно-жильные льды; криотекстуры: 9 – массивная; 10 – корковая; 11 – слоистая; 12 – пластово-трещинная

При изысканиях под строительство Амгуэмской ГЭС в бортах долины шурфами глубиной до 20 м вскрыты типичные склоновые отложения позднеплейстоценового возраста с сингенетическими повторно-жильными льдами (рис. 9, *а*).

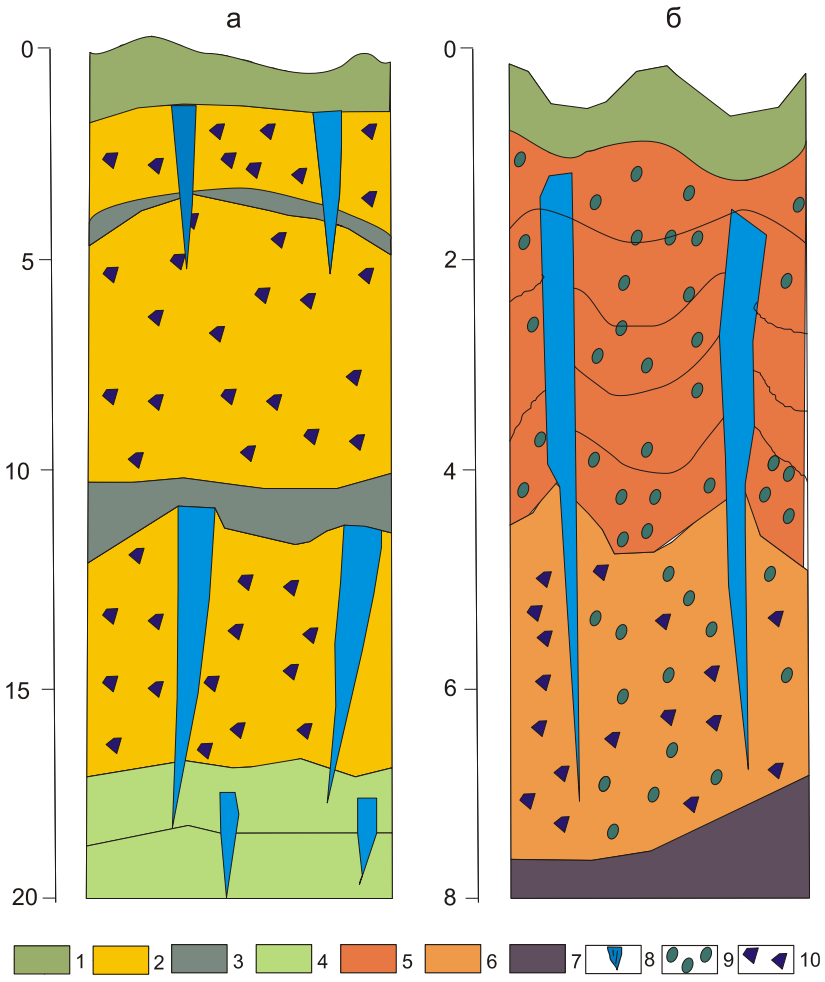


Рис. 9. Повторно-жильные льды в синкриогенных толщах с гравием и галечником: а – в долине р.Амгуэмы, б – на о. Врангеля. По А.Н.Котову [5]: 1 – почвенно-растительный слой; 2 – пески коричневато-серые с включениями щебня и дресвы; 3 – торф; 4 – пески мелкие зеленовато-серые; 5 – пески бурые с прослоями гравия; 6 – гравийно-галечниковые отложения с песчаным заполнителем; 7 – коренные породы; 8 – повторно-жильные льды; 9 – гравий и галечник; 10 – щебень и дресва

Вмещающие жилы породы представлены коричневато-серыми супесями с включениями дресвы и щебня размерами до 5 см. По разрезу отмечаются растительные остатки в виде веточек и корешков кустарничка и травы без видимых следов водной обработки. На глубине 11–12 м встречен слой осокового торфа мощностью до 80 см. Из этого слоя была получена радиоуглеродная дата 20 600 ± 600 лет (МАГ-1309). В том же шурфе с глубины 3,0 м от поверхности из верхнего слоя торфа была получена радиоуглеродная дата 5 390 ± 30 лет (МАГ-1311).

А.Н. Котов [5] наблюдал в шурфе три яруса повторно-жильных льдов (см. рис. 9, *а*), два нижних являются погребенными, верхние жилы, видимо, продолжают формироваться и в настоящее время.

Наиболее мощные повторно-жильные льды встречены на глубине 11–18 м, ширина их поверху достигает 1 м. повторно-жильных льдов имеют наклон до 30° от вертикали. Лед характеризуется типичной субвертикальной полосчатостью, обусловленной элементарными грунтовыми жилками и субвертикально ориентированными газовыми включениями. Криогенная текстура вмещающих отложений порфировая с корками льда вокруг обломочного материала толщиной до 1 см.

Позднеплейстоценовые отложения ледового комплекса на острове Врангеля имеют крайне ограниченное распространение. Они были изучены А.Н. Котовым [5] в обнажении, расположенном по правому борту руч. Веселый – правого притока р. Мамонтовая. Ручьем подмывается останец шириной 50 м и высотой до 6,7 м. В основании разреза наблюдаются коренные породы (сланцы), которые в виде щеток прослеживаются в русле руч. Веселый. До высоты 3,0 м от уреза воды в ручье залегают щебнисто-дресвяные отложения с включениями слабоокатанной гальки с песчаным заполнителем темно-серого цвета (рис. 9, б). Перекрываются эти породы разнозернистыми песками темно-серого цвета с невыдержанными прослоями и линзами слабоокатанного гравия. Толщина таких прослоев до 12 см, расположены они на расстоянии 20–30 см друг от друга. Наблюдаются также редкие включения галечника диаметром до 1,5 см. С высоты 5,7 м прослеживаются разнозернистые пески бурого цвета с отдельными линзочками торфа. Венчается разрез маломощным (10–15 см) почвенно-растительным слоем, представленным оторфованной коричневатой супесью с прослоями чистого торфа. Общая высота обрыва в месте расчистки составляет 6,2 м.

По своему составу, слабой сортировке дисперсного материала и различной степени окатанности обломочного материала, положению в рельефе – это, по мнению А.Н. Котова (2002) типичные пролювиальные отложения, возможно, с участием склоновой составляющей, генезис их может быть определен как пролювиально-делювиальный.

Поперек одной из межполигональных канав был пройден шурф. Повторно-жильный лед был вскрыт на глубине 55 см. Ширина ледяной жилы вкрест простирания составила 1,62 м. Лед по всей ширине жилы с четкой полосчатостью, отмечаются элементарные жилки песка шириной до 1 мм, расположенные достаточно часто (через 1–2 см).

Вблизи г.Анадырь мощные повторно-жильные льды, пронизывающие пластовую ледяную залежь встречены и автором [12], и А.Н. Котовым (рис. 10).

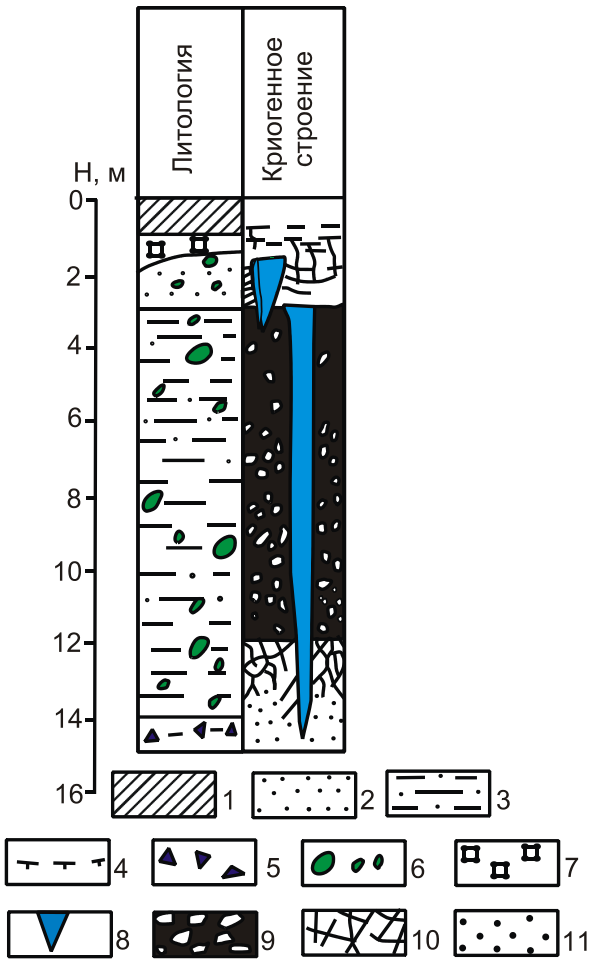


Рис. 10. Повторно-жильные льды в синкриогенной толще с гравием и галечником, близ г. Анадырь. По данным А.Н. Котова: 1 – техногенные насыпные грунты: 2 – песок; 3 – супесь; 4 – верхняя граница ММП; 5 – щебень и дресва: 6 – валуны, галечник и гравий; 7 – торф; 8 – повторно-жильный лёд; 9 – пластовый лёд. Криолитогенные текстуры: 10 – шлировая: 11 – массивная

В долинах р.р. Уды, Бирюсы и Гутары, запад Иркутской области (54° с.ш., 97° в.д.) мощные повторно-жильные льды в дресвяно-щебнистых грунтах Восточного Саяна описал С.С. Осадчий (рис. 11).

Здесь плейстоценовые повторно-жильные льды приурочены к перигляциальной области плейстоценового оледенения на высотах 1000–1600 м и встречены при проходке горных выработок на пологих и средней крутизны северных склонах речных долин с мощностью рыхлого чехла 3–5 м и более и на речных террасах. Повторно-жильные льды залегают на глубине 1,5–2,5 м (см. рис. 11), имеют ширину в верхней части 0,1–0,8 м, проникают на глубину до 17 м (чаще до 7 м) и вытягиваются вдоль склонов на десятки метров.

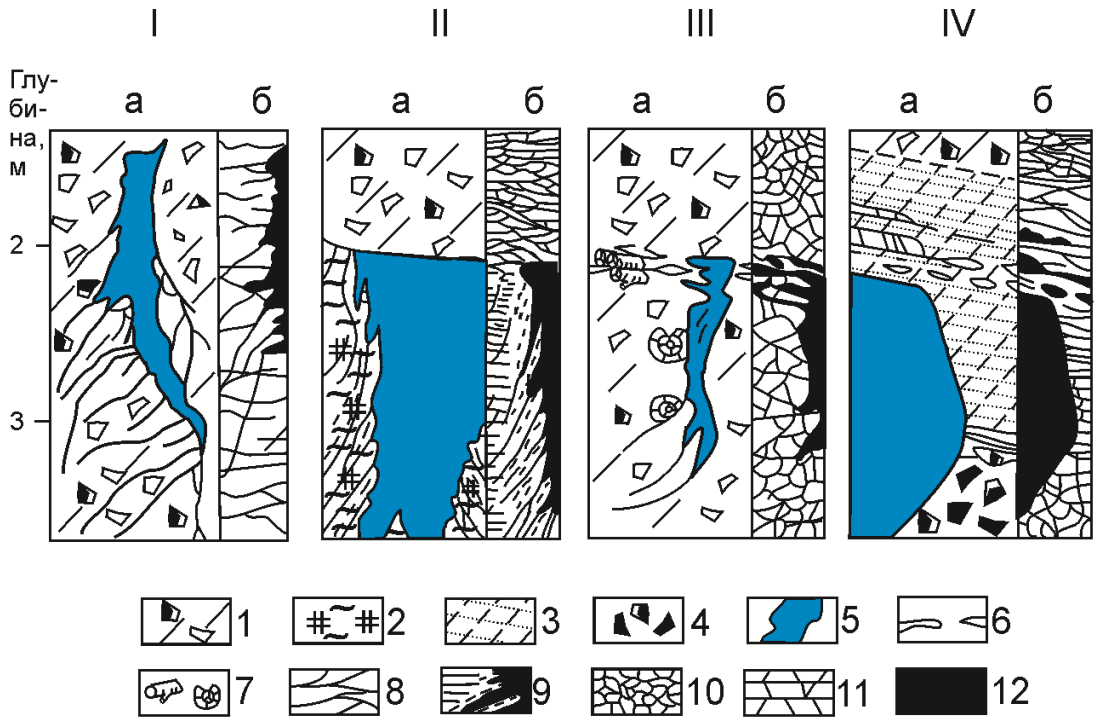


Рис. 11. Формы ледяных жил (а) и криотекстуры вмещающих отложений (б) в долине р.Бол. Бирюса (54° с.ш., 97° в.д.), центральная часть Восточного Саяна. По С.С. Осадчему [6]: I – жила на правобережной террасе в устье руч. Хорой-III, абс. выс. 1 175 м; II, III и IV – жилы в левом борту долины, в 500 м ниже устья руч. Мал. Исселей, на террасах высотой 15–20 м, абс. выс. 1 140 м: 1 – щебень с несортированным мелкоземом и обломками; 2 – торфяно-илистые отложения; 3 – супесь; 4 – грубообломочные отложения; 5 – повторно-жильный лед; 6 – линзовидные прослои льда; 7 – обломки погребенной древесины; Криогенная текстура: 9 – неяснослоистая; 10 – тонкая параллельнослоистая на контакте со льдом; 11 – изометрично-сетчатая базальная; 12 – смешанная, переходная от неяснослоистой к изометрично-сетчатой; 13 – лед

При интерпретации генезиса отложений, вмещающих сингенетические повторно-жильные льды, как аллювиальных (к чему тяготел А.И. Попов [7]) одной из главных проблем было отсутствие у большинства жил, встреченных в разрезах аллювиальных равнин и террас русловой фации аллювия.

В заметной мере это компенсировалось описанием разреза Быковской едомы в районе мерзлотной станции. В этом разрезе встречено циклическое залегание нескольких ярусов повторно-жильных льдов — автором [2] отмечено от 3 до 5 горизонтов, представленных переслаивающимися песками, супесями, слоями с комочками торфа, глин (рис. 12, 13).

Особое наше внимание привлекли слои, представленные крупным и мелким гравием, часто гравием насыщены и горизонты песков или глин. Интересно, что встречено два слоя торфа подстилающего гравийные толщи, в грунтовых-торфяных жилах отходящих вниз от подошвы этих двух торфяных слоев отмечается повышенное содержание гравия (см. рис. 12). В этом разрезе

отмечено от 3 до 5 горизонтов, представленных переслаивающимися песками, супесями, слоями с комочками торфа, глин [2].

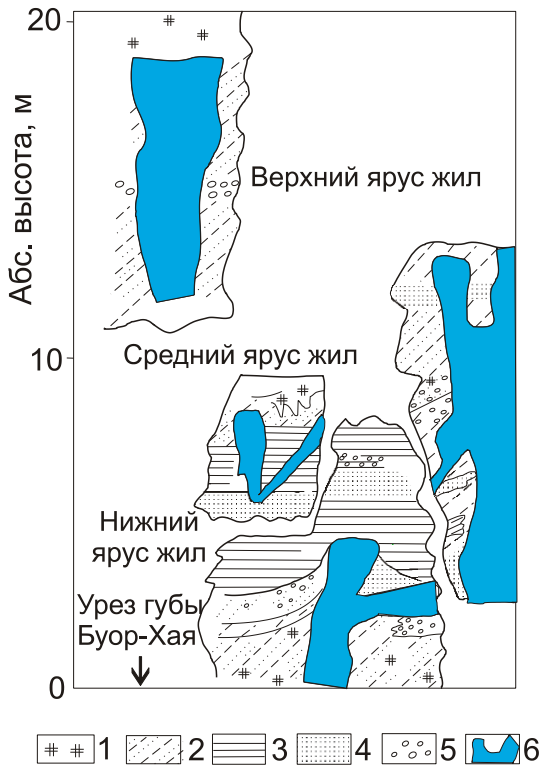


Рис. 12. Характер ярусного расположения повторно-жильных льдов в дельтовых отложениях Быковской едомы, устье р.Лены. 1 – торф; 2 – супесь опесчаненная; 3 – глина; 4 – песок; 5 – гравий и галька; 6 – сингенетический повторно-жильный лед

Рис. 13. Повторно-жильные льды в едомной толще с прослоями гравия и галечника, Быковский полуостров

Самой примечательной особенностью этой едомной толщи являются выдержанные прослои гравия и галечника различной крупности (рис. 14). Таких прослоев в толще несколько.

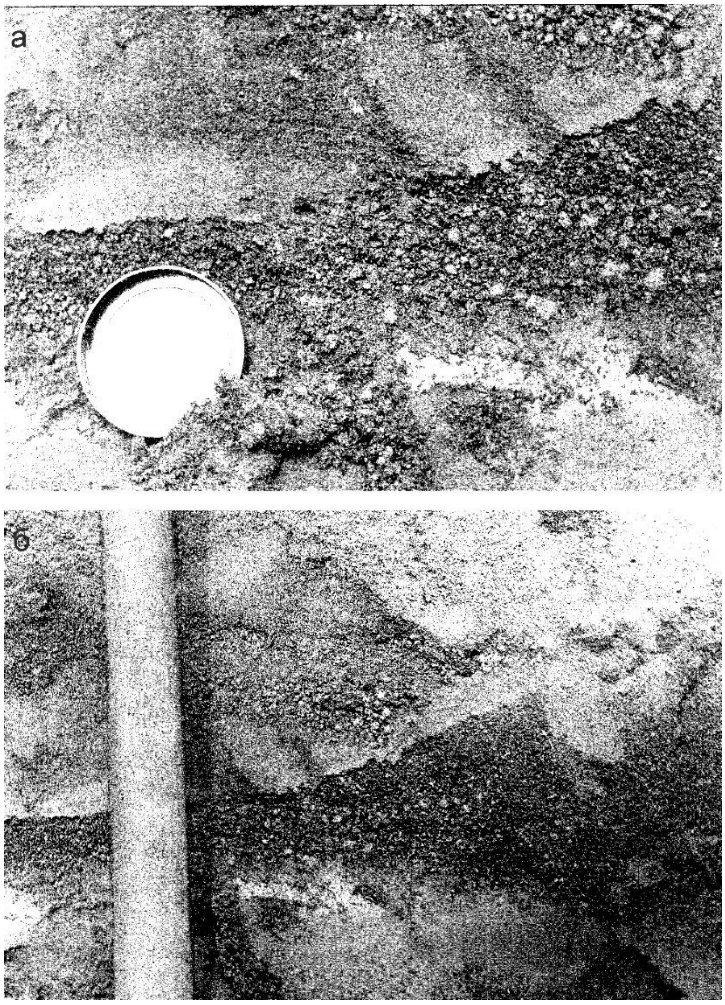


Рис. 14. Гравийно-галечниковые прослои в едомной толще Быковского полуострова: а – галечник, б – гравий

Для понимания характера осадконакопления и режима формирования жил в едомной толще интересно рассмотреть строение разреза лайды, возвышающейся на 1 м над современным пляжем губы Буор-Хая. Здесь сверху залегает торф мощностью до 0,6–0,7 м, включающий ростки жильных льдов, над которыми располагаются грунтовые жилки. Над торфом тонкий прослой супеси. Торф подстилается гравелистым песком. Таким образом, в строении лайды отмечается та же грунтовая триада, которая периодически встречается на разных высотах в циклической едомной толще в разрезе позднеплейстоценовой террасы. Во всех случаях к оторфованным прослоям приурочены головы мощных ледяных жил, залегающих на разных глубинах в едомной толще.

Причинами формирования мощных сильнольдистых едомных толщ служат скорее длительно существовавшие суровые климатические условия и устойчивая тенденция накопления сравнительно мощных толщ, возможно, связанная с

проявлением неотектоники в позднем плейстоцене – непродолжительными периодами опускания территорий и активного накопления осадочных толщ, прерывавшихся гораздо более длительными периодами временной стабилизации участков, когда субаквальный режим сменялся субаэральным.

В эти периоды ледяные жилы активно росли в накопившихся отложениях, особенно на увлажненных участках (торфяниках, поймах), а затем режим седиментации вновь менялся на субаквальный и над ледяными жилами накапливался новый слой осадков, в которых мощные ледяные жилы начинали расти уже после некоторого обмеления бассейна седиментации (ручья, реки или озера).

Сочетание постоянного привноса нового крупнообломочного и тонкодисперсного материала и достаточного увлажнения временными водотоками способствовали почти непрерывному сингенетическому повторно-жильному льдообразованию, и этим, вероятно, некоторые едомы склонового типа принципиально отличаются от равнинных – аллювиальных, озерных и других, где периоды субаэрального роста ледяных жил прерывались периодами накопления отложений.

Разрез аллювиально-пролювиальных отложений с мощными повторно-жильными льдами наблюдался О.Г. Боярским, А.Б. Чижовым, Н.И. Чижовой и др. на правобережье р. Олекмы на междуречье р.р. Имангры (56º39′ с.ш., 120-121º в.д.) и Хани. Здесь руч. Балтылах (правый приток р. Имангракан – 56º47′ с.ш., 121º02′ в.д.) в правом борту в 0,5 км от устья подмывает террасовидную поверхность (террасо-увал) высотой 7–8 м (рис. 15).

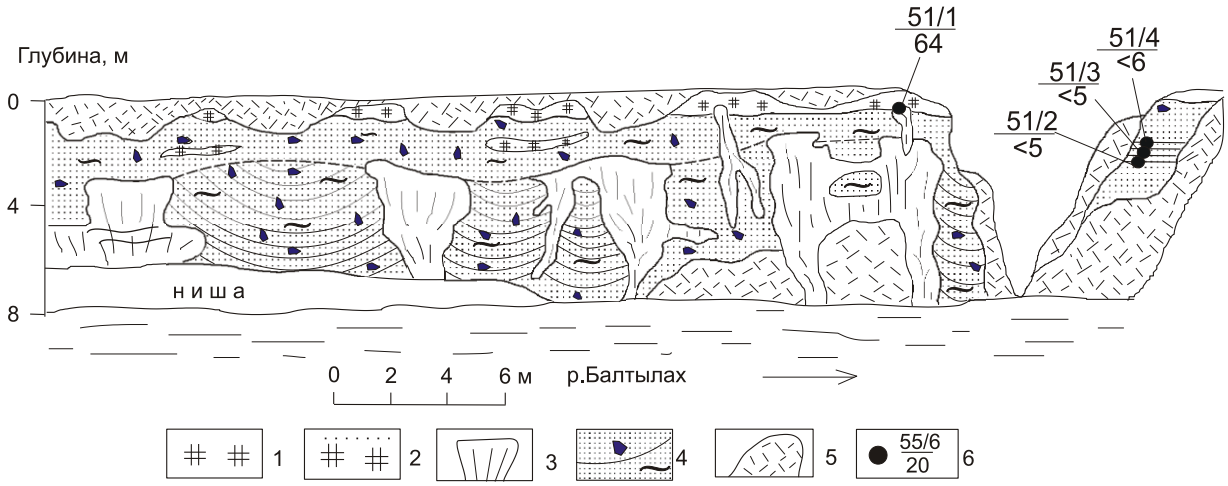


Рис. 15. Парагенез позднеплейстоценовых и голоценовых жил в аллювиально-пролювиальных отложениях на правобережье ручья Балтылах в 0,5 км выше его впадения в р.Имангракан, восточное Забайкалье, Тындинский район, около 20 км южнее трассы БАМ (зарисовка О.Г.Боярского – по А.Б.Чижову и др. [8]): 1 – торф; 2 – торф с примесью минеральных частиц; 3 – повторно-жильный лед; 4 – песок мелкий пылеватый с линзами и прослоями песка среднего и крупного с дресвой и мелким гравием; 5 – оползни и оплывины; 6 – местоположение отбора образцов на тритиевый анализ: в числителе – номер образца, в знаменателе – содержание трития в ТЕ

В крутой излучине ручья на протяжении около 50 м в почти отвесной стенке высотой 7–8 м наблюдались два слоя, отличающиеся по составу и характеру слоистости пород и морфологией повторно-жильных льдов.

Верхняя часть разреза представлена торфом темно-коричневым, плохо- и среднеразложившемся, мощностью 0,5–0,8 м. Ниже залегает песок тонкий и мелкий, пылеватый, оторфованный в верхней части, в нижней – с линзами и прослоями песка средне- и грубозернистого с дресвой. Мощность слоя изменяется от 1,5 до 2,5 м. В нижней части этого слоя содержание дресвы увеличивается до 20–25%. Криогенная текстура преимущественно частая тонколинзовидная (толщина шлиров от 2 до 10 мм), участками тонкосетчатая, с гнездами льда до 0,5 см.

В правой части обнажения наблюдаются повторно-жильные льды шириной в верхней части 0,35–0,4 м. Нижние концы жил проникают в нижележащие отложения, вертикальная протяженность их 2–4 м. Здесь непосредственно под слоем протаивания (с глубины 0,5 м) наблюдался ледяной росток шириной 2–3 см, вклинивающаяся в “голову” жилы, залегающую на глубине 0,65 м. Высокое содержание трития (64 ТЕ) в образце льда из жилы с глуб. 0,8 м, по мнению Н.И. Чижовой и А.Б. Чижова говорит о том, что рост повторно-жильных льдов происходит в настоящее время

В разрезе нижнего слоя наблюдаются повторно-жильные льды двух генераций, скорее всего позднеплейстоценового возраста. Ширина повторно-жильных льдов в верхней части от 2 м до 3,4 м. Головы жил залегают на глубине 1,8–3,0 м. Видимая вертикальная протяженность жил (до уреза воды) – 5,0–6,5 м, ширина их на уровне уреза 0,5–1,0 м. Отложения, вмещающие крупные повторно-жильные льды – пылеватые тонкие и мелкие пески прослоями разнозернистого песка, с включениями большого количества дресвы (до 20–30%). В нижней части разреза появляется щебень.

Иногда полигоны, образованные современными жилами совпадает в плане с полигональностью позднеплейстоценовых жил, и тогда современные жилы могут внедряться хвостами в позднеплейстоценовые.

В англоязычной литературе не столь часто встречаются описания ледяных жил в гравийно-галечниковых или дресвяно-щебнистых толщах. Но все же нам удалось отыскать фото небольшой ледяной жилки (рис. 16).

Остановимся еще на голоценовых разрезах синкриогенных толщ с прослоями гравия и галечников с крупными повторно-жильными льдами.

На пойме, лайде, плоских аллювиальных террасах и на пологих склонах в долине р.Адвентсельва на Шпицбергене встречаются полигоны крупных, средних и мелких размеров [11]. Крупные полигоны (диаметром 7–30 м) характеризуются широкими (1–5 м) канавками, поросшими растительностью (рис. 17).

Зияющие открытые трещины (как правило, менее 1 см в ширину) обнаруживаются примерно в четверти канавок. Мощность повторно-жильных льдов в разрезе поймы р. Адвентсельва достигает 3–3,5 м (см. рис. 14, *а*). В разрезе поймы часто встречаются гравий и галечник.

Рис. 16. Небольшая ледяная жилка в гравийно-галечниковой толще формации “Boot Gully” на севере Юкона. Фото А. Хегинботтома и Ч. Тарнокая (из [9])

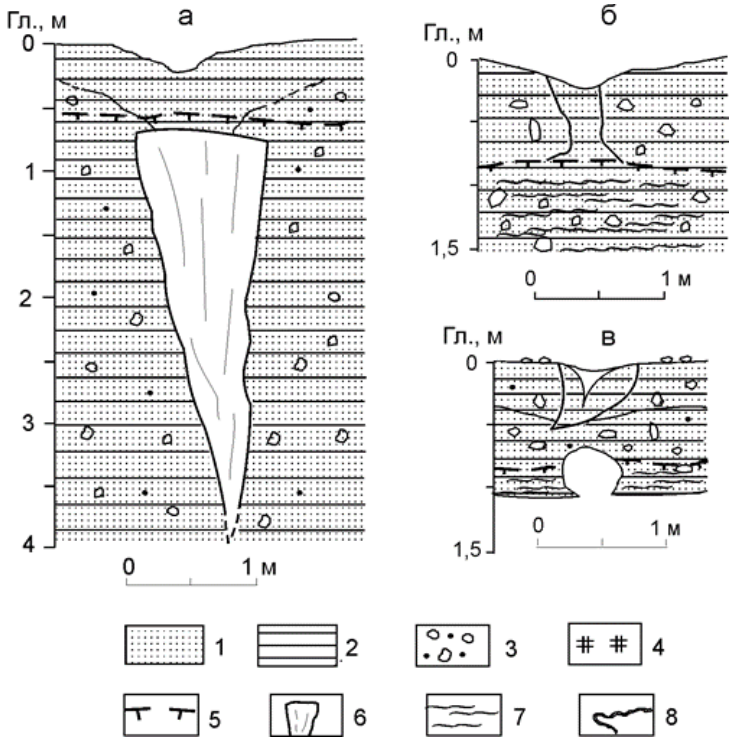


Рис. 17. Повторно-жильные льды в грунтах с гравийно-гелечниками в долине Адвендтален на Свальбарде (из [10]): 1 – песок; 3 – глина; 3 – гравий; 4 – торф; 5 – подошва сезонно-талого слоя; 6 – повторно-жильный лед; 7 – шлиры льда; 8 – оглеенные слои

В толще 2 террасы р. Студеной на о. Большевик, в архипелаге на Северная Земля В.Н. Бондарев, А.Г.Костяев и др. [1] встретили очень узкие

ледяные жилы, пронизывающие толщу террасы, практически сложенную гравием и галечником (рис. 18) с песчаным заполнителем.

Рис. 18. Повторно-жильные льды в толще 2 террасы р. Студеной в гравийно-галечниковой толще. Остров Большевик, Северная Земля. По В.Н. Бондареву и др. [1]

В пределах первой (8-метровой) террасы с крупными повторно-жильными льдами на правом берегу р.Чара, в 5 км от пос. Новая Чара автору встретилось сочетание несомненно сингенетических ледяных жил (рис. 19, 20) и мощных гравийно-галечниковых горизонтов во вмещающих отложения (рис. 21).

В разных фрагментах обнажения строение толщи первой террасы заметно варьирует: в одних случаях почти с поверхности залегают довольно чистые и крупные пески, в других они перекрыты торфом или более тонкодисперсными осадками. Литологические различия строения разных фрагментов разреза фиксируют разные фациальные условия времени формирования 8-метровой террасы, им в значительной мере отвечают и вариации в строении повторно-жильных льдов в отложениях разного состава. Но самым важным является непременное наличие ледяных жил как в тонкодисперсных осадках, так и в разнозернистых песках с прослоями гальки и гравия.

Рис. 19. Ледяные жилы в песчано-гравийных отложениях с прослоями гальки в разрезе первой террасы р.Чара: жила 4 (а) – фото В.Н. Зайцева, 1985 г.; жила 7 (б) – фото Д.О. Сергеева, 2006 г.

Рис. 20. Ледяные жилы (нефронтальный срез) в песчано-гравийных отложениях с прослоями гальки в разрезе первой террасы р.Чара. Фото В.С. Шейнкмана

Рис. 21. Песчано-гравийные отложения, вмещающие ледяные жилы (нефронтальный срез) в разрезе первой террасы р.Чара. Фото участников студенческой экспедиции, руководимой В.С. Шейнкманом

Интересно, что на поверхности террасы полигональный микрорельеф и современное растрескивание над ледяными жилами не наблюдаются.

В одном из фрагментов обнажения вскрыто переслаивание мелких и средних песков с горизонтами гравия и галечника мощностью до 0,5 м. Здесь встречены повторно-жильные льды высотой до 7 м. Крупные ледяные жилы залегают в песчаных отложениях с прослоями гравия на глубине 1 м и 5 м, соответственно. В старичной супеси под торфом на глубине 3 м вскрыта погребенная ледяная жилка [12].

Практически все изученные в толще первой террасы ледяные жилы являются сингенетическими и они, судя по более чем 10 ^{14}C датировкам начали формироваться около 9 тыс. лет назад, и активно росли в период голоценового оптимума [12].

Представленные материалы позволяют уверенно утверждать, что едомные толщи, включающие щебнистые и гравийно-галечниковые отложения,

имеют аллювиальный, озерный, делювиальный, а возможно иногда и пролювиально-делювиальный генезис, и участие эоловых процессов в их формировании весьма незначительно.

Благодарности

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования Московского университета имени М.В. Ломоносова тема с использованием масс-спектрометрического оборудования, приобретенного на средства Программы развития МГУ.

Список литературы

1. Бондарев В.Н., Боярская Т.Д., Костяев А.Г. Разрез II террасы р. Студеной с жильными льдами и погребенным торфяником // Стратиграфия и палеогеография позднего кайнозоя Арктики. Л., 1982. С. 74–81.
2. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К. Повторно-жильные льды долины реки Майн и реконструкция зимних палеотемператур воздуха Южной Чукотки 38–12 тысяч лет назад // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI. № 5. С. 27–41.
3. Деревягин А.Ю., Хруцкий С.Ф. Геокриологические условия Анабарского и Прианабарского регионов // Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М.: Недра, 1989. С. 183–227.
4. Железняк М.Н. Современное состояние и эволюция криолитозоны. Методы и оборудование для ее изучения: доклад / Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. 2014. http://www.omsketalon.ru/seminar_2014/pdf/2-geleznyak.pdf
5. Котов А.Н. Обстановки криолитогенеза пород ледового комплекса Чукотки в позднем плейстоцене // Криосфера Земли. 2002. Т. 6. № 3. С. 3–14.
6. Осадчий С.С. Повторно-жильные льды в Восточном Саяне и их стратиграфическое значение // Поздний плейстоцен и голоцен юга Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1982. С. 146–155.
7. Попов А.И. Особенности литогенеза аллювиальных равнин в условиях сурового климата // Известия АН СССР. Серия географическая. 1953. № 2. С. 29–41.
8. Применение тритиевого анализа при геокриологических исследованиях / А.Б. Чижов, Н.И. Чижова, В.В. Романов, И.К. Морковкина, О.Г. Боярский // Инженерная геология. 1985. № 3. С. 106–114.
9. Heginbottom J.A., Tarnocai C. Mackenzie delta and Inuvik // Guidebook to permafrost and related features of the Northern Yukon Territory and Mackenzie Delta, Canada. / Eds. H.M. French, J.A. Heginbottom. Alaska: University of Alaska, 1983. P. 113–146.

10. Matsuoka N., Hirakawa K. Critical polygon size for ice-wedge formation in Svalbard and Antarctica // Proceedings of Permafrost Sixth International Conference. Beijing, China, Wushan, Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993. Vol. 1. P. 449–454.
11. Oxygen Stable isotope variation in Late Holocene ice wedges in Yamal Peninsula and Svalbard / Yu.K. Vasil'chuk, N.A. Budantseva, H.H. Christiansen, Ju.N. Chizhova, A.C. Vasil'chuk, A.M. Zemskova // Geography, Environment, Sustainability. 2015. № 3(8). P. 36–54.
12. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Oxygen-Isotope and 14C Data Associated with Late Pleistocene Syngenetic Ice-wedges in Mountains of Magadan Region, Siberia // Permafrost and Periglacial Processes. 1998. Vol. 9. № 2. P. 177–183.
13. Vasil’chuk Yu.K., Vasil’chuk A.C., Stanilovskaya Ju.V. Early Holocene climate signals from stable isotope composition of ice wedge in the Chara Basin, Northern Transbaikalia, Russia // Geoscience Frontiers. Scopus. 2017. Vol. 8. Iss. 5. P. 1–13.

Васильчук Ю.К., Васильчук Дж.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, географичкий факультет, кафедра геохимии ландшафров и географии почв, г. Москва, vasilch_geo@mail.ru

БАТАГАЙСКАЯ ЕДОМА – УНИКАЛЬНЫЙ КРИОЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ

Введение

Мощные сингенетические повторно-жильные льды обычно встречаются в едомных толщах в долинах рек, на побережьях морей и озер, в горных и предгорных районах они изучены гораздо меньше – мощные позднеплейстоценовые сингенетические жилы встречены в котловинах Верхнеколымского нагорья, в пределах речных долин Восточного Саяна и Оленек-Анабарского пластового плато.

Батагайский мегапровал, расположенный в 10 км юго-восточнее пос. Батагай (рис. 1, 67°34′49″ с.ш., 134°46′19″ в.д.), в Верхоянском улусе, Республики Якутия (Саха), вскрывший почти 80-метровую толщу синкриогенных отложений на склоне холма между горой Киргиллях (абс. выс. 612 м) и горой Хатыннах представляет исключительный интерес.

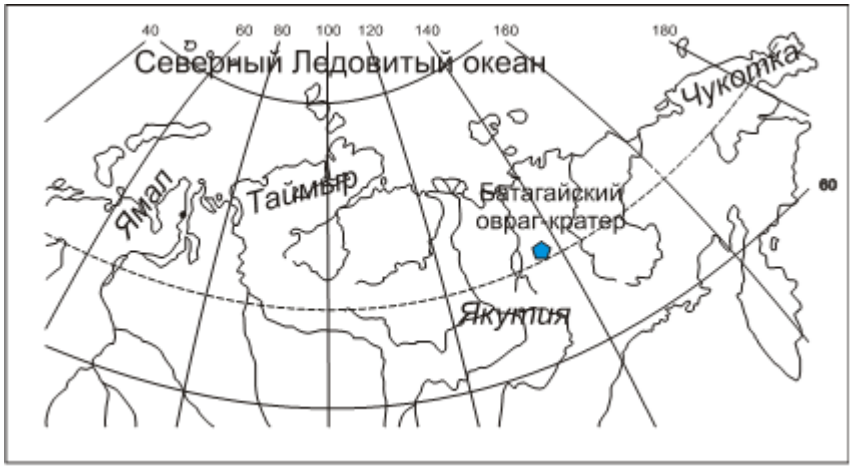


Рис. 1. Расположение Батагайской едомной толщи

В 60-х годах XX в. близ поселка Батагай был обнаружен овраг шириной 1,5 метра, глубина составляла 5 метров. С 90-х годов небольшой овраг начал заметно увеличиваться. На сегодняшний день его размеры достигли: глубина 70-100 метров, длина и ширина более 1 км.

Основная задача данной работы – детальное исследование разреза Батагайской едомы и получение изотопно-геохимической характеристики ледяных жил и вмещающих их отложений.

Климат и растительность

Климат района близок к умеренно-холодному. Среднегодовая температура воздуха –14.8 °С (по данным метеостанции Батагай). Наиболее холодный месяц – январь с температурами от –43 до –51°С. Современная среднеянварская температура воздуха в пос. Батагай –45.8 °С. Среднегодовое количество осадков – около 194 мм. Растительность северо-таежного и лесотундрового типа, доминирует лиственница Кайандера, берёза (Betula middendorffii), береза карликовая, ольха (рис. 2, а), стланик кедровый (рис. 2, б), багульник, ива и т.п.

а б

Рис. 2. Растительность северо-таежного и лесотундрового типа на окружающей Батагайский мегаовраг территории: а – ольха, б – стланик кедровый

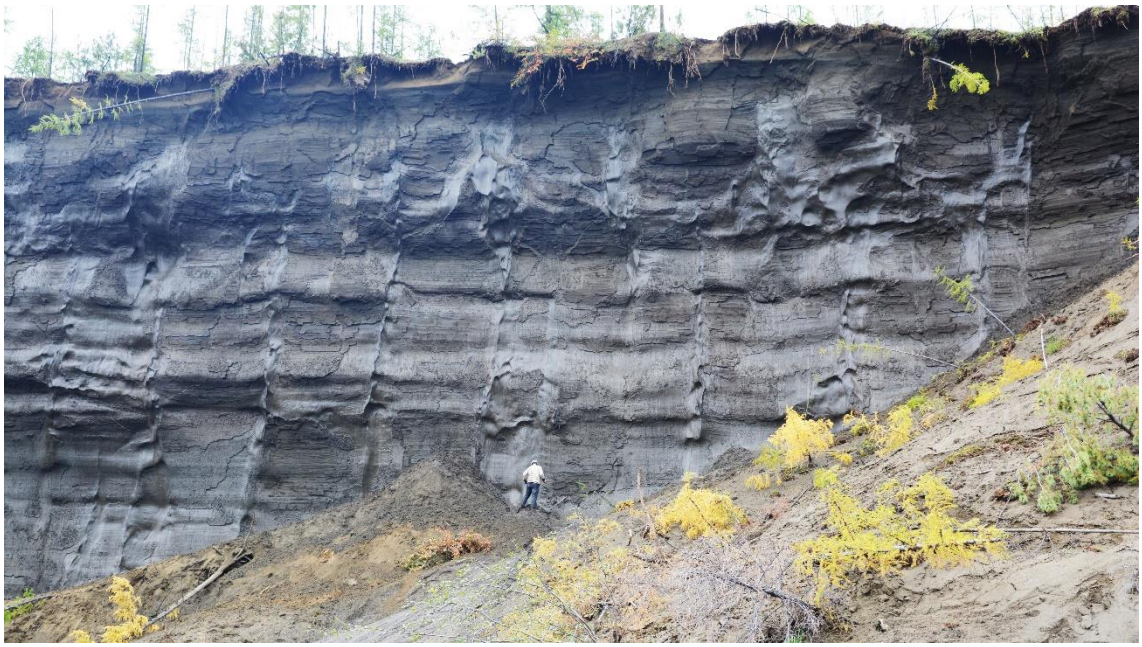
Результаты исследований

Батагайское обнажение представляет собой отвесную стенку, высотой от 50 до 85 м (рис. 3).

Рис. 3. Общий вид Батагайской едомной толщи

С поверхности до глубины 75 м залегают сильнольдистые едомные отложения. В самой западной части обнажения едомная толща разделена на два слоя: верхний мощностью 25–30 м и нижний – около 20 м. Здесь наблюдается фациальный перьеобразный контакт с озерной или таберальной толщей, которая в виде горизонтального клина длиной около 150-200 м внедряется в едомную толщу и сверху его перекрывает, а снизу этот клин подстилается едомной толщей (рис. 4).

а



б

Рис. 4. Горизонтальный клин длиной около 150-200 м в западной части обнажения: фациальный перьеобразный контакт едомной толщи с озерной или таберальной вкладкой

а

б

Рис. 5. Состав и сложение грунтов озерной или таберальной толщи, которая в виде горизонтально клина внедряется в едомную толщу Батагайского разреза

Верхний едомный слой (рис. 6) вмещает узкие ледяные жилы, шириной не более 1,5-2 м (из этого фрагмента разреза с глубины 5–10 м или 315–320 м абс. высоты детально опробован повторно-жильный лед – ПЖЛ №3 – рис. 7).

Рис. 6. Узкие ледяные жилы в верхней части Батагайской едомы

Рис. 7. Отбор образцов из сингенетической жилы в верхней части Батагайской едомы

Головы ледяных жил залегают на глубине 3–4 м (в некоторых местах они залегают практически у поверхности). Лед ледяных жил вертикально слоистый с элементарными вертикальными и крутонаклоннно-слоистыми жилками шириной до 2 см (рис. 8), насыщенными супесчаными частицами.

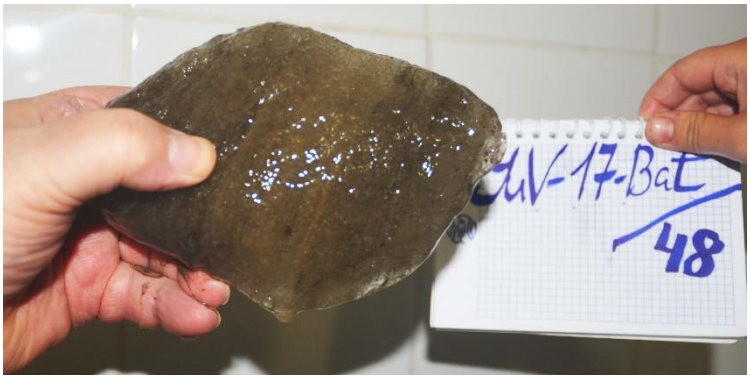


Рис. 8. Криоструктурные особенности жильного льда, вскрытого в верхней части Батагайской едомы

Разделяющие жилы грунты – ядра полигонов. Полигоны небольшие – в ширину редко превышают 4–5 м, и, как правило, составляют 1,5–3 м (но в западной части обнажения полигоны больше – до 10 м). На глубине 6-7 м от поверхности отмечен горизонт органики мощностью около 1,5 м. На глубине 12 м видны 2 горизонта органики мощностью до 1,5 м.

Из нижней части едомной толщи с глубины 65–73 м или 252–260 м. абс. высоты детально опробован повторно-жильный лед – ПЖЛ №2 (рис. 9).

Рис. 9. Отбор образцов из сингенетической жилы в нижней части Батагайской едомы

Для уточнения возраста этой жилы из байджераха на контакте с жилой был отобран большой блок сильноторфованного грунта (рис. 10)

Рис. 10. Большой блок сильноторфованного грунта, отобранный из байджераха на контакте нижней ледяной жилой

В этой нижней части ледяные жилы желтовато-серые косовертикально-слоистые (рис. 11), практически без включений грунта, тогда как в остальной части они преимущественно серого цвета.

Рис. 11. Криоструктурные особенности жильного льда, вскрытого в нижней части Батагайской едомы

В целом можно отметить тенденцию к утолщению ледяных жил в западной и нижней части едомного массива.

Едомные толщи в самой нижней части разреза подстилаются горизонтально-слоистой толщей суглинков, которая, возможно представляет собой древние таберальные отложения. Толща содержит более 20 горизонтальных слоев (рис. 12, а).

а

б

Рис. 12. Горизонтально-слоистая толща суглинков, возможно, это древние таберальные отложения в нижней части Батагайского мегаоврага

В нижней части этой древней таберальной толщи слоистость более частая (рис. 12, б), в средней ее части отмечен выраженный горизонтальный темный

слой, здесь слоистость реже. В кровле этой горизонтально-слоистой толщи наблюдается частое переслаивание за счет большего содержания органики. Толща высокольдистая (рис 13), но в ней нам не встретились жильные льды.

Рис. 13. Криотекстурные особенности сильнольдистого суглинка – древних таберальных отложений, вскрытых в нижней части Батагайского мегаоврага

Батагайский криолитологический феномен вызвал заметный интерес исследователей геокриологов, микробиологов, палеонтологов, что выразилось в ряде недавних публикаций по особенностям строения (Куницкий и др., 2013), изотопно-геохимическому составу (Васильчук и др., 2017), датированию – радиоуглеродному и оптико-стимулированной люминесценцией (Ashastina et al., 2017; Murton et al., 2017).

Заключение

Из новых результатов, полученных авторами, отметим:

а. Повторно-жильные льды на глубинах 5-10 м и 65-73 м (ПЖЛ № 1 и №3) пресные и имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав, на глубине 21 м и в текстурном льду на глубинах 30-60 м преобладает Mg, что может указывать на континентальный характер формирования льда (Васильчук и др., 2017).

б. Химический состав рассмотренных повторно-жильных льдов Батагайского разреза однороден, то есть в пределах каждой жилы распределение элементов слабоконтрастно (Васильчук и др., 2017).

в. Нижняя ледяная жила (№2 с глубины 65-73 м) отличается наиболее низким содержанием большинства химических элементов, возможно, она формировалась в условиях, когда зимние осадки были менее минерализованы, что может свидетельствовать о низком уровне содержания пыли в зимних осадках, и вероятно низкой эоловой активности в период формирования жилы. Эта жила также наиболее близка по химическому составу к р.Батагайка. Верхняя ледяная жила (№ 3 с глубины 5-10) более минерализована, что может свидетельствовать о сравнительно более высоком содержании пыли в зимних осадках в период формирования этой жилы.

г. Верхние ледяные жилы, судя по изотопному составу (среднее значение $\delta^{18}O$ по 39 образцам жилы № 3 с глубины 5-10 составляет –34,36 ‰, среднее значение $\delta^{2}H$ равно –266,3 ‰ – Васильчук и др., 2017) и пересчету его в палеотемпературы воздуха по известной формуле Ю.К.Васильчука (Vasil'chuk, 1991), формировались в суровых зимних условиях, среднеянварская температура воздуха составляла –51, –52 °С.

д. Нижние ледяные жилы, судя по изотопному составу (среднее значение $\delta^{18}O$ по 59 образцам жилы № 3 с глубины 65-73 м равно –35,69 ‰, а наиболее низкие значения –37,2 ‰, среднее значение $\delta^{2}H$ – –276,0 ‰, а наиболее низкие значения –290,8 ‰) формировались в еще более суровых зимних условиях, среднеянварская температура воздуха составляла –54, –55 °С (Васильчук и др., 2017).

Интересно, что по Батагайским жилам получены самые низкие значения зимних палеотемператур для арктической Сибири, что подтвердило ранее составленные карты распределения зимних температур для разных периодов позднего плейстоцена, где выделен изотопный и температурный минимум (Vasil'chuk, 1991; Vasil'chuk, Vasil'chuk, 2014), хотя данных по этому району не было (но анализ изотопного состава окружающих едомных толщ позволил нам такой минимум отрисовать). Батагайский криолитологический феномен в полной мере подтвердил правильность ранее составленных палеотемпературных карт.

Список литературы

1. Изотопно-геохимические особенности Батагайской едомы (предварительные результаты) / Ю.К. Васильчук, Д.Ю. Васильчук, Н.А. Буданцева, А.К. Васильчук, А.Ю. Тришин // Арктика и Антарктика. 2017. № 3. С. 69–96.
2. Льдистые породы и термоденудация в районе поселка Батагай (Янское плоскогорье, Восточная Сибирь) / В.В. Куницкий, И.И. Сыромятников, Л. Ширрмайстер, Ю.Б. Скачков, Г. Гроссе, С. Веттерих, М.Н. Григорьев // Криосфера Земли. 2013. Т. 17. № 1. С. 56–68.
3. Palaeoclimate characteristics in interior Siberia of MIS 6-2: first insights from the Batagay permafrost mega-thaw slump in the Yana Highlands / K. Ashastina,

L. Schirrmeister, M. Fuchs, F. Kienast // Climate of the Past. 2017. Vol. 13. P. 795–818.

4. Preliminary paleoenvironmental analysis of permafrost deposits at Batagaika megaslump, Yana Uplands, northeast Siberia / Ju.B. Murton, M.E. Edwards, A.V. Lozhkin, P.M. Anderson, G.N. Savvinov, N. Bakulina, O.V. Bondarenko, M.V. Cherepanova, P.P. Danilov, V. Boeskorov, T. Goslar, S. Grigoriev, S.V. Gubin, Ju.A. Korzun, A.V. Lupachev, A. Tikhonov, V.I. Tsygankova, G.V. Vasilieva, O.G. Zanina // Quaternary Research. 2017. Vol. 87. P. 314–330.
5. Vasil'chuk Yu.K. Reconstruction of the palaeoclimate of the Late Pleistocene and Holocene of the basis of isotope studies of subsurface ice and waters of the permafrost zone // Water Resources. 1991. Vol. 17. № 6. P. 640–647.
6. Vasil’chuk Yu., Vasil’chuk A. Spatial distribution of mean winter air temperatures in Siberian permafrost at 20-18 ka BP using oxygen isotope data // Boreas. 2014. Vol. 43. Issue 3. P. 678–687.

Тумель Н.В., Зотова Л.И.

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии,
г. Москва, zotlar@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВ НА ЮГЕ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Большая часть России расположена в области вечной мерзлоты и половину ее занимает сплошная мерзлота, местами несливающегося типа (слой сезонного промерзания отделен от кровли вечной мерзлоты талым горизонтом). Сочетание вечномерзлых пород, слоя сезонного протаивания на ней и сезонного промерзания в пределах таликов приводит к большому разнообразию криогенных процессов, которые активизируются при освоении криолитоэоны. Эти процессы опасны как для сооружений, так и для природных ландшафтов. Для сохранения того и другого необходима разработка природоохранных мероприятий. Следует отметить, что такая задача решается инженерным мерзлотоведением, где первое место отводится собственно сооружениям.

Любые нарушения природной среды в криолитозоне сопровождаются активизацией мерзлотных рельефообразующих процессов. Летом это термокарст, термоэрозия, сопровождаемая оврагообразованием, преообразованием русла, главной причиной которых является в первую очередь нарушение напочвенного растительного покрова вплоть до полного его уничтожения. Опасность уничтожения растительного покрова зависит от ее видового состава. Наибольшую опасность, как известно, представляет удаление мохового покрова, затем кустарничков, кустарников, лесных сообществ, и, наконец, напочвенного покрова из разнотравья в долинах рек и пр.

Вслед за растительностью опасным является поверхностное обводнение – появление или уменьшение вплоть до исчезновения заболоченности, мелких озер, верховодки. И то, и другое сопровождается изменением глубины протаивания, а также темпов и сроков завершения криогенных процессов, наблюдаемых летом. В осенне-зимний период нежелательные процессы представлены пучением, наледеобразованим и, в известной степени, морозобойным растрескиванием. Последнее особенно активно в Восточной Сибири в связи с сибирским антициклоном. Все эти процессы, в первую очередь, связаны с уменьшением мощности снега или его уборкой. Пучение, естественно, наиболее активно проявляется в пределах термокарстовых заболоченных, заозеренных понижений. Увеличение мощности снега удлиняет время промерзания и отражается на режиме и величине пучения, уменьшении опасности растрескивания, повышении температуры пород. Последнее создает благоприятный фон для проявления криогенных процессов, активизирующихся летом. Дефляция в равной степени активна круглогодично, поскольку наблюдается в лишенных растительности ландшафтах.

Все процессы формируют новый микро- и мезорельеф, влияющий на распределение тепла и влаги, что, в свою очередь, изменяет как условия развития почвенного покрова и растительности, так и структуру ландшафта в целом. Основная стратегия ликвидации и ограничения последствий хозяйственного освоения территории в области вечной мерзлоты определяется необходимостью восстановить теплофизические условия в нарушенных природных комплексах с целью безаварийного функционирования инженерных объектов, которые после отработки могли бы быть оптимально «вписаны» в естественные ландшафты. Применительно к области вечной мерзлоты весь комплекс природоохранных работ, направленный на сохранение и восстановление ресурсо – средовоспроизводящей функции ландшафтов как среды обитания человека, должен быть дополнен «инженерной» компонентой [1].

Проектирование инженерных сооружений достаточно строго регламентируется различными нормативными актами и руководящими документами. Однако в них, как правило, не учитывается региональная специфика природных факторов экологического риска, которая инветаризируется при ландшафтном картографировании [2]. К факторам экологического риска относятся факторы, определяющие низкую устойчивость и предрасположенность природных комплексов к быстро протекающим процессам при антропогенных нагрузках и аварийных ситуациях на объектах промышленного освоения. Среди природных факторов - опасные экзогенные процессы, в первую очередь – мерзлотные (пучение грунтов, термокарст, термоэрозия), а также заболачивание, оврагообразование, деформация русла, дефляция и пр.

Многолетний опыт работ в нефтегазопромысловых районах Тюменской области показал, что концепция разработки комплекса природоохранных мер должна быть основана на сопоставлении участков инфраструктурных объектов с границами ландшафтных комплексов топологического уровня, на оценке устойчивости ландшафтов к нарушениям механического характера. К ним относятся изменение или уничтожение растительного покрова; изменение мощности и плотности снега, а также мезо- и микрорельефа (выемки, насыпи, выравнивание поверхности), водообмена (дренирование, подтопление), состава и свойств приповерхностных почвогрунтов [3]. Под устойчивостью в данном случае мы понимаем способность противостоять активизации техногенно-спровоцированных криогенных процессов наряду с изменениями природных комплексов, которые могли бы привести к необратимому ухудшению экологической обстановки и недопустимым деформациям инженерных сооружений [4].

Изучение специфики обустройства нефтяных месторождений и их ландшафтной уязвимости к нарушениям проводилось в пределах Надым-Пуровского междуречья – района интенсивной нефтедобычи в мерзлотно-таежно-болотной зоне Западной Сибири, на Суторминском, Сугмутском,

Крайнем и Муравленковском нефтепромыслах. В мерзлотном отношении территория расположена в центральной геокриологической зоне, для которой характерно островное, реже – массивно-островное распространение высокотемпературных, маломощных мерзлых пород и длительное, разнообразное по мощности сезонное промерзание на талых породах. В естественных условиях в исследуемом районе проявляются процессы заболачивания, термокарста, пучения, а также опустынивания и дефляции. Типичные нарушения в ходе эксплуатации нефтепромысловых объектов на порядки усиливают эти процессы, превращая их в опасные и даже разрушительные. Отличительные черты региона – слабый дренаж, чрезвычайно сильная заболоченность, преобладание отложений легкого механического состава. Ландшафтный облик формируют редкостойные кедрово-сосновые леса с мохово-лишайниковым напочвенным покровом на песчаных подзолистых почвах, приуроченные к узким приречным полосам и гривам, и обширные болотные массивы на междуречьях. Господствующий тип болот – плоскобугристые мерзлые торфяники и выпуклые олиготрофные болота.

В итоге была составлена серия электронных карт масштаба 1:100 000 – ландшафтная, мерзлотно-ландшафтной устойчивости, техногенной нагрузки и современного экологического состояния. Типизированные природные комплексы служат основой для составления природоохранных карт в более мелком масштабе, поскольку основные требования для их составления – именно комплексность, увязка рекомендуемых природоохранных мероприятий со спецификой окружающей среды. Если наметить для каждой группы ландшафтов, выделенной на карте, перечень природоохранных мероприятий, то можно превратить их в природоохранные районы, а саму карту мерзлотно-ландшафтной устойчивости, в определенной степени, считать картой природоохранного районирования.

Собранный фактический материал систематизирован по всей цепочке информации от характеристики групп ландшафтов до перечня природоохранных мероприятий в соответствии с видами инженерных сооружений и прогнозом их негативного влияния с целью оптимальных условий дальнейшей эксплуатации месторождений в исследуемом регионе (таблица). В основе таблицы – типы природных комплексов, сгруппированные по степени устойчивости к техногенным нарушениям. Шапка таблицы включает мерзлотное описание: для многолетнемерзлых пород (ММП) – их площадь, мощность и среднегодовую температуру грунтов; для слоя сезонного промерзания (СМС) или протаивания (СТС) – их мощность и период существования (в датах). Вторая часть таблицы – изменения в ландшафтах, прогноз проявления нежелательных процессов и явлений при определенных видах освоения и перечень природоохранных мероприятий (без технологий).

При этом рассматриваются типичные виды сооружений и объектов: линейные сооружения (коридоры коммуникаций), которым сопутствует подтопление или дренирование естественных ландшафтов, а также изменение

стока водотоков и подземных вод; карьеры гидронамывные и сухоройные; кустовые площадки и промзоны. В данных инженерных объектах обязательно происходят те или иные нарушения растительного и снежного покровов и поверхностных горизонтов почвогрунтов. Главным образом, это снятие мохово-лишайникового покрова, удаление или уплотнение снега, срезание торфа и почвенного горизонта, выемка песка, изменение водно-физических свойств грунтов и т. д. За пределами анализа остается химическое загрязнение почв, поверхностных и подземных вод, связанное с нефтедобычей, а также изменения в животном мире.

Таблица

Природоохранные мероприятия района нефтепромыслового освоения
(Надым-Пуровское междуречье)

Типы ландшафтов	**Мерзлотная характеристика**		**Линейные сооружения**		**Площадные сооружения**	
	ММП	**СМС–СТС**				
	Площадь, % / Ср. годовая темп., °С / Мощность, м	**Глубина, м (ξ) / Период существования (τ)**	**Подтопление**	**Дренирование**	**Карьеры**	**Насыпи под кустовые площадки**
Плоскобугристые мерзлые торфяники, занимающие центральные части междуречных равнин	70–90 / 0,0–0,5 / 7–15	СТС: 0,5-0,8 01,05-01,10 СМС 0,5-1,0 1,10-20,06	ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ПРОЦЕССЫ			
			– термокарстовые просадки; – локальное озеркообразование; – олуговение	– пожароопасность; – перелетки и острова ММП; – увеличение ξ на 1 –1,5 м, τ на 10–20 дней	– понижение уровня грунтовых вод; – отмирание растительности в радиусе 200–500 м; – перелетки и острова ММП, пучение; – увеличение ξ до 1,2 м	– сползание песчаной отсыпки; – дефляция; – перелетки и острова ММП
			МЕРОПРИЯТИЯ			
			– создание искусственных дренажных систем в понижениях	– противопожарные мероприятия; – снегозадержание; – локальные	– фиторекультивация; – снегозадержание	– посев трав по откосам; – ветро- и снегозадержание

				посевы злаков на минеральной отсыпке поверхности торфов		
			Общие рекомендации: 1. Все работы проводить в период устойчивых отрицательных температур воздуха. 2. Производить покрытие обнаженных поверхностей теплоизоляционными материалами перед началом протаивания 01.05 – 15.06 и перед началом промерзания 1.10 – 15.11			

Характер изменений ландшафтов и, следовательно, комплекс природоохранных рекомендаций весьма различен по каждому виду нарушений. Так, минимально их число на подтопленных территориях, несколько больше рекомендованных мероприятий при эксплуатации карьеров и строительстве кустовых площадок, максимально их количество при дренировании природного комплекса.

Такое соотношение отражает специфику ландшафтной дифференциации таежной зоны Западной Сибири. Она характеризуется почти сплошной заболоченностью. Поэтому подтопление, за исключением ограниченного числа ландшафтов, является усугублением, утрированием основных черт природного комплекса, а дренирование, напротив, радикальной их перестройкой.

При подтоплении ландшафтов вдоль линейных сооружений главным мероприятием является создание искусственных дренажных систем, гидромелиорация, что особенно актуально в пределах мерзлотных геосистем (плоскобугристые торфяники, комплексные верховые болота), поскольку их обводнение влечет за собой протаивание, просадку, термокарст и термоэрозию, необратимые изменения мезорельефа. Для самих линейных сооружений это чревато авариями трубопроводов, дорог и т.д.

Дренирование ландшафтов, кроме традиционно возрастающей пожароопасности, сопровождается двумя основными типами нежелательных последствий. Первое – ужесточение мерзлотной обстановки, а именно: новообразование мерзлоты (перелетков и островов), увеличение глубины сезонного промерзания и продолжительности его существования, сезонное и многолетнее пучение с образованием бугров. Второе – усиление дефляционных процессов и опустынивание, поскольку приповерхностные горизонты на большей части региона представлены песками, залегающими у поверхности или под торфом небольшой мощности (до 0,5 м), который при дренировании быстро разрушается.

Природоохранные мероприятия по ликвидации или уменьшению *последствий дренирования* природных комплексов можно объединить в четыре основные группы [4].

1. Противопожарные мероприятия (расчистки и т.д.), прежде всего в залесенных природных комплексах водоразделов и долин, сосново-кустарничково-сфагновых болотах.

2. Мероприятия, связанные с сохранением тепловлагообмена, близкого к естественному. В первую очередь это снегозадержание, которое направлено на смягчение почвенного климата, нормальное существование биоты, поддержание естественных мерзлотных условий. Следует подчеркнуть, что относительно мягкая мерзлотная обстановка в таежной зоне Западной Сибири является результатом отепляющего влияния мощного снежного покрова и высокой обводненности. В Большеземельской тундре, например, при среднегодовых температурах воздуха –6°÷–7°С (аналогичных западносибирским) мерзлые породы имеют прерывистое распространение, мощность их составляет 90–130 м, температура –1,5°÷–3°С [1]. Следовательно, сам природный процесс указывает на уязвимые варианты освоения. При неизменном климате манипуляции со снегом, дренирование однозначно увеличат суровость ландшафтов. Снегозадержание особенно актуально в болотных природных комплексах с мощным торфяным покровом и хасыреях, где при возможном дренировании следует ожидать активизации процессов пучения. В качестве частных решений на дренированных участках можно использовать теплоизоляционные искусственные материалы – летом над мерзлыми породами, зимой – над талыми грунтами.

3. Строгое соблюдение сезонных сроков различных видов работ. Эксплуатация зимников должна быть ограничена во времени, что основывается на трех основных параметрах – глубине сезонного промерзания, несущей способности грунтов и мощности снега. В криогенных ландшафтах все работы должны производиться исключительно при устойчивой отрицательной температуре и достаточном по мощности снежном покрове во избежании нарушения почвенных покровов, верхних горизонтов почвогрунтов и протаивания мерзлых пород.

4. Мероприятия, связанные с предотвращением антропогенной активизации эоловых процессов. Их стратегия должна быть направлена на закрепление песков. Главным является посев трав (злаков), что особенно актуально для залесенных ландшафтов. Фиторекультивация должна сопровождаться запретом движения транспорта на 5–7 лет. Закрепление поверхности грунтов торфом, дерниной прежде всего целесообразно при дренировании гидроморфных ландшафтов. Целесообразно создание противодефляционных сооружений, в том числе ветрозащитных.

Природоохранные мероприятия *при площадных нарушениях* в пределах карьеров и кустовых площадок принципиально не отличаются от вышеперечисленных и направлены на устранение изменений режима тепла влаги и закрепление грунтов от развевания.

Карьеры. Разработка гидронамывных карьеров приводит к резкому понижению уровня грунтовых вод, вследствие чего происходит отмирание

растительности в радиусе 200–500 м. На месте спущенных или обмелевших озер возможно увеличение сезонномерзлого слоя, новообразование мерзлоты, пучение. В сухоройных карьерах главная опасность – дефляция. Для борьбы с этими явлениями основными мероприятиями являются фиторекультивация и снегозадержание. Последнее смягчает зимний микроклимат, увеличивает влагосодержание и тем самым способствует закреплению растительности. В сухоройных карьерах для закрепления стенок можно использовать торф или дернину. В окрестностях гидронамывных карьеров и на их месте нужно искать техническое решение восстановления естественного уровня грунтовых вод (водная мелиорация). Участки брошенных карьеров представляют собой типичные бедленды, в которых практически отсутствует процесс естественной рекультивации. Поэтому природоохранные мероприятия здесь в высшей степени необходимы.

Кустовые площадки. Мероприятия в их пределах направлены на закрепление откосов, предотвращение их круглогодичного развевания и летнего расползания. Поэтому отсыпки и насыпи следует производить из грубозернистого песка, гравия или щебня. Под самой площадкой резко меняется теплообмен и мерзлотные условия. По совокупности негативных воздействий на площадные сооружения основные рекомендации – посев трав, закрепление поверхности дерниной, торфом, ветрозащита и снегозадержание.

Пересечение долин рек и болот линейными сооружениями. Происходит нарушение естественного горизонтального водообмена грунтовых вод, если линейные сооружения проектируются в крест линий стекания. В этом случае нужно изменять проектное решение – либо переносить коммуникации из опасных в этом отношении природного комплекса, либо менять направление сооружения, располагая его вдоль стока.

Таким образом, всё многообразие инженерно-технологических и биологических природоохранных мер, и мероприятий можно объединить в следующие группы [1, 3].

Запретительные меры, направленные на запрет хозяйственной деятельности в особо опасных по мерзлотным условиям природных комплексах (большое количество льда в породах, близкая к 0°С температура пород, их малая мощность, склоны крутизной более 5° и т.д.). Ограничение сроков работ – запрет на летнюю транспортировку по тундре и другим северным ландшафтам, строгое соблюдение сроков эксплуатации зимников. Запрет использования техники и инженерно-технических приемов, не учитывающих физико-механические свойства мерзлых пород.

Мелиорации снежные, водные, тепловые, которые в идеале направлены на предотвращение или стабилизацию криогенных процессов и создание микроклимата в грунтах для успешного проведения фиторекультивации.

Рекультивация мерзлотно-инженерная и фиторекультивация особенно актуальны для сухоройных и гидронамывных карьеров, отвалов, заброшенных буровых, отстойников, участков строительства различных сооружений. Здесь

главными и подчас трудно разрешимыми задачами являются выравнивание техногенного микро- и мезорельефа, формирование состава и влажности искусственного корнеобитаемого слоя. Промерзание отвалов пород по мере отработки месторождений и создание таким образом техногенных, скованных мерзлотой образований – главное препятствие на пути рекультивации.

Инженерные решения направлены на обеспечение безаварийной работы инженерных сооружений. Этими вопросами занимается инженерное мерзлотоведение. Его успехи очевидны, т. к. в российском Заполярье функционируют сложные инженерные системы. Прежде всего это относится к регулированию стока вод, расчету высоты искусственных насыпей, прокладке коммуникаций с учетом свойств мерзлых пород, выбору принципа строительства на мерзлоте (сохранение мерзлых пород или их оттаивание на разную глубину) и т. д. В группу инженерных решений следует отнести обязательную организацию мерзлотной службы, осуществляющую мерзлотный мониторинг и экстренную мерзлотную помощь в промышленных центрах, как это имеет место в городах Муравленково, Салехард, Уренгой и др.

Ресурсосбережение предусматривает прежде всего тщательно организованные и оснащенные на современном уровне изыскательские работы, в том числе проведение мерзлотной съемки, цель которой изучение общих и частных закономерностей мерзлых пород, прогноз изменения мерзлотных условий при хозяйственном освоении и разработка природоохранных мероприятий. На федеральном и региональном уровнях целесообразно создание экологических геоинформационных систем и баз данных с обязательным включением в них мерзлотной информации. В группу ресурсосберегающих природоохранных мероприятий следует отнести вахтовый метод работ на Севере и использование техники, особенно транспортной, в северном варианте, максимально щадящей напочвенный покров.

Перечисленные рекомендации универсальны, их следует соблюдать на любой стадии хозяйственного освоения северных территорий.

Список литературы

1. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / под. ред. Е.С. Мельникова и С.Е. Гречищева. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
2. Козин В.В. Ландшафтный анализ в нефтегазопромысловом регионе: Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2007. 240 с.
3. Российская Арктика: на пороге катастрофы / под ред. А.В. Яблокова. М.: Центр экологической политики России, 1996. 208 с.
4. Тумель Н.В., Зотова Л.И. Геоэкология криолитозоны: 2-е изд., испр. и доп., учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. М.: Изд-во ЮРАЙТ, 2017. 220 с.

Бровка Г.П., Агутин К.А., Мучко М.В.

Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь, brovka_gp@rambler.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ И ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ПРОМЕРЗАЮЩИХ ГРУНТАХ

В большинстве случаев для расчета процессов промерзания грунтов используются алгоритмы, основанные на энтальпийной постановке задач с фазовыми переходами вода-лед в точке замерзания. Такая постановка вполне обоснована для водонасыщенных и крупнодисперсных грунтов. Для грунтов и горных пород, содержащих тонкодисперсную фракцию, и засоленных грунтов, фазовые переходы воды в лед происходят в спектре температур. Поэтому для повышения точности расчетных методов необходимо учитывать фазовые переходы в соответствии с фактическими экспериментальными данными зависимости количества незамерзшей воды от температуры.

С целью учета интенсивности фазовых переходов в диапазоне отрицательной температуры отработана методика аппроксимации зависимости количества незамерзшей воды от температуры с помощью функции в виде:

$$\mathrm{W_н} = \mathrm{a}_1(-t)^n + a_2, \qquad (1)$$

где a_1, a_2, n – эмпирические константы, t – температура.

С учетом зависимости (1) получены формулы для расчета энтальпии элементарного объема при различных температурах:

$$H_{ijk} = \begin{cases} (T_{ijk} - T_{tnz})(c_в W + c_{ск})\dfrac{\rho_{ск}}{1+W}\Delta V \Leftarrow T_{ijk} \geq T_{tnz}; \\ ((W - Wn(T_{ijk})(L - c_л(T_{ijk} - T_{tnz})) + (Wn(T_{ijk})c_в + c_{ск})(T_{ijk} - T_{tnz}))\dfrac{\rho_{ск}}{1+W}\Delta V \Leftarrow T_{ijk} < T_{tnz}, \end{cases} \qquad (2)$$

где $c_л$, $c_в$, $c_{ск}$ – соответственно удельные теплоемкости льда, воды и скелета грунта; T_{nz} – температура начала замерзания среды; $\rho_{ск}$ – плотность скелета грунта; L – теплота фазового перехода вода-лед; ΔV – элементарный объем.

Использование зависимости энтальпии от температуры позволяет разработать алгоритм и расчетную схему более точного расчета процессов промерзания грунта. Особенность алгоритма расчета заключается в обратном нахождении температуры по значению энтальпии в области температуры ниже точки замерзания. Проблема заключается в том, что функция, переводящая энтальпию в температуру, является сложной и аналитическое представление ее весьма затруднительно.

Для нахождения значения температуры по соответствующему значению энтальпии в процессе вычислений разработан метод последовательных приближений, который предусматривает следующее. Находят аналитическую производную от функции энтальпии, затем по обратному значению приращение функции температуры по приращению энтальпии. В итоге получают приблизительное значение температуры по энтальпии. Далее проводят уточнение температуры. Находят контрольное значение энтальпии, которое соответствует найденной температуре и разность между точным значением энтальпии и контрольным. Используя значение производной функции энтальпии по приблизительной точке температуры, вычисляют поправку. Тем самым определяют более точное значение температуры по энтальпии.

Есть так же особенность прохождения точки замерзания породы. Если энтальпия была положительная, а после выполнения шага алгоритма стала отрицательной, то произошел переход через точку замерзания породы. Во избежание этого находят левую производную не из текущей температуры, а из температуры начала замерзания. Приращение энтальпии при этом будет равно приращению энтальпии относительно точки замерзания.

Такой подход при явной расчетной схеме позволяет обеспечить консервативность расчета, т. е. выполнения закона сохранения тепловой энергии, и необходимую точность соответствия температуры и энтальпии для одномерных и многомерных задач расчета промерзания грунтов.

Алгоритм расчета, основанный на явной расчетной схеме для прямоугольной трехмерной сетки, можно представить в следующем виде:

1. Задают начальную температуру в узловых точках.

2. Рассчитывают начальные значения энтальпии по следующей формуле:

$$H_{ijk} = \begin{cases} (T_{ijk} - T_{tnz})(c_в W + c_{ск})\rho_{ск}\Delta V \Leftarrow T_{ijk} \geq T_{tnz}; \\ ((W - Wn(T_{ijk})(L - c_л(T_{ijk} - T_{tnz})) + (Wn(T_{ijk})c_в + c_{ск})(T_{ijk} - T_{tnz}))\rho_{ск}\Delta V \Leftarrow T_{ijk} < T_{tnz}; \end{cases}$$

$$Wn = a_1(-T_{ijk})^n + a_2.$$

Определяют коэффициенты теплопроводности:

$$\lambda_{ijk} = \begin{cases} \lambda_T, если\, H_{ijk} \geq 0, \\ \lambda_M, если\, H_{ijk} < 0. \end{cases}$$

3. Рассчитывают изменения энтальпии в точках

$$\Delta H_{ijk} = (\frac{\Delta y \cdot \Delta z}{\Delta x}(\lambda_{ijk,-1,0,0}(T_{i-1,j,k} - T_{i,j,k}) + \lambda_{ijk,1,0,0}(T_{i+1,j,k} - T_{i,j,k})) +$$

$$+ \frac{\Delta x \cdot \Delta z}{\Delta y}(\lambda_{ijk,0,-1,0}(T_{i,j-1,k} - T_{i,j,k}) + \lambda_{ijk,0,1,0}(T_{i,j+1,k} - T_{i,j,k})) +$$

$$+ \frac{\Delta x \cdot \Delta y}{\Delta z}(\lambda_{ijk,0,0,-1}(T_{i,j,k-1} - T_{i,j,k}) + \lambda_{ijk,0,0,1}(T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k})))\Delta\tau,$$

где $\lambda_{ijk,tlm} = \dfrac{2\lambda_{ijk}\lambda_{i+t,\,j+l,k+m}}{\lambda_{ijk} + \lambda_{i+t,\,j+l,k+m}}$.

4. Если $H + \Delta H \geq 0$, то $H = H + \Delta H$.

Переходят на новый временной слой ($\tau = \tau + \Delta\tau$) и возвращаются к пункту 3

5. Если $H + \Delta H < 0$, то $\Delta H' = \begin{cases} \Delta H, если\, H < 0 \\ \Delta H + H, если \geq 0 \end{cases}$, $T' = \begin{cases} Tnz, если\, H \geq 0 \\ T, если\, H < 0 \end{cases}$,

$$\Delta T_1 = \Delta H' \cdot \left(\frac{\partial H}{\partial T}(T') \right)^{-1}, H_k = H(T + \Delta T_1),$$

6. $$\Delta T_2 = (H + \Delta H - H_k) \cdot \left(\frac{\partial H}{\partial T}(T + \Delta T_1) \right)^{-1},$$

$$H = H + \Delta H,$$

$$T = T + \Delta T_1 + \Delta T_2.$$

7. Переходят на новый временной слой ($\tau = \tau + \Delta\tau$) и возвращаются к пункту 3. Выполняют до достижения необходимого времени τ.

Следует отметить, что при разработке новых расчетных схем и алгоритмов численных расчетов температурных полей с фазовыми переходами необходимо, прежде всего, оценить их погрешность и сходимость к точному решению. Строгими математическими методами это сделать весьма затруднительно. Поэтому такие оценки проще сделать с помощью эталонных решений или проверенных соответствующих численных методов.

Для отработки алгоритма расчета и тестирования модифицированной программы использовалась усовершенствованная тестовая программа для решения задачи типа Стефана с фазовыми переходами в спектре температуры [1]. Эта программа позволяет получить расчет с любой заданной точностью на основе аналитических решений для автомодельных задач типа Стефана в виде трансцендентных интегральных уравнений. Окна ввода исходных данных и вывода полученных результатов усовершенствованной тестовой программы представлены на рисунках 1 и 2.

Результаты тестирования для одномерной постановки показали, что различие в модифицированной и тестовой программе положения фронта промерзания составляет не более 1% от величины промерзшей зоны.

Необходимо обратить внимание на то, что задачи типа Стефана имеют аналитические решения только для определенных условий, т.е. в автомодельной постановке. Для оценки адекватности численных методов для расчетов температурных полей в грунтах с фазовыми переходами в более широкой постановке и вокруг труб с осесимметричными условиями теплообмена был разработан комплекс вспомогательных тестовых программ. Реализовано программное решение тестовых задач, основанных на методе сведения уравнения теплопроводности к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, в которых в качестве искомых функций взяты координаты, соответствующие положениям изотерм с соответствующими

значениями температур [2]. При этом задача решена как в классической, так и в энтальпийной постановке для цилиндрической и прямоугольной системы координат.

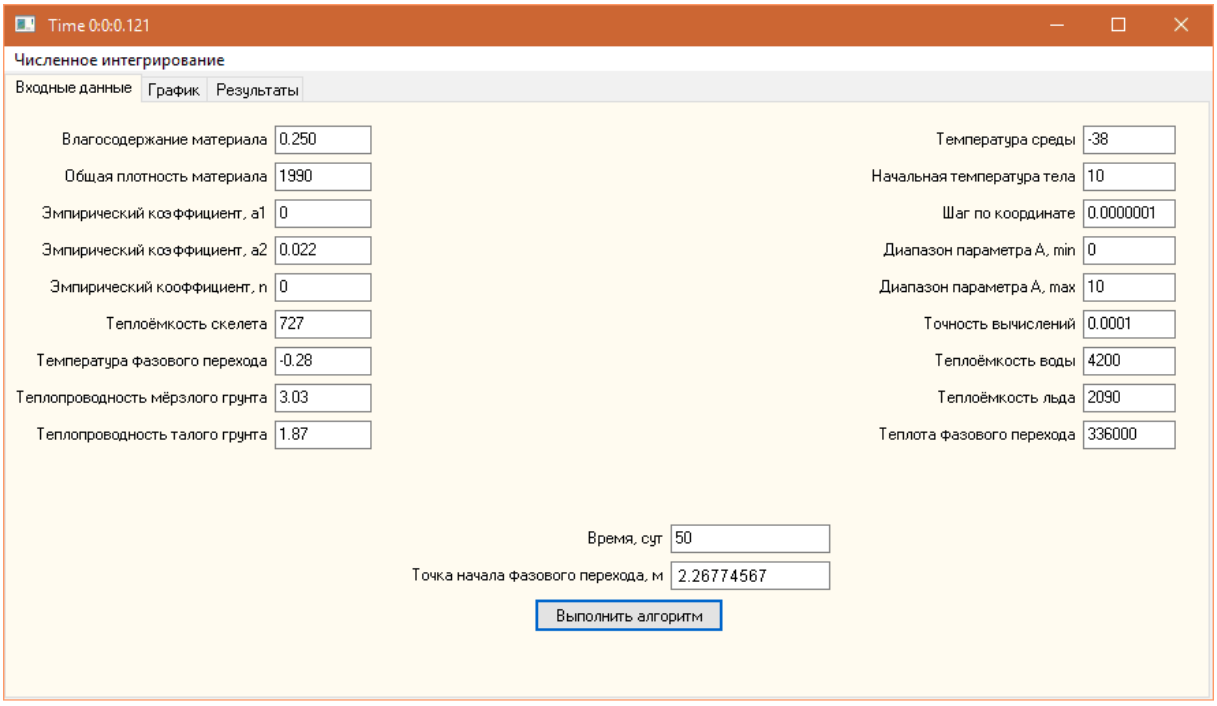


Рис. 1. Окно тестовой программы для ввода данных и получения результата

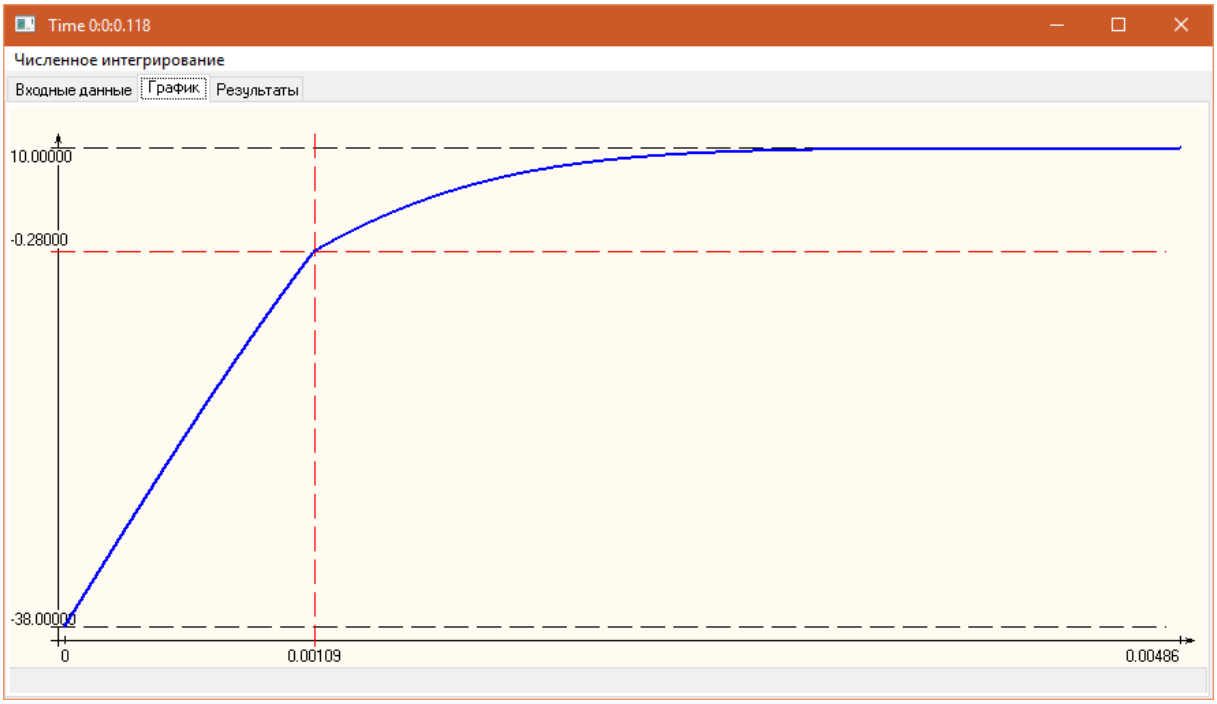


Рис. 2. Окно тестовой программы вывода графика результата

В каждом варианте программы реализована своя определенная расчетная схема, исходя из постановки и условий решаемой задачи. В основе расчетных

схем лежит численное решение системы дифференциальных уравнений относительно координат узловых изотерм.

Энтальпийная постановка для прямоугольной системы координат:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{d\tau} = \left(\dfrac{\lambda_1 \cdot (T_1 - T_0)}{x_1 - x_0} - \dfrac{\lambda_2 \cdot (T_2 - T_1)}{x_2 - x_1} \right) \times \\ \times \dfrac{1}{H(t_{1+0,5}) - H(t_{1-0,5})}; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{dx_i}{d\tau} = \left(\dfrac{\lambda_i \cdot (T_i - T_{i-1})}{x_i - x_{i-1}} - \dfrac{\lambda_{i+1} \cdot (T_{i+1} - T_i)}{x_{i+1} - x_i} \right) \times \\ \times \dfrac{1}{H(t_{i+0,5}) - H(t_{i-0,5})}; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{dx_{n-1}}{d\tau} = \left(\dfrac{\lambda_{n-1} \cdot (T_{n-1} - T_{n-2})}{x_{n-1} - x_{n-2}} - \dfrac{\lambda_n \cdot (T_n - T_{n-1})}{x_n - x_{n-1}} \right) \times \\ \times \dfrac{1}{H(0,25 \cdot t_{n-1} + 0,75 \cdot t_n) - H(t_{n-1-0,5})}; \\ \dfrac{dx_n}{d\tau} = \dfrac{4 \cdot \lambda_n}{C_n \cdot (x_n - x_{n-1})}, \end{cases} \quad (3)$$

где x_i – координаты узловых изотерм, $_{Ti}$ – значения температуры в узловых очках, $t_{i\pm0,5}$ – значения температуры в промежуточных точках, *H(t)* – объемная энтальпия, как функция температуры.

Значения температуры в промежуточных точках рассчитываются по формуле:

$$t_{i\pm0,5} = 0,5 \cdot (T_i + T_{i\pm1}). \quad (4)$$

Объемная энтальпия H(t) в зависимости от температуры рассчитывается по формуле, аналогичной (2), без умножения на элементарный объем.

Энтальпийная постановка для цилиндрической системы координат:

$$
\begin{cases}
\dfrac{dr_1}{d\tau} = \left(\dfrac{\lambda_1 \cdot (T_1 - T_0)}{\ln\left(\dfrac{r_1}{r_0}\right)} - \dfrac{\lambda_2 \cdot (T_2 - T_1)}{\ln\left(\dfrac{r_2}{r_1}\right)} \right) \times \\
\times \dfrac{1}{r_1 \cdot \left(H(t_{1+0,5}) - H(t_{1-0,5})\right)}; \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
\dfrac{dr_i}{d\tau} = \left(\dfrac{\lambda_{n-2} \cdot (T_{n-2} - T_{n-3})}{\ln\left(\dfrac{r_{n-2}}{r_{n-3}}\right)} - \dfrac{\lambda_{n-1} \cdot (T_{n-1} - T_{n-2})}{\ln\left(\dfrac{r_{n-1}}{r_{n-2}}\right)} \right) \times \\
\times \dfrac{1}{r_{n-2} \cdot \left(H(t_{i+0,5}) - H(t_{i-0,5})\right)}; \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
\dfrac{dr_{n-1}}{d\tau} = \left(\dfrac{\lambda_{n-1} \cdot (T_{n-1} - T_{n-2})}{\ln\left(\dfrac{r_{n-1}}{r_{n-2}}\right)} - \dfrac{\lambda_n \cdot (T_n - T_{n-1})}{\ln\left(\dfrac{r_n}{r_{n-1}}\right)} \right) \times \\
\times \dfrac{1}{r_{n-1} \cdot \left(H(0,25 \cdot t_{n-1} + 0,75 \cdot t_n) - H(t_{n-1-0,5})\right)}; \\
\dfrac{dr_n}{d\tau} = \dfrac{4 \cdot \lambda_n}{C_n \cdot r_n \cdot \ln\left(\dfrac{r_n}{r_{n-1}}\right)},
\end{cases}
\tag{5}
$$

где r_i – радиальные координаты узловых изотерм.

Все остальные обозначения и расчеты аналогичны системе уравнений (3).

Принцип работы всех вариантов программы, каждая из которой включает свои определенные условия задачи (тип системы координат и постановка задача), схож.

Входными параметрами являются:

– теплофизические свойства исследуемой системы (горной породы) – коэффициенты теплопроводности при положительных и отрицательных температурах, удельная теплоемкость, влагосодержание и плотность;

– параметры аппроксимации зависимости количества незамерзшей воды от температуры;

– характеристики источника теплообмена (трубы) – температура теплоносителя или хладагента, радиус трубы (для цилиндрической системы координат);

– временные параметры – время, соответствующее началу расчета и его окончанию (в сутках), а также приращение (шаг) по времени (в секундах);

– распределение функции r(t), соответствующее начальному времени расчета.

Кроме того, необходимо указать место на диске, куда будут сохраняться файлы с результатами расчета.

Результатами расчета будут распределения функции *r(t)* через каждые сутки с момента начала процесса теплообмена (с учетом начального времени расчета). Эти данные выводятся в соответствующей части интерфейсного окна программы, а также сохраняются в виде txt-файлов, которые можно просматривать.

На основе протестированной расчетной схемы с учетом зависимости количества незамерзшей воды от температуры усовершенствована прикладная программа для расчета процессов замораживания горных пород цилиндрическими теплообменниками. Тестовые расчеты показали, что для незасоленных и песчаных пород можно использовать программы, основанные на учете фазовых переходов вода-лед в точке начала замерзания. Для глинистых и засоленных горных пород необходимо учитывать фазовые переходы в спектре температуры.

Список литературы

1. Бровка Г.П., Иванов С.Н. Расчет температурных полей в грунте с фазовыми переходами вода–лед в спектре температуры // ИФЖ. 2004. Т. 77. № 6. С. 112–119.
2. Бровка Г.П. Тепло- и массоперенос в природных дисперсных системах при промерзании. Минск: Навука і тэхніка, 1991. 191 с.

Гнатюк И.И., Мотенко Р.Г.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геокриологии,
г. Москва, ivanka.gnatyuk93@mail.ru, rmotenko@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЛУБИНЫ СЕЗОННОГО ОТТАИВАНИЯ

На данный момент Север является основной базой добычи нефти и газа. Большинство месторождений обустроены на насыпях. Сооружение насыпей в условиях мерзлоты существенно меняет естественные условия теплообмена грунта с атмосферой. Это приводит к значительным изменениям естественных ландшафтов, что сопровождается активизацией негативных геокриологических процессов, таких как термокарст, термоабразия, термоэрозия, пучение и др.

Для месторождений Западной Сибири характерны достаточно большие глубины сезонного оттаивания, а для моделирования глубин промерзания и оттаивания грунтов и прогнозирования криогенных процессов необходимо знать состав, строение и свойства насыпных грунтов, в том числе и теплофизические. Значения теплофизических характеристик грунта меняются в течение года в результате сезонной миграции влаги в грунте, вызываемой весенними паводками, дождями, колебанием температур. Свойства верхних слоев могут изменяться даже на протяжении суток из-за конденсации влаги в порах грунта в ночные часы и ее испарения с повышением температуры днем. Возможны изменения свойств под влиянием загрязнения нефтями, нефтепродуктами, буровыми растворами и др., сопутствующими обустройству и эксплуатации месторождений. Для проведения моделирования глубины залегания верхней границы ММП необходимо изучение состава, строения и свойств насыпных грунтов.

Цель данной работы – выявить влияние теплофизических свойств насыпных грунтов на глубину сезонного оттаивания на примере двух нефтегазоконденсатных месторождений Западной Сибири с различными геокриологическими условиями.

Для решения поставленных задач были выбраны два нефтегазоконденсатных месторождения с разными геокриологическими условиями. Первое месторождение в административном отношении расположено в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области (в дальнейшем «Месторождение-1»). Среднегодовая температура воздуха –6,4°С. Температура грунта на глубине 7–10 м составляет от –0,6 до –1,2°С. Изменение мощности СТС для территории месторождения составляет от 0,3–0,6 до 2–3 м. Второе месторождение находится в Ханты-Мансийском автономном округе («Месторождение-2»). Среднегодовая температура воздуха составляет –3,6°С. Температура пород равна –0,2 ÷ –0,3°С.

Глубина протаивания сильно льдистых торфяных массивов составляет 0,7–1 м и несколько больше – до 1,2–1,5 м – в суглинистых отложениях [3].

В результате экспериментальных исследований были получены фактические данные по теплофизическим свойствам песков разного гранулометрического состава и выявлены закономерности изменения теплопроводности и теплоемкости от влажности, плотности и температуры. Для месторождения 1 исследовались мелкие пески (песок-1, песок-3) и пески средней крупности (песок-2, песок-4, песок-5). Для «Месторождения-2» – пески-6, 7.

Для *мелких* песков: значения теплопроводности в талом состоянии (λ_{th}) изменяются при ρ_d = 1,5 г/см^3 от 1,15 до 1,75 Вт/м·К, в мерзлом (λ_f) – от 1,21 до 1,98 Вт/м·К; при ρ_d = 1,7г/см^3 – от 1,69 до 1,98 Вт/м·К и от 1,84 до 2,32 Вт/м·К, соответственно.

Для *песка средней крупности* при ρ_d = 1,5г/см^3 λ_{th} изменяется от 1,30 до 1,80 Вт/м·К, λ_f – от 1,56 до 2,33 Вт/м·К:, при ρ_d = 1,7 г/см^3 значения теплопроводности: λ_{th} изменяются от 1,1 до 1,65 Вт/м·К, λ_f – от 1,14 до 2,06 Вт/м·К, при наличии растительных остатков и для загрязненного грунта λ_{th} изменяется от 1,22 до 1,78 Вт/м·К, λ_f – от 1,42 до 2,08 Вт/м·К.

Для мелких песков (ρ_d = 1,5 г/см^3) наличие ожелезнения повышает теплопроводность. Для чистого песка λ_{th} изменяется от 1,40 до 1,90 Вт/м·К, λ_f – от 1,50 до 2,13 Вт/м·К, для ожелезненного – λ_{th} от 1,55 до 2,0 Вт/м·К, λ_f от 1,70 до 2,20 Вт/м·К.

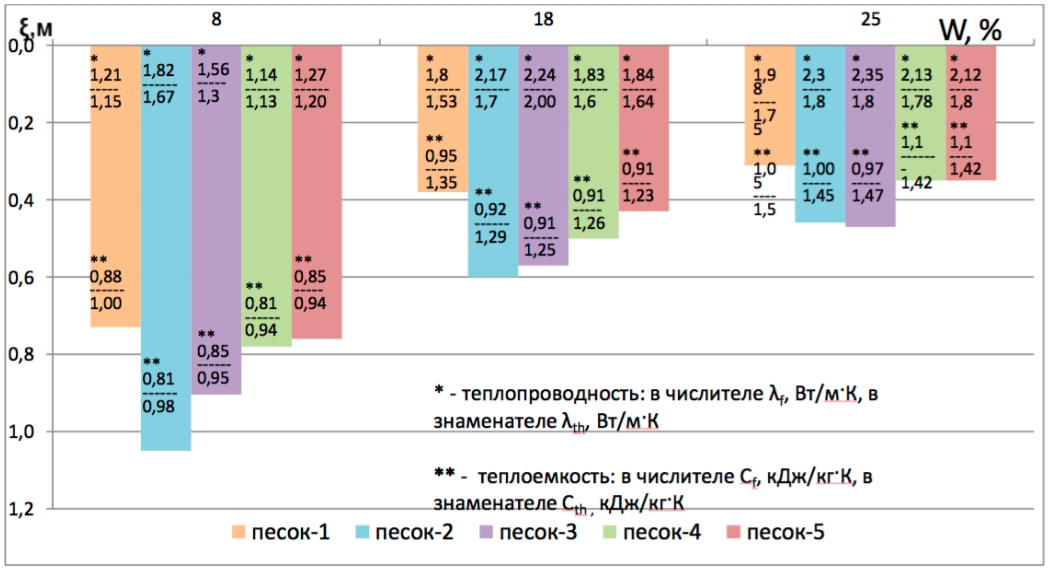
Проведено моделирование глубин сезонного оттаивания и промерзания грунтов численным и аналитическим методами с использованием экспериментальных данных по теплофизическим свойствам насыпных песков [8, 10, 11].

В результате аналитического моделирования получено:

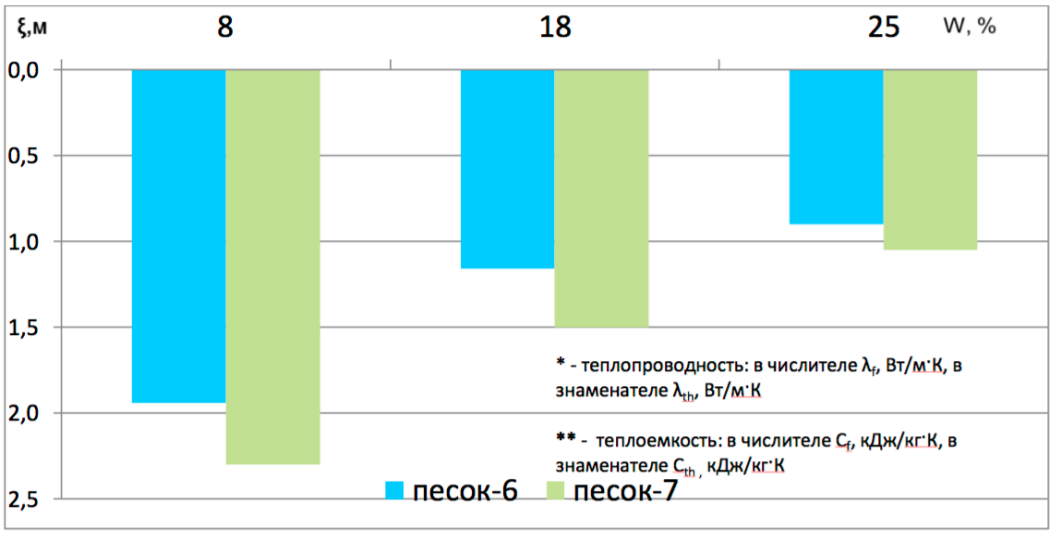
«Месторождение-1». При естественной мощности снежного покрова (0,5 м) мощность СТС изменяется от 0,3 м до 1,15 м в зависимости от типа подсыпки (рисунок *а*). Для всех исследуемых песков данного месторождения при полном влагонысыщении значения мощности СТС близки. Так, для менее теплопроводных песков (песок-1, песок-4, песок-5) – ~ 0,32–0,35 м, а для песков с большей теплопроводностью (песок–2, песок–3) – ~ 0,41–0,45 м. Для мелкого песка (песок-1) и песков средней крупности (песок-4, песок-5) характерны наименьшие значения мощности СТС (0,3–0,8 м). Для песка-2 и песка-3 среднегодовая температура грунтов может быть выше 0°С при влажности W>18%; мощность СТС – максимальная (0,5–0,6 м). При уменьшении снежного покрова до 0,3 м среднегодовая температура грунтов не переходит через 0°С во всем диапазоне изменения влажности.

«Месторождение-2.» При естественной мощности снежного покрова для более теплопроводного песка (песок-7) значения мощности СТС больше, чем для песка-6 на 10% (0,15 м) (рисунок *б*). Для песков во влагонасыщенном состоянии значения мощности сближаются. Среднегодовая температура

грунтов становится выше 0°С для песка-7 при *W*>17 %, для песка-6 – при W>19%. При уменьшении мощности снежного покрова в два раза (0,3 м) температура на глубине СТС отрицательна во всем диапазоне влажности для обоих песков.



а)



б)

Рис. Оценка влияния теплофизических характеристик на формирование мощности СТС:
а – «Месторждение-1», б – «Месторождение-2»

Численное математическое моделирование проводилось на 50 лет. Выявлено:

«Месторождение-1». Наибольшие мощности СТС характерны для мелкого песка (песок–3), и их значения уменьшаются на 20% при увеличении влажности от 8 до 25%. Для менее теплопроводных песков (песок-4, песок-5) значения мощности СТС близки.

«Месторождение-2». Для мелкого ожелезненного песка (песок-7) значения мощности СТС выше, чем для чистого мелкого песка (песок-6), что связано с различиями в значениях теплопроводности.

Для обоих месторождений промерзание проходит не на всю мощность оттаявших грунтов. С каждым годом разница промерзания и протаивания увеличивается и сезонное протаивание переходит в многолетнее. Глубина протаивания в среднем увеличивается на 8–12%.

При обустройстве месторождений необходимо внимательно относится к выбору грунта в качестве подсыпок, на основании данных по определению их состава и свойств. Для месторождения-1 из всех исследуемых песков лучше использовать мелкий песок с плотностью 1,5 г/см^3 во всем диапазоне влажности. Мощность площадной отсыпки можно уменьшить до 2 м. При естественной мощности снежного покрова можно использовать менее теплопроводные пески (песок–1, песок–4, песок–5) во всем диапазоне влажности. Пески с большой теплопроводностью (песок-2, песок-3) во влагонасыщенном состоянии использовать не рекомендуется. Для месторождения-2 можно использовать оба песка Мощность площадной отсыпки, необходимую, для того, чтобы СТС не затрагивал подстилающие породы, рекомендовано увеличить, что бы СТС не выходило за пределы насыпи.

Для обоих месторождений желательно уменьшать мощность снежного покрова и производить отсыпку на конец зимнего периода, когда подстилающие породы находятся в мерзлом состоянии [9].

Список литературы

1. Булдович С.Н., Гарагуля Л.С., Оспенников Е.Н. Опыт проведения инженерно-геокриологического мониторинга на Ямсовейском газоконденсатном месторождении на севере Западной Сибири // Геоэкология. 1998. № 6. С. 33–40.
2. Гарагуля Л.С., Пармузин С.Ю. Признаки оценки устойчивости территории к изменениям природных факторов и техногенным воздействия в области вечной мерзлоты // Мерзлотные исследования: сб. статей. М.: Изд-во МГУ, 1980. Вып. XIX. С. 53.
3. Геокриология СССР. Западная Сибирь / под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 454 с.
4. Кузнецова И.Л., Пармузин С.Ю. Рекомендации по оценке допустимых изменений мерзлотно-грунтовых условий на осваиваемых территориях Западной Сибири. М.: Стройиздат, 1987. 39 с.
5. Мельников П.И., Каменский Р.М., Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны // Вестн. РАН. 1993. Т. 63. № 12. С. 1090–1095.
6. Методы геокриологических исследований: учеб. пособие / под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 2004. 512 с.

7. Основы геокриологии. Ч. 4. Динамическая геокриология / под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 2001. 688 с.
8. Основы геокриологии. Ч. 5. Инженерная геокриология / под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ,1999. 526 с.
9. Основы геокриологии. Ч. 6. Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне / под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 2008. 768 с.
10. Песоцкий Д.Г. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Qfrost. № 20166614404, 2016.
11. Хрусталев Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне: учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 541 с.

Магомедгаджиева М.А.

ООО «Красноярскгазпром нефтегазпроект», г. Москва, M.Magomedgadzhieva@krskgazprom-ngp.ru

ОТ КАЧЕСТВА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ К ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ ОБУСТРОЙСТВА НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Проблемы фундаментостроения в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, в первую очередь, определяются особенностями инженерно-геокриологических условий площадок размещения сооружений. Своеобразие геокриологических условий для конкретной площадки определяет особенности и ограничения при проектировании сооружений. Специфика условий строительства предъявляет, во-первых, повышенные требования к детальности и достоверности инженерно-геологических изысканий, а, во-вторых, не позволяет использовать унифицированные технические решения оснований и фундаментов, требуя индивидуального подхода к отдельным площадкам, а часто и к каждому сооружению.

Особого внимания и детального изучения требуют высокотемпературные многолетнемерзлые грунты (ММГ), очень динамичные во времени. При выполнении инженерно-геологических изысканий именно высокотемпературные мерзлые грунты оказываются наименее исследованными, поскольку определение физико-механических и теплофизических свойств таких грунтов и выполнение температурных замеров грунтов в скважинах требуют высокой квалификации специалистов. В результате проектировщик в силу недостаточной изученности свойств высокотемпературных мерзлых грунтов разрабатывает проектные решения на наихудшие условия с большим запасом. Вслед за ним теплотехник, который выполняет прогнозные теплотехнические расчеты, тоже вынужден разработать мероприятия по обеспечению надежности принятых конструктивных решений на весь срок эксплуатации с большим запасом.

Зачастую результаты выполненных инженерно-геологических изысканий разными организациями на одну и ту же площадку настолько расходятся, что, согласно теплофизическим характеристикам грунтов, они находятся в разном температурном состоянии. Например, на одной и той же строительной площадке один и тот же грунт в одном случае имеет температуру начала замерзания минус 1,1 °С (грунт при естественной природной температуре охлажденный), в другом минус 0,7 °С (грунт мерзлый). Соответственно, перевод грунта в мерзлое состояние в первом случае потребует больших затрат, чем понижение температуры мерзлого грунта во втором случае.

В соответствии с СП 25.13333.2012 расчетные значения прочностных характеристик мерзлых грунтов определяются опытным путем по данным испытаний грунтов, проводимых в соответствии с ГОСТ 12248, с учетом

коэффициента надежности по грунту и расчетных температур грунта основания, определяемых теплотехническим расчетом. Однако чаще всего определение расчетных сопротивлений грунта выполняется при одной назначенной температуре, которая не отвечает ни естественной, ни прогнозной при эксплуатации температуре. В то время как для выявления зависимости прочностных характеристик грунтов от температуры и, соответственно, корректного выполнения расчетов несущей способности свайных фундаментов по результатам испытаний необходимо определение расчетных сопротивлений грунта для нескольких значений температур. В результате при расчете несущей способности свай приходится пользоваться таблицами В.1 – В.11 СП 25.13333.2012. Спрашивается, зачем надо было делать эти определения, вкладывать немалые средства, когда полученными характеристиками при проектировании нельзя пользоваться, и в результате проектировщик снова разрабатывает технические решения фундаментов с большим запасом, поскольку значения прочностных характеристик в таблицах СП рассчитаны для «среднебольничных» данных и не охватывают весь возможный температурный диапазон.

Инженерно-геологические изыскания должны удовлетворять требованиям утвержденных нормативных документов. К сожалению, часто присутствует человеческий фактор, и данные инженерных изысканий полны излишнего материала и в то же время страдают неполнотой данных. В итоге прогнозные теплотехнические расчеты приходится проводить по наихудшему сценарию и компенсировать недостающие данные многовариантным моделированием.

Для уменьшения большого запаса в проектных решениях также требуется детальное исследование таких характеристик грунтов как теплопроводность, объемная теплоемкость, влажность незамерзшей воды в спектре отрицательных грунтов, засоленность, степень заторфованности, степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой, льдистость, степень морозной пучинистости, коэффициент оттаивания и сжимаемости.

Для разработки проектной документации, выбора принципа использования грунтов в качестве оснований зданий и сооружений, выбора управляющих решений по обеспечению их устойчивости и надежности на площадках обустройства нефтегазового комплекса в эксплуатационный период необходимо проведение качественных инженерно-геологических изысканий. На основе анализа этих данных выполняется типизация инженерно-геокриологических условий, инженерно-геокриологическое картирование, охватывающее инженерно-геокриологические условия, высоту общепланировочной насыпи с оценкой грунтов по степени их морозной пучинистости, районирование по степени опасности геокриологических процессов. Классификационным признаком при выделении служит литологический состав, специфические свойства, температура и соответствие температурного режима классу прочностного состояния, а также предрасположенность грунтового основания к возникновению криогенного

пучения и интенсивности его воздействия на устойчивость инженерных сооружений и способность грунта менять свое состояние под отепляющим влиянием инженерного сооружения и снегозаносов. Следует отметить, что при инженерно-геокриологическом картировании выполняются прогнозные теплотехнические и деформационные расчеты с учетом тренда потепления климата и возможного теплового влияния строительного и эксплуатационного периодов, позволяющие оценить динамику изменения природных геокриологических процессов.

Вслед за этим выполняется геотехническое обоснование, целью которого является разработка оптимального сочетания технических решений по фундаментам и по термостабилизации грунтов, выполненного на основе прогнозных теплотехнических, деформационных и прочностных расчетов оснований с учетом инженерно-геокриологических условий и всех конструктивных и технологических особенностей инженерных сооружений. Технические решения по устройству оснований, опорных и фундаментных конструкций должны обеспечивать требуемую прочность, эксплуатационную пригодность и механическую безопасность в процессе строительства и эксплуатации проектируемых зданий и инженерных сооружений, а также максимальное использование деформационно-прочностных свойств материалов и грунтов основания.

Выводы

Индивидуальный подход к объектам, качественное проведение инженерно-геологических изысканий и прогнозирование влияния геокриологических условий и опасных геокриологических процессов, а также геотехническое обоснование принимаемых технических решений обеспечат устойчивость и многолетнюю эксплуатационную надежность оснований зданий и сооружений при любых технологических требованиях и позволят получить экономический эффект:

В целях исключения уменьшения затрат на проектирование и строительство рекомендуется.

1. Выполнение качественных инженерно-геологических изысканий, что позволит разработать соответствующие геокриологическим условиям технические решения по фундаментам и термостабилизации грунтов и исключить дополнительные мероприятия, принятые из-за неизвестности тех или иных характеристик грунтов (из ряда «на всякий случай»).

2. Выполнение работ по отсыпке общепланировочной насыпи согласно сроку, полученному по результатам прогнозных теплотехнических расчетов, что даст возможность использовать естественный природный холод, а также оптимизировать мероприятия по термостабилизации грунтов.

3. Взаимодействие работ по проектированию фундаментных конструкций и мероприятий по термостабилизации грунтов на основе прогнозных

теплотехнических расчетов, что приведет к оптимизации параметров свай и других конструкций.

4. Создание эффективной системы геотехнического мониторинга посредством осуществления инструментального контроля динамики развития геологических и геокриологических условий оснований и устойчивости фундаментов с учетом изменений природно-технической обстановки, что позволит своевременно выявить развитие деструктивных процессов и принять управляющее техническое решение.

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИНЖЕНЕРЫХ ИЗЫСКАНИЯХ»

Аносов Г.И.[1], Бобков В.В.[2], Дементьев Ю.В.[1], Каргопольцев А.А.[1], Криволапчук М.П.[3], Кришталь К.В.[2], Рогаль Л.А.[4], Сотников Д.С.[1]

[1]ООО ЦИИЗ «ИМПУЛЬС-М», г. Калининград, anosovgi38@mail.ru.
[2]ГБУК «Калининградская областная филармония имени Е.Ф. Светланова», г. Калининград, krishtalkv@mail.ru
[3]ООО «КГЭ “Астра”», г. Санкт-Петербург, max_krivolapchuk@mail.ru
[4]ООО «Лентисиз-Калининград», г. Калининград, lentisiz@inbox.ru

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ПЛОТНО-ЗАСТРОЕННЫХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КАЛИНИНГРАДА

01 декабря 2015 года на западные районы Калининградской области распространено действие СП14.13330.2014 «Строительство в сейсмоактивных районах», что вызвало острые проблемы как по проведению инженерно-геологического бурения (требуемая глубина исследований до 30 метров вместо 10 м, как это было до введения нормативного документа), так и по организации изысканий по сейсмическому микрорайонированию (СМР) плотно – застроенных территорий внутри городской черты, или вне города, но на неподготовленных, часто заболоченных или залесенных площадях при отсутствии и специалистов, и работающих по данной тематике организаций.

Город Калининград (ранее, до 1946 - Königsberg in Preußen, нем.) – исторически существует с 1255 года и интенсивно развивался вдоль реки Преголя (Pregel) как торговый, промышленный и научный центр вплоть до второй Мировой войны. В городе успешно работал Университет Альбертина, в составе которого с участием одного из родоначальников мировой сейсмологии **Эмиль Вихертом** (Emil Wichert, 1861-1928) была организована сейсмологическая служба на базе станция «Gross-Raum». Станция проработала вплоть до 1945 года и научно, и организационно, была вписана в структуру сейсмологической сети Европы. Продолжение сейсмологической истории Янтарного края (так принято называть регион восточной Пруссии – нынешнюю Калининградскую область) возродилась с января 2005 (после землетрясения 21 сентября 2004 года), когда силами Геофизической службы РАН (ГС РАН) была организована и запущена в работу сейсмологическая станция, ныне известная как KLNR. Позднее, (2009-2010 гг.), в составе географического факультета Балтийского федерального университета (БФУ им И. Канта) работа этой станции была поддержана развертыванием пунктов регистрации микросейсмического фона и местных землетрясений еще двумя стационарными регистраторами, созданными в ГС РАН (г. Обнинск), которые были установлены в подвале Морской учебно-научной станции БФУ им. И. Канта в п. Рыбный на берегу Балтийского моря (МУНС) и в подвале учебного корпуса

того же университета в центре города Калининград (ул. Университетская, 2). В настоящее время, с перерывами в области работают четыре короткопериодных (1.0 Гц) станций. Так же, в разное время после событий 2004 года, на территории области работали временные сейсмологические станции ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН и других организаций при решении локальных и специальных исследовательских задач. Все эти наблюдения позволили сформировать представления о современном природном микросейсмическом фоне Калининградской области и создать основу для проведения сейсмического микрорайонирования территорий, вовлекаемых в процессы строительства новых объектов или реконструкции уже существующих.

Основа таких исследований была сформирована работами ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН в 2008-2009 гг. по сейсмическому микрорайонированию г. Калининграда [3].

Эти работы носили принципиально важный характер не только потому, что были первыми в данном регионе, но и в связи с тем, что методика сейсмического микрорайонирования в таких сложных и, с точки зрения, геологического строения (наличие переслаивания высоко и низкоскоростных слоев, палеоврезов с резкопониженными геотехническими параметрами и т.п.), так и с очень высоким уровнем техногенных помех. Так же, для города характерна очень большая мощность техногенного грунта, обусловленного остатками (реликтом) старых, довоенных построек, включая многочисленные подвальные помещения, которые были либо замурованы, либо засыпаны на стадии «уборки» разрушенных строений во время войны. Это приводит к тому, что стандартные методы инженерной сейсморазведки не всегда могут обеспечить нормативную глубину исследований до 30 метров. На данном этапе даже те немногочисленные площадки, которые были использованы в работах ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН в 2008-2009 годах могли бы быть полезными с этих позиций.

Кроме того, можно считать установленным, что измерения геотехнических параметров грунтов вне уже эксплуатируемых сооружений плохо согласуются с параметрами грунтов под этими сооружениями, тем самым, создаются условия ложных результатов, которые могут приводить к серьезным ошибкам в расчетах таких величин. И, наконец, что не маловажно, сложные схемы сейсморазведочных исследований, которые требуются при обеспечении требуемых нормативами глубин и детальности, как правило, очень дорогие при реализации, а заказчики-УВЫ!- это не принимают. Современные достижения в методике сейсмических методов, и в интерпретации получаемых результатов, позволяют решать возникающие проблемы с меньшими затратами. Эти подходы и реализуются в практике изысканий ООО ЦИИз «ИМПУЛЬС-М» на объектах города Калининграда.

Рис. 1. Внешний вид здания «Кирха Святого Семейства» - областная филармония Калининградской области

Ниже приводятся результаты сейсмического микрорайонирования на объекте Кирха Святого Семейства – действующее сооружение областной филармонии Калининградской области (рис. 1), которое выполнялось в соответствие с рекомендациями и требованиями Свода правил [7].

Здание Кирхи Святого Семейства построено в 1908 году, претерпело разрушение в период штурма г. Кёнигсберга и было капитально отремонтировано в 1983 году. На сегодняшний день оно представляет собой сооружений размерами 20х45 м и высотой 11 м типично готического стиля. К основному корпусу примыкают, с одной стороны, колокольня высотой с квадратной формой основания, а, с другой, стандартной формой структура аспида, высотой и с подвальным помещением. Внутри основного зала (неф) два ряда несущих колонн высотой 10,4 м. Фундамент всей конструкции – мелкий, бутовый. Из ярко выраженного **новодела -** это система инженерно-технических сооружений (водопровод, отопление, канализация и т.д.) как вокруг здания, так

и внутри, практически по центру конструкции, которые существенно нарушили сплошность и несущие параметры грунтов основания (рис. 2).

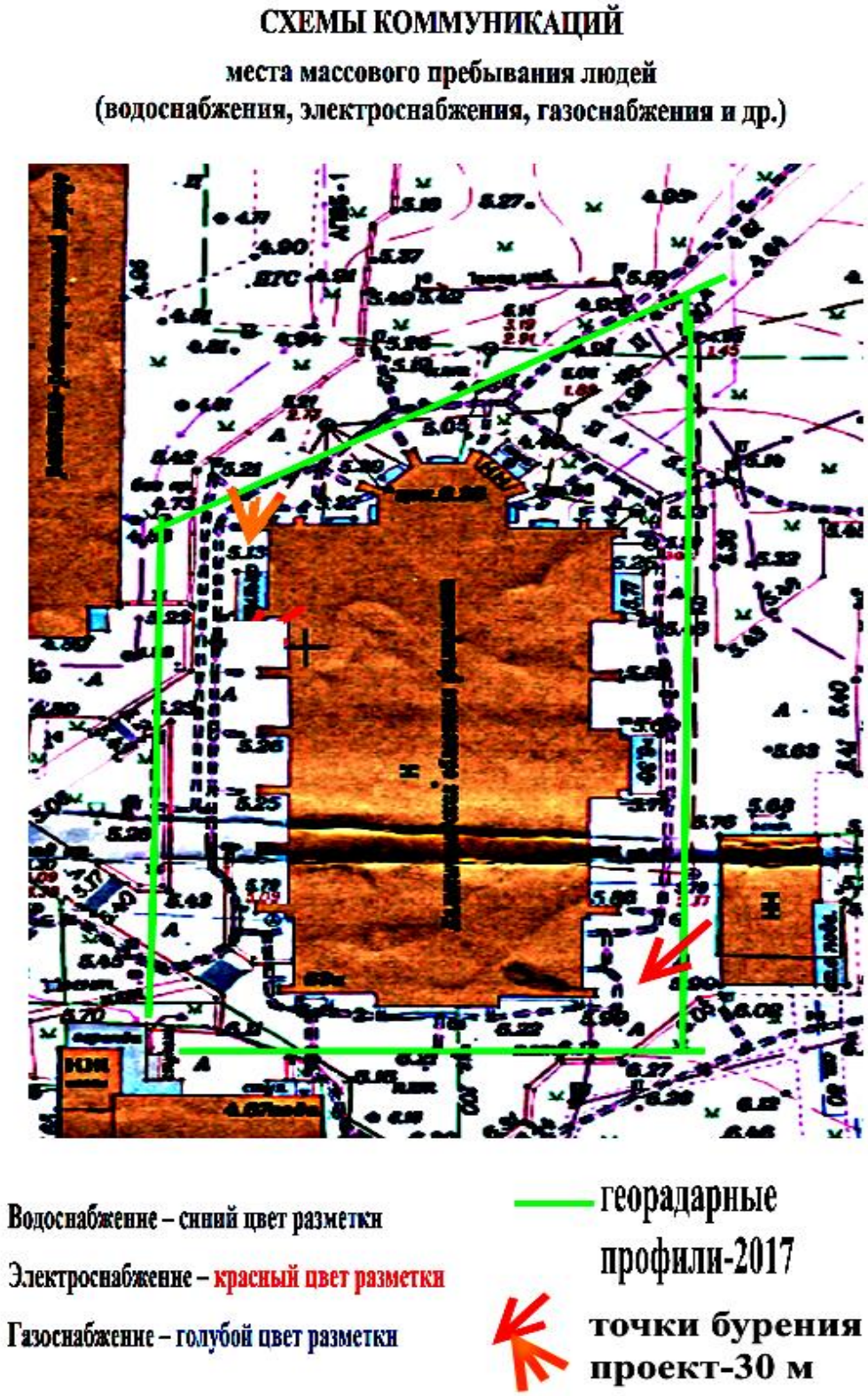


Рис. 2. Схема инженерных коммуникаций площадки Калининградской областной филармонии

Методика

Оценка геотехнических параметров грунтов основания здания филармонии выполнялась на первом этапе с использованием георадарного сканирования структуры грунтов, результаты которого были положены при выборе мест заложения сейсмометрических профилей как по периметру здания на улице, так и внутри самого здания (рис. 3).

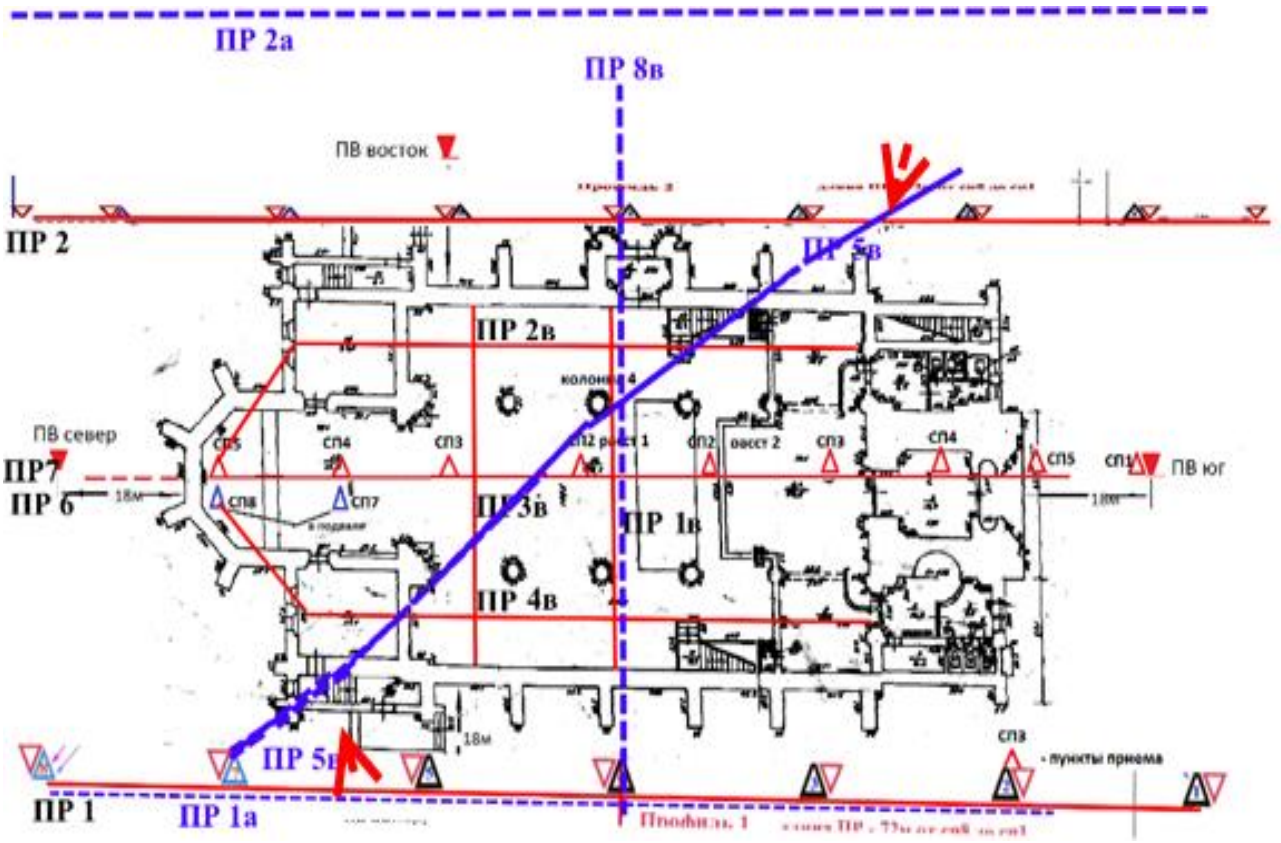


Рис. 3. Схема сейсмометрических профилей СМР Филармония-2017 г. Красный и синий цвет- профили с трехкомпонентными датчиками GS-20DX; синий цвет пунктиры – профили с вертикальными приборами. Линии ПР 1 и 2 совпадают с профилями томографического просвечивания. Стрелки - положение инженерно-геологических скважин

Изучение вертикального разреза грунтов основания и территории Калининградской Областной филармонии выполнено методами просвечивания поверхностными волнами (SASW-MASW) и низкочастотным зондированием микросейсмами (МНЧЗМ) (рис. 4). Во всех случаях, включая наблюдения внутри здания, наблюдения выполнялись многоканальными профильными или площадной регистрациями в вариантах активного источника (кувалда весом 8 кг) или пассивным (микросейсмы природного и техногенного происхождения). Ниже излагаются результаты обработки этих данных (рис. 5). Обработка первичных данных выполнялась с применением программ DIMAS.exe

(Камчатский филиал ГС РАН, г. Калининград, Россия) и GEOPSY (Геофизический центр, г. Гренобль, Франция).

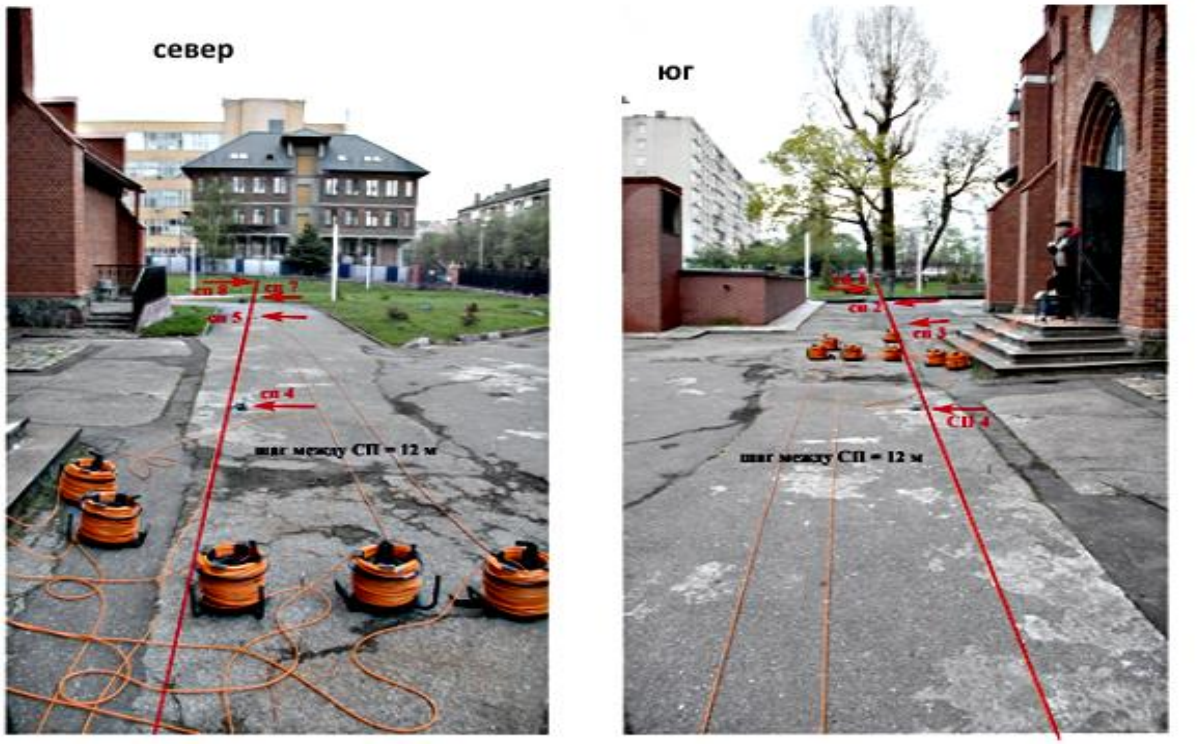


Рис. 4. Примеры расстановки приборов регистрации упругих колебаний в рамках работ по СМР территории Калининградской областной филармонии

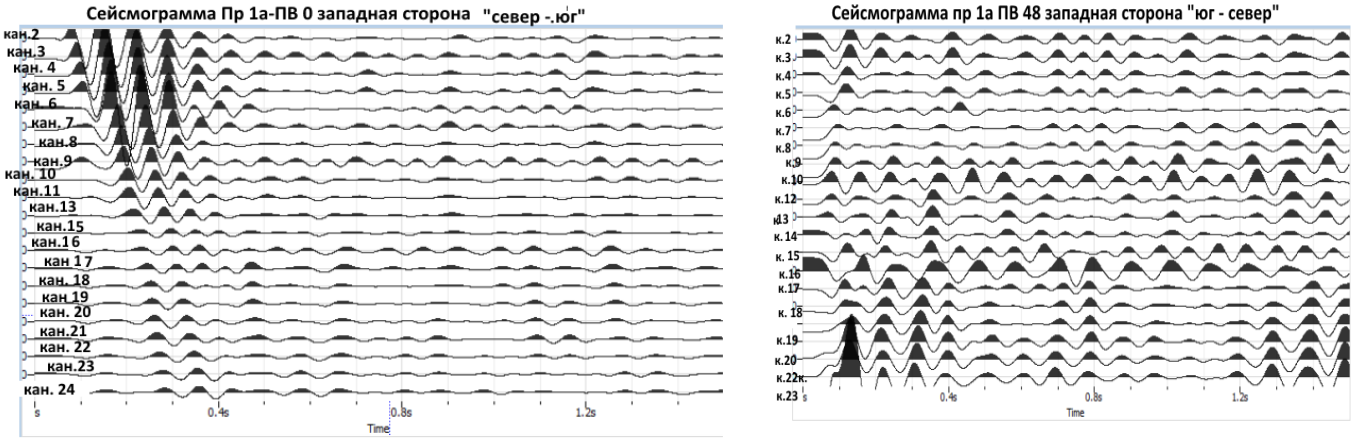


Рис. 5. Сейсмограммы поверхностных волн.
Профиль 1 – вертикальная компонента (см. рис. 3, 4)

Методика обработки двух приборных регистраций (SASW) с активным источником и данных многоканальной регистрации активных и пассивных источников (MASW) осуществлялась в рамках имеющихся методик [10] (рис. 6). Как рекомендуется практикой работ поверхностными волнами, полученные данные рассматриваются после статического осреднения. С этой точки зрения,

полученные результаты для профиля 1 (западная сторона) дают величины V_s = 255 м/с для глубин до 17–22 м и V_s = 355 м/с для глубин более 28-33 м. Аналогично, для профиля 2 (восточная сторона) V_s = 225 м/с для глубин до 19–23 м и V_s = 335 м/с для глубин более 30 м. Полученные значения уточнялись в дальнейшем расчетами по программе NERA [9] с использованием материалов зондирований (МНЧЗМ) [6] (рис. 7). Следует подчеркнуть кажущееся «разногласие» между сейсмометрией и данными бурения: по материалам бурения скорости поперечных волн в пересчете по корреляционным связям между модулем деформации $E_{деф.}$ и скоростями поперечных волн и по данным поверхностных волн – различаются; скорее всего, существенной анизотропии между скоростями поперечных волн V_{SV} (вертикальная поляризация) и V_{SH} (горизонтальная поляризация). При моделировании геологического разреза принимаются второй тип волн. Здесь эти скорости существенно (более 20%) ниже, что свидетельствует о заметной субгоризонтальной слоистости [4, 15, 17].

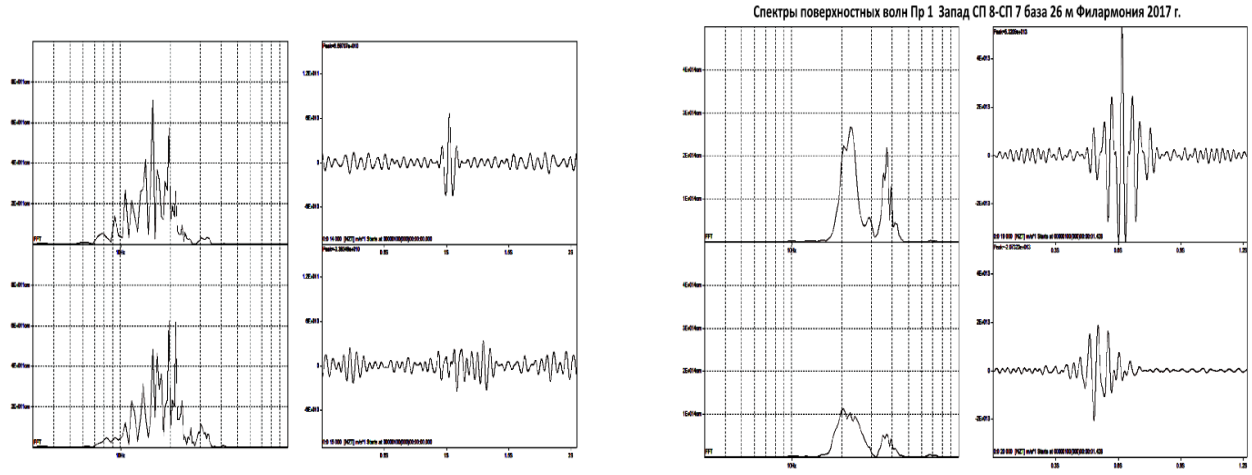


Рис. 6. Примеры обработки поверхностных волн методом SASW[4]

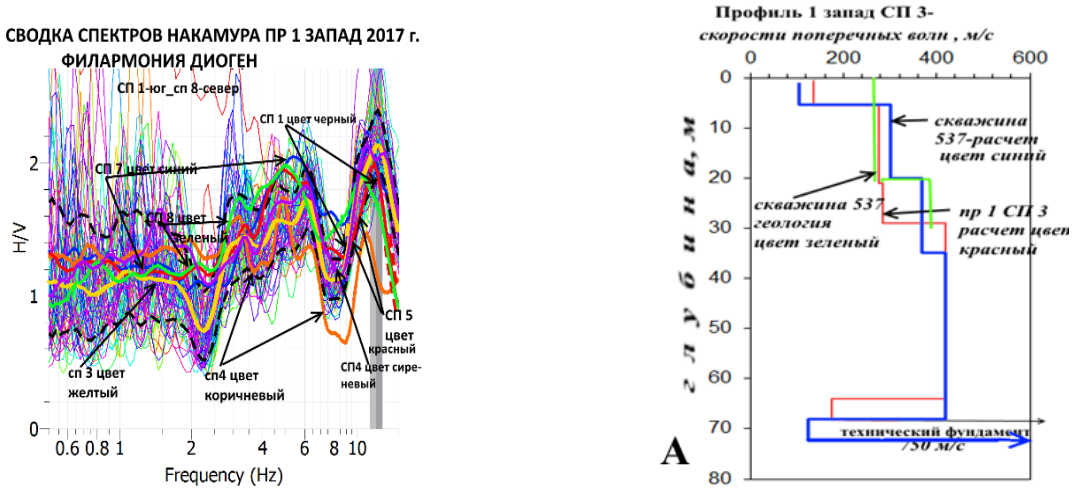


Рис. 7. Пример интерпретации материалов низкочастотного зондирования (МНЧЗМ) по профилю 1 (северо-западная сторона вне здания)

Метод низкочастотного зондирования микросейсмами, известный и широко применяемый в мире (HVSRm –horizontal-to-vertical ratio microseismics) [9, 11–14, 16], используется в практике ООО ЦИИЗ «ИМПУЛЬС -С» при работах в городе и в области с 2010 года [4, 6]. Экспертные оценки полученных результатов были получены как при рассмотрении их экспертизами разного уровня, так и при докладах этих результатов на Всероссийских ежегодных совещаниях, проводимых Минстрой и ЖКХ РФ и АОСС РФ.

Регистрация микросейсм приборами GS-20DX (10-ти Гц) выполнялась, преимущественно, для определения фундаментальных частот здания и грунтов в полосе выше 1,0 Гц, тогда как приборы RefTek 130 (1.0 Гц) в полосе и ниже одного герца (т.е. для оценки, в том числе, и глубин залегания и технического фундамента). После получения данных по спектральным характеристикам грунтов основания изучаемого здания по программе Zond ST3D (Автор Каминский А.Е. Сайт http://zond-geo.ru/) были выполнены расчеты скоростей продольных волн, распространяющихся под зданием филармонии при просвечивании грунтов основания по профилям 1 и 2 (см. рис. 3 и 10).

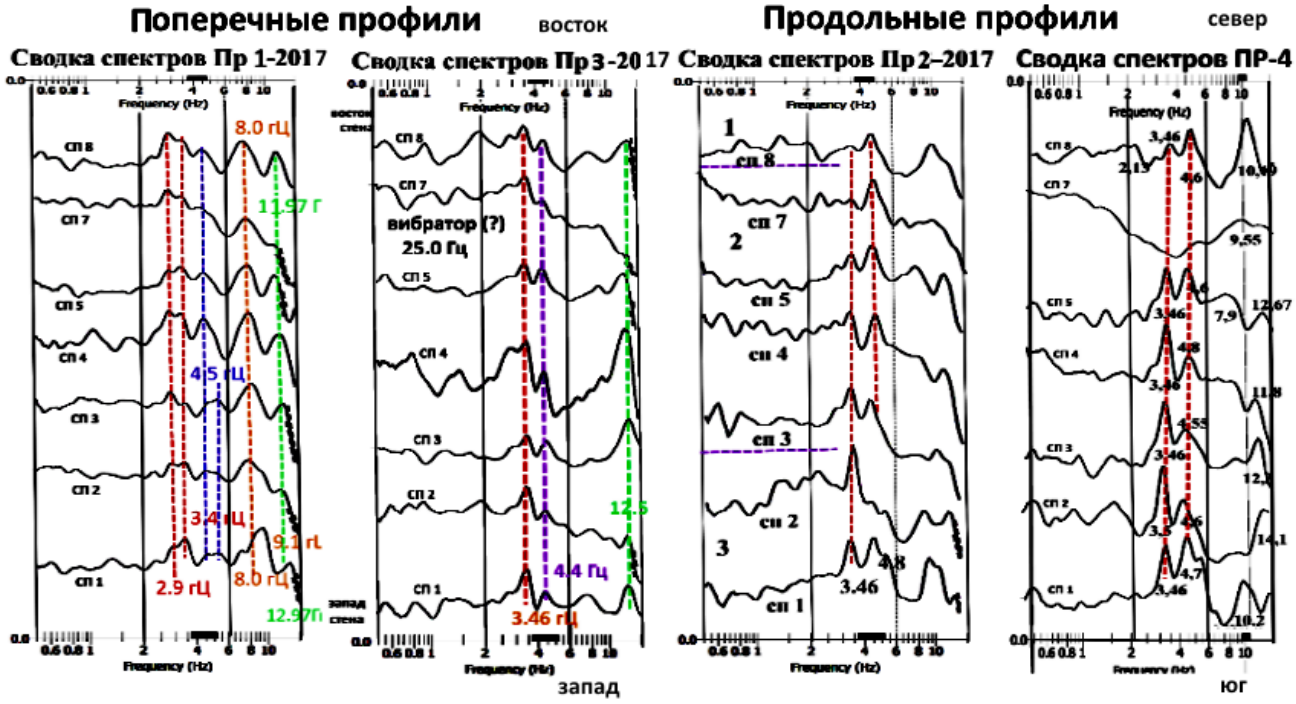


Рис. 8. Примеры спектральных характеристик грунтов основания здания Калининградской Областной филармонии по профилям внутри здания (см. рис. 3)

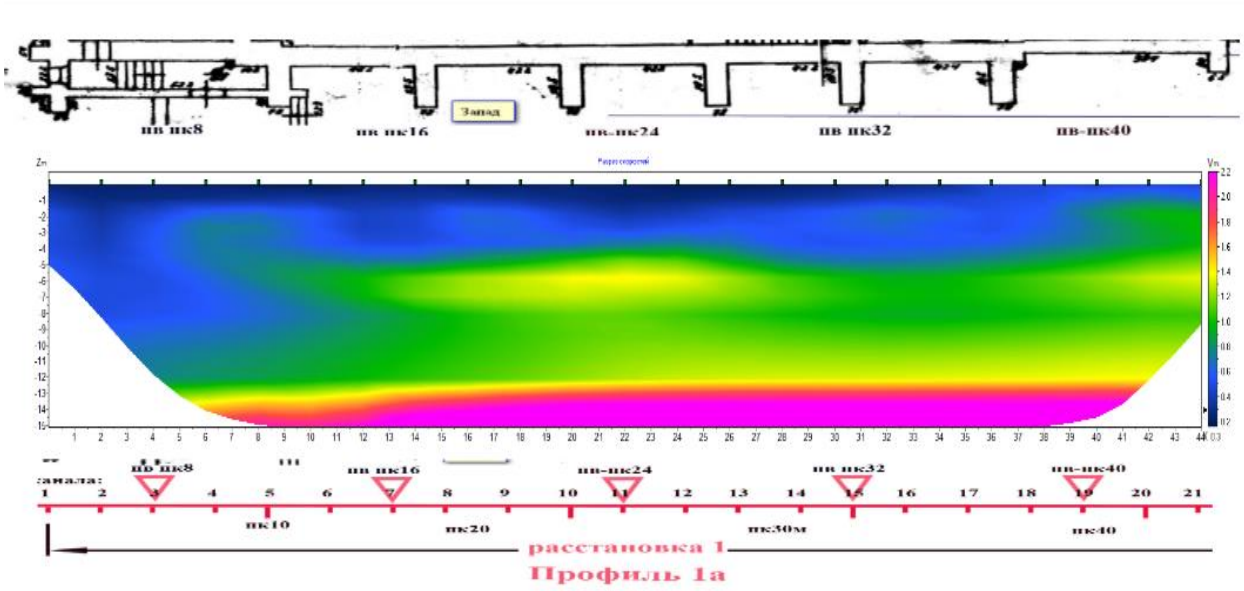


Рис. 9. Пример интерпретации сейсмометрических данных по ПР 1 – определение скоростных параметров грунтов основания вне здания

Обсуждение результатов

Выполненное сейсмометрическое зондирование и просвечивание тонкой структуры грунтов основания здания Калининградской областной филармонии дали возможность использовать эти материалы для оценок **интенсивности** сейсмической сотрясаемости грунтов площадки размещения изучаемого объекта. С этой целью применяется перечень рекомендаций по СП 283.1325800.2016 (ст. 6 и 7) и рабочие формулы для расчетов приращения интенсивностей по данным экспериментальных измерений геотехнических характеристик грунтов.

$$\Delta I = 2.5 \lg\left(\frac{bR_0}{R_1 + R_0}\right)$$

где b-максимум коэффициента динамичности, равной 3.4 для г. Калининграда по [3]; R_0 – сейсмическая жесткость эталонного (референтного) грунта, равная по данному нормативному документу =2000; R_1 = 640 т*с/м^2 (скваж. № 537) и = 533 т*с/м^2 (для скваж. № 538) по материалам сейсмометрических измерений на данной площадке. Тогда параметр «приращение интенсивности» будет равен = 6.55 баллов по материалам скважин. **Для центральной части изученной площадки, в том числе, под самим зданием эта величина составит = 6.8 баллов.**

Таким образом, получены примеры увеличения уровня сейсмичности ранее застроенной территории, возможно, вследствие

техногенного влияния в рамках новейшего нормативного документа [17]. Для центральной части возможно снижение амплитуды сотрясений на фоне развития реологического разжижения грунтов основания и развитие процессов проседания.

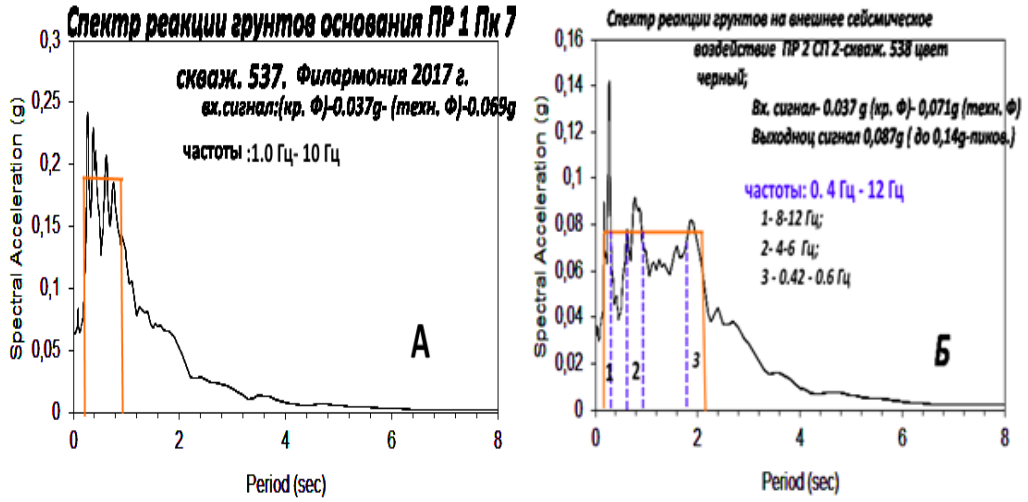


Рис. 11. Расчетные по программе NERA спектры реакции грунтов основания здания Калининградской областной филармонии для прогнозных воздействий от местных землетрясений - 7 баллов по шкале ГОСТ Р 57546-2017 [17]

Результаты выполненных исследований по сейсмическому микрорайонированию территории Калининградской областной филармонии (СМР) могут быть обобщены в краткой форме в следующим виде:

1. Сейсмичность площадки в случае реализации прогнозных землетрясений по [3, 6] по расчетам программой NERA может достигать 7 и более баллов с амплитудой акселерограмм до (0,08-0,18) g или (80 – 176) см/с^2 на частотах 0,4 – 12,0 Гц.

2. Существующие в настоящее время параметры грунтов основания под центральной частью здания Калининградской Областной Филармонии могут создать условия реологического разжижения (и вытекания вещества грунтов из-под здания), которое будет обуславливать оседание конструкции и возможное отклонений от вертикали.

3. Полученные материалы по сейсмоакустическому просвечиванию подземной части здания свидетельствуют с высокой вероятностью о наличии пустот в структуре грунтов, которые обуславливают резкое понижение скоростей на глубинах 2-6 м и понижение устойчивости конструкции здания. В первую, очередь, такие процессы будут захватывать среднюю часть конструкции и на стыках конструктивных субблоков (колокольня, неф, пристройка-апсида и т.д.)

4. При проектировании работ по капитальному ремонту здания необходимо предусмотреть мероприятия по укреплению грунтов основания под зданием и по периметру сооружения.

5. В связи с тем, что расположение здания Калининградской Областной Филармонии, скорее всего, совпадает с возможным склоном древнего палеовреза с северо-западным трендом резкого погружения, целесообразно предусмотреть строительство «свайного якоря» по периметру здания, чтобы исключить возможные смещения конструкции в моменты сейсмовибраций под воздействием землетрясений.

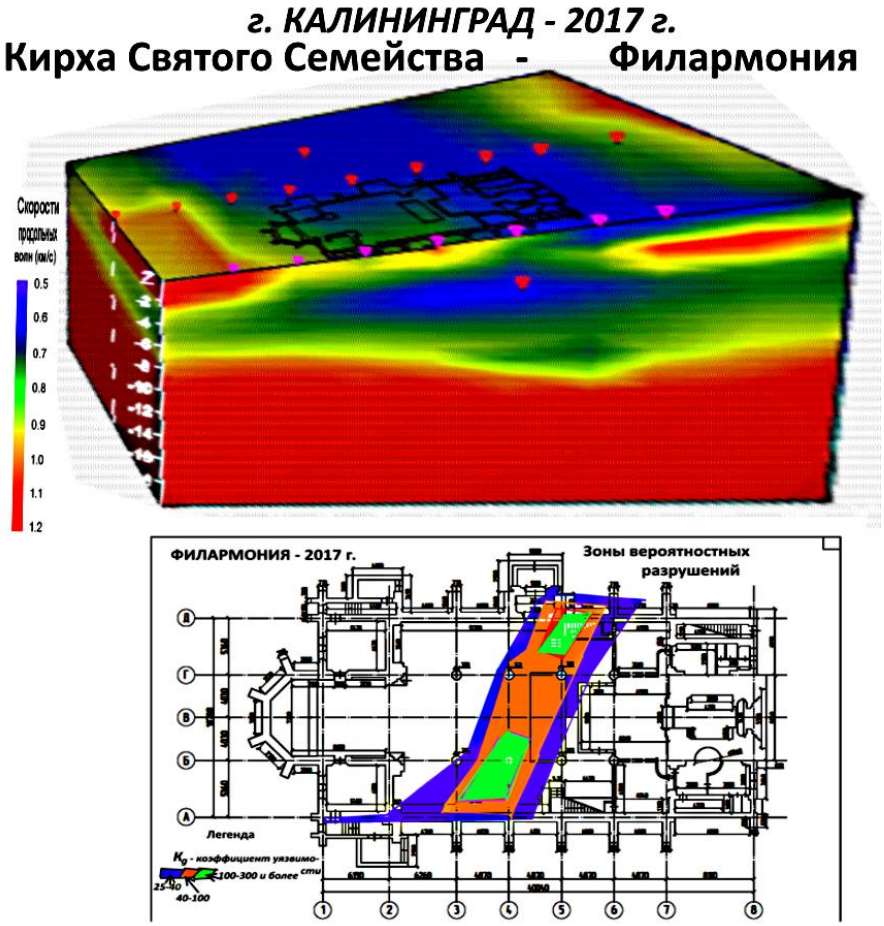


Рис. 10. Результаты сейсмотомографического просвечивания подземного строения грунтов под зданием областной филармонии [15]. Отчетливо видно, что скорости под корпусом здания значительно (более чем в 2 раза) меньше тех, что на окружающей территории: нижний- представление материалов по динамическим характеристикам колонн центрального зала: синий цвет скоростей (верхний рис.) – минимальные значения; зеленый цвет – (нижний рис.) – максимальная уязвимость колонн (разрушение!?!)

Список литературы

1. ГОСТ Р 57546-2017 Землетрясения. Шкала интенсивности.

2. Градостроительный Кодекс Российской Федерации (от 29.12.2004 г., № 190-ФЗ, ред. от 13.07. 2015 года, 162 с. (Глава 6: ст. 47, ст.60).
3. Комплексные сейсмологические и сейсмотектонические исследования для оценки сейсмической опасности территории г. Калининграда в 2008 году. НТО, ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта, 2008. С. 1–306.
4. Методические особенности инженерно-геологических изысканий в составе инженерно–геологического изучения грунтов основания мостов через реку Преголя в городе Калининграде // Г.И. Аносов, Ю.В. Дементьев, Л.А. Рогаль и др. // Геотехника. 2015. № 5. С. 14–29.
5. Расчет на сейсмические воздействия в системе SCAD (scadsoft.com/downloadSeismic_2003.ppt).
6. Сейсмическое микрорайонирование территории г. Калининграда // А.С. Алешин, Г.И. Аносов, Ф.С. Бессараб и др. // Инженерные изыскания. 2014. № 9–10. С. 68–79.
7. СП 283.1325800.2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования.
8. Тихоцкий С.А., Фокин И.В., Шур Д.Ю. Активная лучевая сейсмическая томография с использованием адаптивной параметризации системой вэйвлет функций // Физика Земли. 2011. № 4. 67 с. doi: 10.1134/S0002333711040053.
9. Bardet J.P., Tobita T. Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered soil Deposits. 2001. 46 p.
10. Brown L.T., Diehl J.G., Nigobor R.L. A simplified procedure to measure average shear wave velocity to a depth of 30 meters V_{S30}) //12WCEE, paper № 0677. P. 1–8.
11. C'elebi, M. (m. EEER) Identification of Site frequencies from Building records // Earthquake Spectra. 2003. Vol. 19 (1). P. 1–23.
12. Gue'guen, P., Bard, P.-Y., Chavez-Goirgia, F.J. Site-city seismic interaction in Mexico City-like environments: an analytical study // BSSA, 2002. Vol. 92. P. 394–804.
13. Gue'guen, Ph. Urban seismic ground motion: a coupled effect of site and Urban environment // 14th WCEE. Beijing, China, 2008. P. 7.
14. H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results 1-D noise simulations (http://gji. oxfordjournals.org/content/167/2/827full#sec-5). 2006. P. 1–19.
15. Schulze W.E. Grundbau Deutsche Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik, 7th ed. Istanbul: Uçler Printing House, 1943.
16. SESAME European research project "Site effects assessment using ambient excitations": Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME, Final Report, 2004. http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr.
17. Tescan S.S., Ozdemir Z., Keceli A. Seismic technique to determine the allowable bearing pressure for shallow foundations in soils and rocks // Acta Geophesica. 2009. Vol. 57. № 2. P. 2–13.

Аносов Г.И.[1], Бобков В.В.[2], Дементьев Ю.В.[1], Каргопольцев А.А.[1], Кришталь К.В.[2], СотниковД.С.[1]

[1]ООО ЦИИЗ «ИМПУЛЬС-М», г. Калининград, anosovgi38@mail.ru
[2]ГБУК «Калининградская областная филармония имени Е.Ф. Светланова», г. Калининград, krishtalkv@mail.ru

ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНОЙ УЯЗВИМОСТИ ГОТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ КАЛИНИНГРАДА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ КОМПОНЕНТ МИКРОСЕЙСМ

Стремительное развитие в последние десятилетия основ городской сейсмологии поставили множество вопросов при планировании развития городской среды в формате «умного города» [1]. Среди этого множества наиболее доступными могут приниматься инженерные изыскания, которые направлены на измерения динамических параметров зданий и сооружений [2]. Вместе с тем, за период длительного развития методических приемов выполнения таких инженерных изысканий, начиная с 1935 года [14], было установлено, что искомые результаты имеют ярко выраженный методологический характер, обусловленный приемами возбуждения и регистрации искомых величин. Как показали теоретические и практические результаты, применения импульсных **(длительность воздействия $Tf_{cp} \leq 1$) или вибрационных (длительность много больше $Tf_{cp} \geq \geq 1$) [3],** где f_{cp} и T соответственно, средняя частота и длительность одной посылки сигналов, обуславливают резко отличные по реакции систем на применяемые воздействия из-за несоответствия коэффициентов передачи вынуждающей энергии с коэффициентами ее поглощения принимающим устройством. Иными словами, при импульсном воздействии большая часть вынуждающей энергии может отражаться без ее поглощения, тогда как при вибрационном, основная часть энергии поглощается приемным устройством и может создавать обеспечивать развитие вторичных (здесь, вынужденные колебания) процессы [3-5]. Кроме того, стало очевидным, что дискретные измерения в отдельных точках не всегда могут обеспечить интегральную характеристику искомой величины даже в самых благоприятных условиях. Поэтому рекомендуемые [6] методы изучения динамических параметров зданий и сооружений не могут обеспечить получение достоверных измерений из-за слабой энергетической обеспеченности в формате импульсных измерений вибрационных процессов [2, 7-9].

Другим направлением изучения динамических характеристик зданий и сооружений может рассматриваться выбор вариантов размещения точек, в которых желательно устанавливать приборы измерений. На базе теоретических представлений, эти точки рекомендуется устанавливать либо в центре масс объекта, либо вдоль осевой линии, которая создает совокупность локальных точек размещения центров масс [4-12]. Кроме того, возникает проблема регистрации данных для решения поставленных задач: 1. либо осуществляется

мониторинг прямой регистрацией фундаментальных динамических параметров (собственные частоты, логарифмические декременты затухания, формы колебаний и т.п.) в зависимости от параметров внешнего воздействия для контроля конструктивной целостности объекта; 2 либо контроль конструктивной целостности здания или сооружения мониторингом косвенных параметров, таких как передаточная функция, характеристики которой обуславливаются конструктивными особенностями объекта. Выбор каждого из этих направлений является прерогативой испытателя и не обусловлен методическими особенностями рассмотренных направлений.

Каждое из этих направлений развивается быстрыми темпами и в значительных объемах. Однако, с возникновением сейсмологического направления под названием «городской сейсмологии» [13-18], было показано значительное влияние на параметры собственных фундаментальных частот строительных конструкций не только естественного сейсмологического (микросейсмического) фона, но и непосредственное динамическое взаимодействие соседствующих зданий и сооружений друг на друга. Такое влияние значительно **осложняет прямую регистрацию** необходимых динамических характеристик конструкций. И дополнительно, на что указывается в [19], предлагаемые во многих случаях практические решения по прогнозу ожидаемых динамических характеристик конструкций или существующих сооружений требуют внимательного и осторожного использования. В связи с этим, более обоснованным и практичным с методической точки зрения, представляется методы второго направления, основанные на использовании **для динамического мониторинга передаточных функций (т.н. «решения черного ящика»)**. Несмотря на быстрое развитие приемов решения динамических задач, основанных только на стохастическом анализе выходных сигналов, традиционные варианты применения «черного ящика» [18, 19] представляются более доступными, дешевыми и надежными по получаемым результатам. Основу решений «черного ящика» составляют спектральные характеристики микросейсмического фона, регистрируемые вне здания (сооружения) в опорных точках – входной сигнал, и регистрация этого же фона (сигнала) в исследуемой точке. Наиболее рекомендуемыми измерения считаются многоканальные, которые обеспечивают однородность полученных экспериментальных материалов. В связи с изложенным, ниже приводятся материалы экспериментальных измерений и их обработка в рамках **формата передаточной функции** и с реализацией методических приемов, предлагаемых в известных работах японского специалиста по обсуждаемой проблеме [23] и отечественного инженера–ученого [24].

Рис. 1. Общий вид Объекта изучения и Схема – иллюстрация расстановки приборов на улице и по вертикали: восточная сторона

Методика

Работы выполнялись по методике «низкочастотного зондирования» (МНЧЗМ - HVSRm) [25-31], которая адаптирована к условиям города Калининград [32, 33]. Вместе с тем, на описываемом объекте (рис. 1) впервые эти методические приемы были модернизированы до многоканальных измерений, что обусловлено освоением новых технических средств в ООО ЦИИЗ «ИМПУЛЬС-М»: станция «ДИОГЕН 24/24» была дооснащена 8-мью трехкомпонентными сейсмоприемниками GS-20DX, каждый из которых подключается к регистрирующей станции по индивидуальной сейсмической косе длиной 110 метров. Это позволяет осуществлять регистрацию данных многоканального варианта с произвольной геометрией расстановки приборов (рис. 2).

Рис. 2. Сейсмостанция Диоген 24/24 с оборудованием на профилях МНЧЗМ: слева- условия расстановки внутри здания; справа- на улице (рис. 1)

Обработка сейсмометрических данных выполнялась по тем приемам, которые рекомендованы работами в [25]. Сейсмометрические измерения фундаментальных частот и их гармоник для здания областной филармонии выполнялись одновременно на улице (СП 7, удаление 2-3 ширины здания, если позволяли окружающие условия), по отмостке-фундаменту несущих стен - конструкций и на самом высоком доступном уровне. Чтобы исключить возможные «технические помехи», сейсмические приборы выставлялись стационарно на весь период измерений на всю длину измеряемого участка здания и с передвижным прибором (здесь, прибор 8) по верхней поверхности стены (на чердаке). Регистрация осуществлялась станцией «ДИОГЕН 24/24» в сейсмологическом режиме. Длительность сеанса регистрации микросейсм в каждой позиции составляла 30 минут, частота опроса 200 Гц, запись выполнялась без фильтров. Обработка полученных данных выполнялась последовательно по всем субблокам строения.

В практике работ по изучению динамических параметров зданий и сооружений практикуется прогноз этих характеристик по теоретическим расчетам [20-22]. Существует несколько упрощенных зависимостей для подобных расчетов, которые цитируются как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Так же, существуют формулы расчета и в справочниках Проектировщиков [38] и в рекомендациях МЧС РФ [21]. Наиболее популярной формулой можно признать зависимость фундаментальной частоты здания от числа этажей, которая фигурирует во многих публикациях и от геометрических размеров фундамента здания и его высоты:

$T_0 = 0.0905\mu\,(b)^{0.5}$ или $T_0 = \alpha n^{0.75}$, где μ - отношение высоты здания к ширине H/b, ; α = (0.024-0.029) - коэффициент, который зависит от конструкции здания и вида основания [29, стр. 52].

По рекомендациям [21, 22] предлагаются и более сложные зависимости для расчетов фундаментальных частот, которые позволяют приблизиться к

реальным значениям, особенно в случаях простых по геометрии сооружений. Вместе с тем, замечания, высказываемые многими исследователями [2, 4, 19] о более сложных зависимостях между геометрией зданий и значениями расчетных фундаментальных частот, основу которых определяет, в значительной степени, коэффициенты жесткости (модули упругости) и масса сооружения, нежели пространственная (геометрическая) форма сооружения. С этой точки зрения, прогнозные оценки, которые провозглашаются базовыми [21] зависимостями для выявления степени разрушения здания, представляются завышенно - оптимистичными. Более того, ставятся под сомнение многими исследователями [19, 22].

Данный вывод, в значительной степени, касается сооружений типа исследуемого объекта- Кирхи Святого семейства, которая представляет собой классических вариант готической конструкции [13-16, 26-30]. Прежде всего, это сооружение есть архитектурная комбинация, по крайней мере, трех независимых субструктур, которые могут независимо рассчитываться по упрощенным формулам, таких как для вертикальных колонн или балок [10-11]. В рамках сделанных замечаний, можно прогнозировать для:

А. Колокольня – высота H = 28 м, ширина основания b = 8,06 м. T_0 = 0,49 с или **f = 2.04 Гц**.

Б. Центральная часть (неф) - высота 11,4 м, ширина основания 18,78 м. T_0 = 0,238 с или **f = 4.20 Гц**.

В. Апсид (пристрой с севера) - высота 7,5 м, ширина 8,06 м. T_0 = 0,1811 с или **f = 5.52 Гц**.

С. Колонны - высота 11,2 м, кирпичные, диаметр 0,35. T_0 = 0,1742 с или **5.74 Гц**.

Вместе с тем, существуют другие корреляционные зависимости для расчета фундаментальных частот для строений времен средневекового времени, которые широко используются в Европе, особенно, для расчетов таковых для строений типа колоколен (bell-tower) [39].

$$\hat{W}_1 = L^{0.5} : (C^* H(H:2L+H)^{0.5}); W_2 = 3W_1; W_3 = 5W_1 ,$$

где L- плановый размер вдоль оси измерения и H – высота объекта. Коэффициент «С» для варианта областной филармонии принят таким же, как и для предыдущих зависимостей (см. выше). **Вместе с тем, обращается внимание на то, что реальная частота может быть выше в связи с «жестким контактом» с прилегающим центральным залом (нефом)**.

С учетом сделанных замечаний, фундаментальные частоты колокольни областной филармонии по данным формулам могут оцениваться, соответственно, **(f = 1|2π x w) частоты f = 2.04 Гц, 6.12 Гц, 10,2 Гц**.

Несмотря на значительную площадь, занимаемой строением областной филармонии территории (земельный участок 8 201 м^2), наличие проезжих для транспорта улиц по периметру этого участка создают сейсмоакустический фон

техногенного происхождения, который влияет на достоверности измеряемых в здании параметров, как об этом указывается еще с позапрошлого века [14]. С этой целью каждое такое измерение в настоящих работах сопровождалось записью «шума» по границе земельного участка (рис. 3).

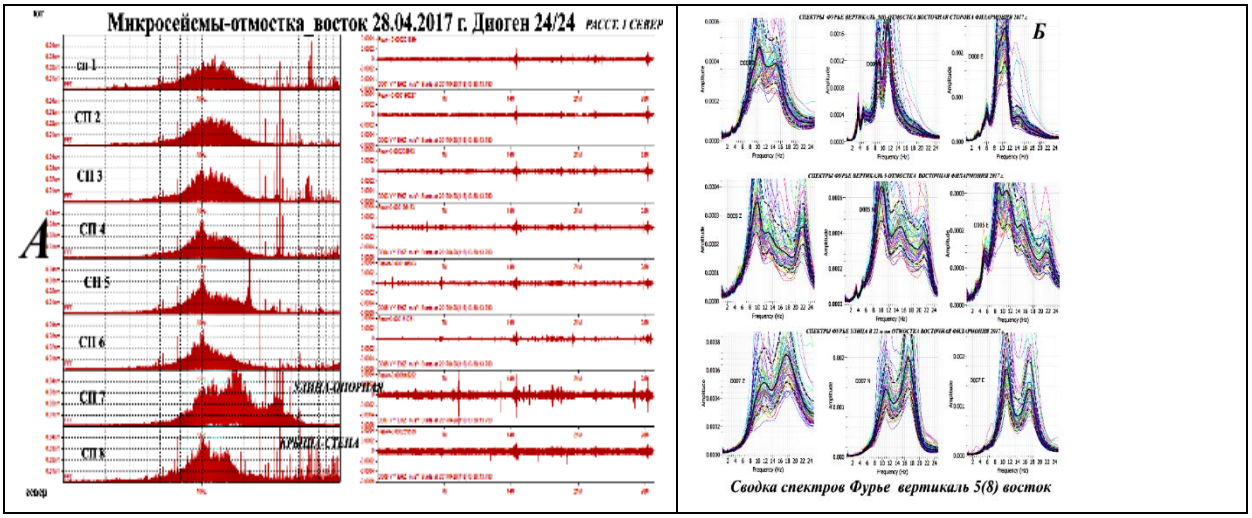


Рис. 3. Примеры регистрации микросейсм сейсмоприемниками вертикали 5 –восточная отмостка _Филармония 2017 г. Отчетливо видно влияние техногенного фона на спектры на верхний прибор (СП 7-улица-СП 8 верх вертикали)

Таким образом, анализ спектральных характеристик техногенного фона и теоретического прогноза фундаментальных частот для сублоков конструкции здания филармонии показывает, что предлагаемые в [21] подходы оценок фундаментальных частот зданий может приводить к существенным ошибкам. **В связи с этим, в дальнейших исследованиях были приняты за основу решения «черного ящика» [23, 24]**.

Вместе с тем, было ясно, что измерения динамических параметров центральной части строения областной филармонии, требуют иные методические приемы, чем те, которые использовались на предыдущем этапе. Прежде всего, это касалось способов измерений на несущих колоннах в центральном зале (рис. 4) Обработка экспериментальных данных измерений на восточной и западной сторонах строения осуществлялась по методике [37], которая позволяет решать поставленные в ТЗ задачи с высокой достоверностью, за исключением оценок по декременту затуханий. Последнее, приводится по спектрам Фурье с использованием требований (ГОСТ Р 54859, Прил. Д.3). Однако, в связи с замечаниями к таким спектрам (см. выше) - эта процедура не всегда могла быть реализована из-за высокой «загрязненности» техногенными помехами. Результаты выполненной обработки приводятся на (рис. 5-6).

Рис. 4. Фотография внутреннего строения основного зада. Расстановка приборов осуществлялась между креслами и в проходах. Вид на юг. Справа-запад. Слева колонны-первый ряд (восточный), справа-второй (западный). Измерения параметров колонн выполнено вдоль них способами, которые применяются при изучении свай. Приборы устанавливались внизу- на фундаменте колонны в зале, второй- на ее вершине- на чердаке

– на частоте 2.2-2.4 Гц, который присутствует практически при всех измерениях, однако, без подчеркивания роста амплитуд спектральных характеристик;

– на частотах 3.45-3.6 Гц регистрируются при всех наблюдениях и отмечается рост спектральных амплитуд при измерениях на самом высоком уровне;

– пики 4.0-5.0 Гц зарегистрированы на большинстве спектральных кривых, для участка измерений, который относится к центральной части здания, не отмечено значительного роста спектральных амплитуд;

– частоты 6.0 Гц и более, скорее всего, связаны, либо с собственными частотами высших гармоник, либо с торсионным вращением [27, 28], которое устойчиво выделить не удалось. **Тем не менее, в отдельных случаях частоты с такими значениями регистрируются, при этом, связь этих значений с техногенным шумом не установлена.**

Таким образом, как и во многих исследованиях, известных по мировой практике, показано, что регистрация динамических параметров конструкций стандартными методами [26-30, 33- 36] свидетельствует о существовании многочисленных спектральных пиков (мод), природа которых и приуроченность которых к конкретным элементам конструкции может быть

установлена, в большинстве случаев, только по результатам компьютерного моделирования [28, 29, 35]. Вместе с тем, сделан вывод, что стандартные (классические) методы изучения динамических параметров сооружений достаточны на первой, рекогносцировочной (предпроектной) стадии таких работ. С этих позиций, выполненные процедуры по регистрации фундаментальных частот здания Областной Филармонии позволяют по магнитуде Индекса Уязвимости K_g прогнозировать зоны повышенной опасности или развития зон разрушения в конструкции здания [23, 37, 41].

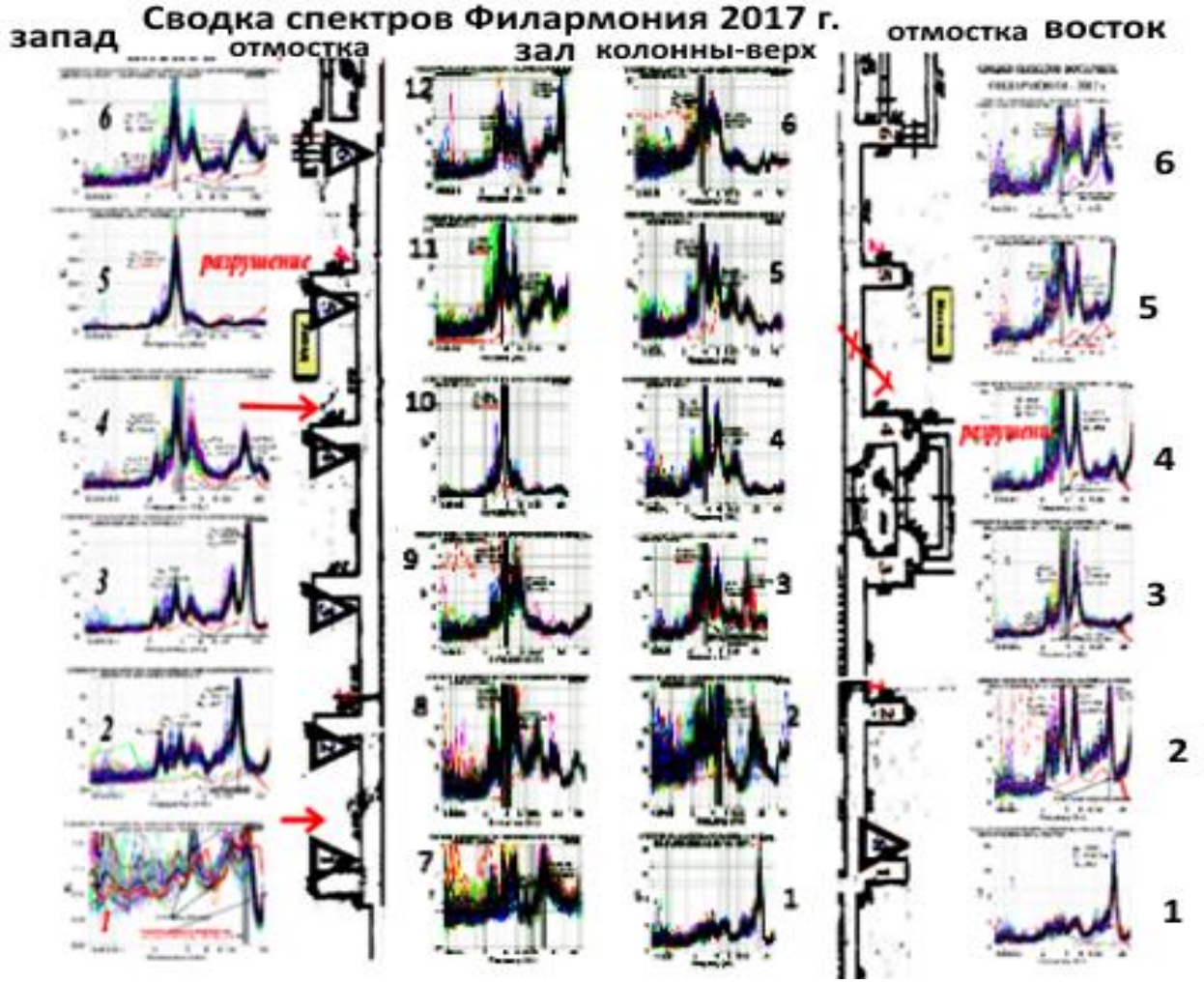


Рис. 5. Сводка спектральных характеристик основного зала (нефа) здания областной филармонии по материалам измерений вне и внутри здания. Отчетливо видно: 1-смена типа спектров на западе между точками 3 и 4; 2- не четко, но видна такая же смена на востоке; 3- особенности спектров в центре зала- колонны 9-10 и 3-4; 4- смена типа спектров-в юго – восточном углу здания

С этих позиций, на (рис. 5) показаны красным цветом точки с высоким индексом уязвимости. Кроме того, дополнительно, измерения в нескольких точках данные 10-ти герцовых приборов (GS-20DX) продублированы измерениями автономными сейсмологическими станциям (RefTek 130) с

приборами 1-Гц (GF-1). Примеры таких записей представлены на (рис. 6, а, б, в, д).

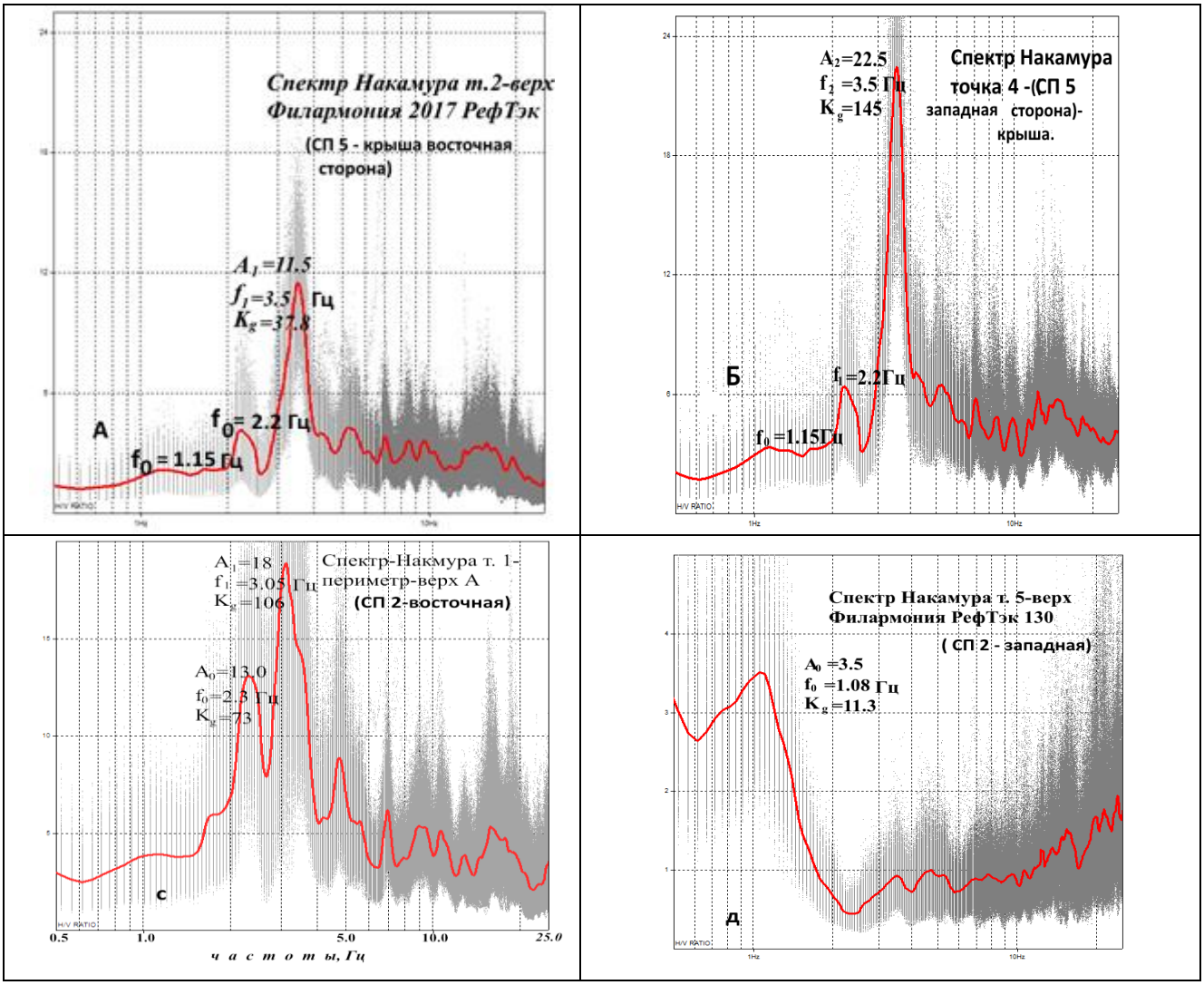


Рис. 6. Примеры регистрации динамических параметров здания Областной Филармонии сейсмологической станцией с датчиком 1 Гц. СП-нумерация приборов GS-20DX

Как показывает сопоставление расчетных частот (см. выше, раздел для изучаемого здания с таковыми, полученными при измерениях микросейсмического фона), наблюдается заметное падение величин с точностью более 10% - 15%. Таким образом, совместное рассмотрение величин падения резонансных частот и магнитуд индекса Уязвимости свидетельствует о **заметном снижении конструктивной жесткости, преимущественно, в вертикальном направлении, центрального сектора основного зала здания областной филармонии. Границы ослабленной полосы контролируются местами положения колонн 9-11 и 3-5 (см. рис. 4, 5)**. Более того, методика, которая предложена в [41] позволяет высказать предположение о том, что основание колонны 10 (см. рис. 4), **возможно, опирается только на пол зала,**

а под ним, скорее всего, имеются пустоты. Таким образом, колонна 10 не поддерживает потолок зала, а колонну удерживает конструкция потолка (!!).

Динамические параметры конструкции колокольни

Динамические параметры колокольни регистрировались как сейсмодатчиками с 10-ти герцовой собственной частотой (GS-20DX), так и с использованием сейсмологических станций RefTek 130 с приемниками GF-1 (собственная частота 1.0 Гц). Схемы наблюдений представлены на (рис. 7). Показательно, что зарегистрированные данные микросейсм как приборами 1-Гц, так и 10 Гц не дают (рис. 8 и 9) спектральных пиков на частотах, соответствующих теоретическим расчетам (см. выше), тем не менее, представляется, что это связано скорее всего, о «сдвиге таковых» в область пониженных значений. **В этом случае, частота 1.75 Гц свидетельствует о 15% понижении фундаментальной частоты (относительно 2.04 Гц) в результате начавшегося процесса разрушения (!)**.

Экспериментальные измерения в данном блоке выполнялись при попутных измерениях на профилях внутри зала (пр 5 и 6) и в точке 3 замеры проведены в подвале и на чердаке станцией RefTek – 130. Спектры Накамура по этим данным приведены на (рис. 10 и 11).

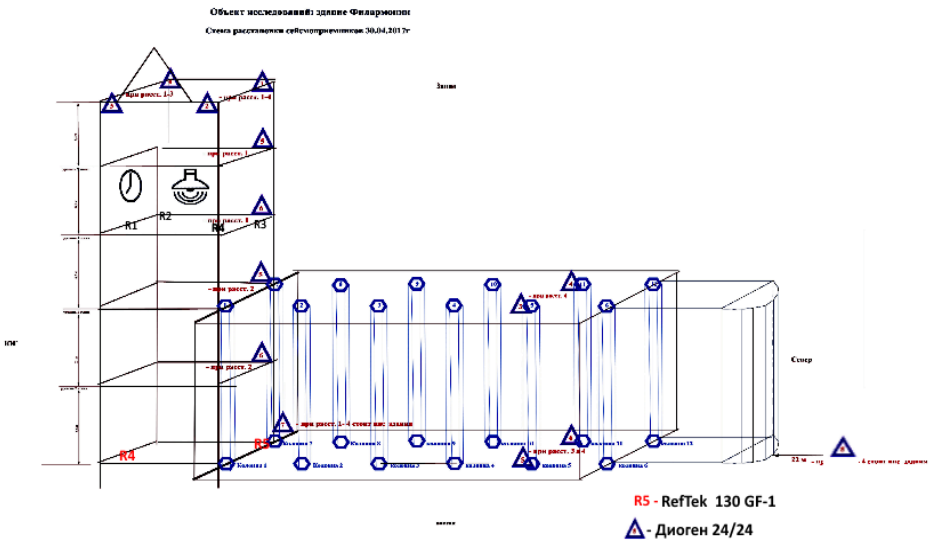


Рис. 7. Схема наблюдений на Колокольне областной филармонии

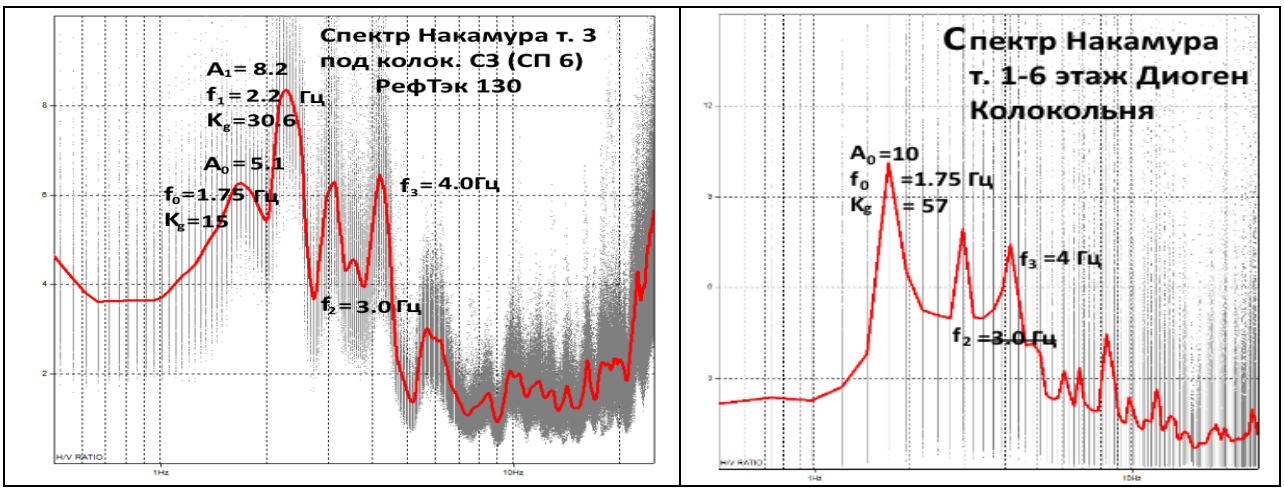


Рис. 8. Спектр Накамура –Колокольня-4 этаж РефТэк 130 ГФ-1(слева); Спектр Накамура на самом высоком уровне Колокольни- т1, СЗ – угол. Собственная частота – фундаментальная = 1.75 Гц свидетельствует о высоком индексе уязвимости –57, что создает опасность при эксплуатации сооружения.
Временной интервал между измерениями - 3 месяца (28.01-30.04. 2017 г.)

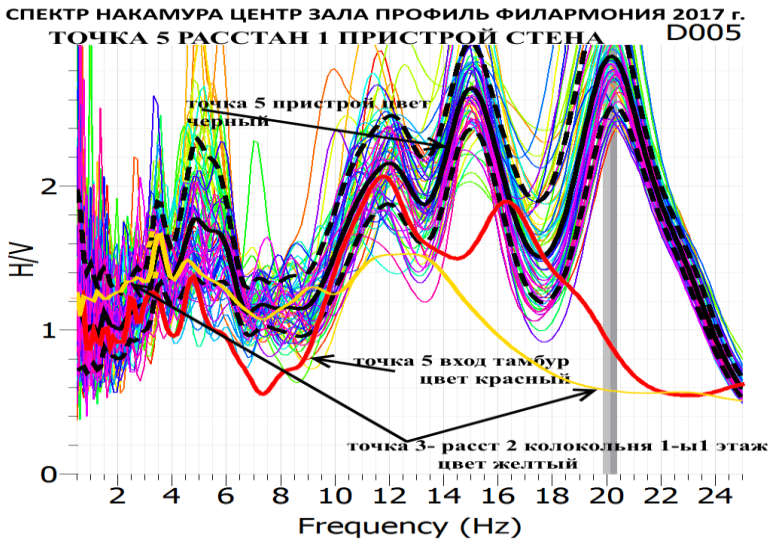


Рис. 9. Спектр Накамура и сводка данных для точки 5 - пр 5 основной зал северное замыкание. Частоты 3.5 и 5.0 Гц, а так же 11.0 Гц являются общими для всей конструкции. Частоты 15-22 Гц возможно высокие обертоны или техногенной природы при работающем насосе в подвале

Анализ полученных данных по структуре апсиды свидетельствует:

– о применимости теоретических зависимостей расчета фундаментальных частот по формулам, предложенным для храмовых строений (колоколен) нормами Испании [39];

– о начальной стадии возможного разрушения Апсиды (снижение частот более 5%).

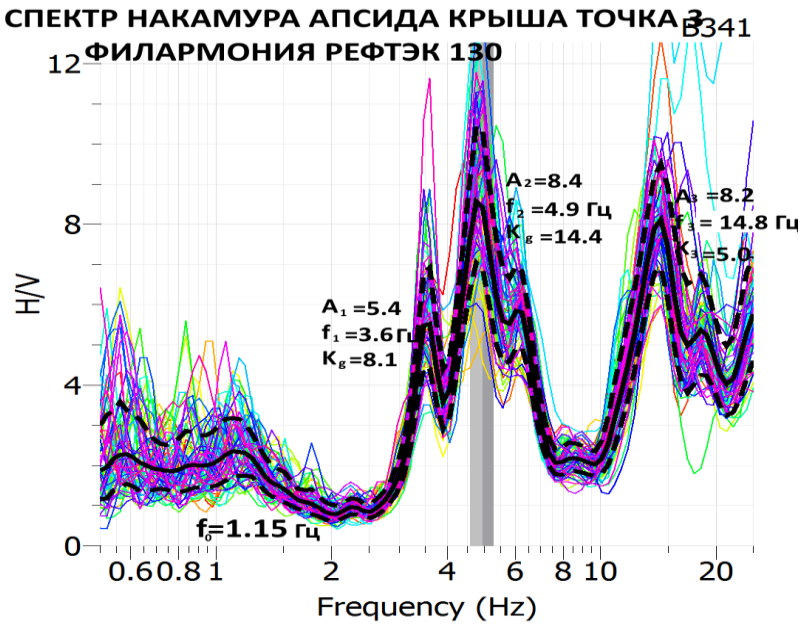


Рис. 10. Спектр Накамура на чердаке Апсиды (восточная сторона). Наблюдается удовлетворительное совпадение с расчетными теоретическими данными (5.52 Гц, см. выше) - расхождение 11% для частоты $f_2 = 4.9$ Гц. В целом, данный спектр сегментируется на две группы самостоятельных колебаний: пониженные частоты- 1.15 Гц ($3f_0 = 3.45$ и $5f_0 = 5.8$ Гц); для частоты 4.9 Гц (14.8 Гц и 24 Гц)

Результаты выполненных измерений динамических параметров в здании областной филармонии свидетельствуют о том, что для строений такой комбинационной сложности, практически невозможно выявить простые соотношения между конструктивом, состоящим из значительного числа микроблоков с жесткой динамической индивидуальностью, и применяемой в традиционном представлении строительных конструкций либо в виде SDOF (single degree of freedom – одна степень свободы) системы, либо (the multi degree of freedom system (MDOF) – многочисленных степеней свободы). Существуют известные соотношения [2, С. 79]

$$T = (T_1^2 + T_2^2 + \ldots T_n^2)^{0.5},$$

где T_i – периоды колебаний элементов конструкции или отдельных самостоятельных блоков сооружения.

Тем не менее, моделированием и значительным числом экспериментальных работ установлено, что структуры храмовых строений сохраняют индивидуальные особенности субблоков и в «составе строительного композитного ансамбля» [35]. Это накладывает серьезные ограничения на выбор моделей обработки и на технологии производства измерений. С учетом таких рекомендаций, выполненные измерения можно сгруппировать следующим образом:

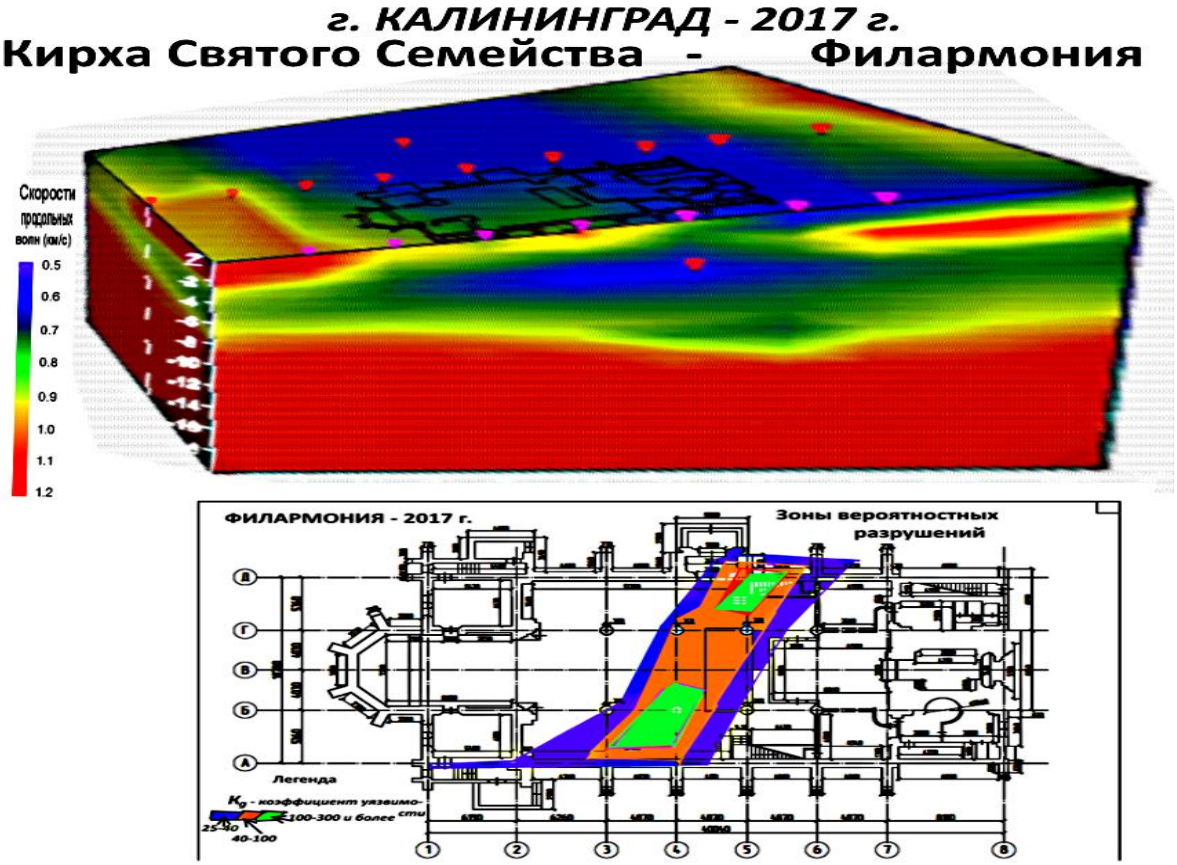


Рис. 11. Совместное представление данных по скоростным параметрам грунтов основания здания Калининградской областной филармонии и материалов по динамическим характеристикам колонн центрального зала: синий цвет скоростей (верхний рисунок) - минимальные значения; зеленый цвет (нижний рисунок) - максимальная уязвимость колонн (разрушение!?!)

1. Полученные спектральные характеристики в формате метода Накамура (отношение спектров горизонтальных компонент к вертикальным при регистрации микросейсмического фона, HVSRm) содержат все индивидуальные частотные характеристики субблоков конструкции, которые не поглощают интерференцией друг друга, а представляют **сублинейное арифметическое сложение** в рамках суммарного колебательного поля.

2. Число резонансных пиков в суммарном спектре определяется, как правило,
суммой первых трех гармоник каждой из индивидуальных составляющих, которые отвечают правилу нечетного разложения [30, 34, 35, 40].

3. Здание областной филармонии – Кирха Святого Семейства характеризуется четырьмя группами колебаний и их последовательными гармониками (до третьей гармоники), которые могут быть представлены **рядом начальных частот - 2.04 Гц - колокольня; 4.2 Гц- центральный зал (неф); 5.52 Гц - апсид; 5.74 Гц – колонны центрального зала. В целом, все составляющие характеризуются пониженными значениями на 11%- 18%**

относительно прогноза по расчетам теоретических значений для данной строительной конструкции.

4. Проведенными измерениями установлено, что значительная часть измеренных величин находится в согласии с резонансным усилением за счет резонанса с подстилающими грунтами.

6. Учитывая тот факт, что существующее здание имеет длительную историю эксплуатации и устоявшуюся конструкцию, при проектировании капитального ремонта устранение резонансного влияние грунтов представляет серьезную проблему, которая может быть решена только изменением конструктивных частот за счет повышения жесткости конструкции здания, микросейсмического фона, HVSRm) содержат все индивидуальные частотные характеристики субблоков конструкции, которые не поглощают интерференцией друг друга, а представляют **сублинейное арифметическое сложение** в рамках суммарного колебательного поля.

7. ***В заключении следует подчеркнуть, что совместное рассмотрение материалов по скоростным параметрам грунтов основания и выявленных аномалий в амплитудах и фундаментальных частот по колоннам, - показывает, что существует часть строения здания Калининградской областной Филармонии (рис. 12), для которой с высокой достоверностью можно предполагать «аварийное» состояние конструкции здания и угроза обрушения кровли.***

Список литературы

1. Gehl J. Life between building. Using Public space / translated by J. Koch. Washington: Island Press, 2011. 211 p.
2. Вибрационный метод испытания жилых и общественных зданий / Г.А. Шапиро, Ю.А. Симон, Г.Н. Ашкинадзе и др. М.: Наука, 1972. 160 с.
3. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. М.: Советское радио, 1970. 276 с.
4. Сойбельман С.М. Определение жесткости и динамических характеристик зданий из крупнопанельных элементов, возводимых в сейсмических районах: автореферат. Кишинев, 1967, 23 с.
5. Павлык В.С. Расчетные схемы зданий с несущими стенами при определении сейсмической нагрузки: автореферат. 1964.
6. Шахраманьян М.А., Нигметов Г.М., Гайфуллин З.Г., Бабусенко М.С. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. М.: ФЦИВТ МЧС РФ, 2003. 11 с.
7. Айзенберг Я.М. Формы и частоты свободных колебаний зданий жесткого типа // Строительное проектирование промышленных предприятий. 1965. № 2. С. 7–14.
8. Мишин С.В. Сейсмические процессы и сохранение импульса / отв. ред. В.М. Шарафутдинов. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. 115 с.

9. Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки / под ред. М.Б. Шнеерсон. М.: Из-во «Недра», 1998. С. 33–37.
10. Chopra A.K. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, 1996.
11. Craig R.R. Structural dynamics. An introduction to Computer methods. New York: John Wiley & Sons, 1981.
12. Инструкция по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки. М.: Изд-во ЛС, 1970. 286 с.
13. Byerly P., Hester J. and Marshall J.K. The natural periods of vibration of some Tall Buildings in San Francisco // BSSA. 1931. Vol. 21. P. 269–276.
14. Carder D.S. Observed vibrations of Buildings // Proc. Meeting of the seismological Society of America. Pasadena, USA, (BSSA), 1936. P. 245–274.
15. Ditommaso R., Parolai S., Mucciarelli M., Eggert S., Sobiesiak M., Zschau J. Monitoring the response and the back-radiated energy of a building subjected to ambient vibration and impulsive action: the Falkenhof Tower (Potsdam, Germany) // Bulletin of Earthquake Engineering. 2010. Vol. 3. P. 705–722.
16. Schallhorn C.S. Localization of vibration-based damage detection method in structural applications // Master Thesis. The University of Iowa, Iowa state, USA, 2012. 52 p.
17. Rytter A. Vibration Based Inspection of Civil Engineering Structures // Ph. D. Dissertation, Department of building Technology and Structural Engineering, Aalborg University, Denmark, 1993.
18. Doebling S.W., Farrar C.R., Prime M.B. Summary review of vibration-based damage identification methods //Shock and Vibration Digest. 1998. Vol. 30 (2). P. 91–105.
19. Тонких Г.П. По вопросу использования динамических испытаний для оценки технического состояния и сейсмостойкости зданий и сооружений // Мониторинг. Наука и безопасность. 2012. № 4. С. 54–58.
20. Казаков В.К. Практические условия измерений динамических характеристик зданий // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2013. Вып. № 4(9). С. 71–73.
21. Шахраманьян А.М. Системы мониторинга и прогноза технического состояния зданий и сооружений //Безопасность России. Безопасность строительного комплекса. М.: МГОФ «Знание», 2012. С. 421–444.
22. Котляревский В.А. Спектральный анализ при оценках ресурса сооружений по сейсмостойкости // НГС. Безопасность и эксплуатационная надежность. 2014. № 2. С. 45–52.
23. Nakamura Y. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor // World Congress on Railway Research in Florence, Italy, November, 1997.
24. Исхаков Ш.Ш. Развитие теории спектрального анализа в вибрационной диагностике состояния строительных объектов при случайных

динамических воздействиях // Наука и безопасность. Безопасность в строительстве. 2012. № 3 (3). С. 31 – 56. (htpp://www.art-atis.com).
25. SESAME European research project. “Site effects assessment using ambient excitations”; Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME, Final Report, 2004. http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr.
26. Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Ponzo F., Dolce M., D'Alema E., Maistrello M // Buildings as a seismic source: Analysis of a release test at Bagnoli, Italy // Bulletin of the Seismological Society of America. 2006. Vol. 96 (6). P. 2457–2464.
27. Caselles J.O., Clapes J., Roca P., Elyamani A. Approach to Seismic behavior of Mollarca Cathedral // 15 WCEE, LisBoa, 2012. 10 p.
28. Elyamani A., Caselles J., Ckapes J., Rocca P. Assessment of dynamic behavior of Mallorca cathedral // Proc.8-th Conf. on Structural analysis of historical constructions, 2012.
29. Kouris S.S., Karaveziroglou-Weber M. “Dynamic investigation and strengthening on mansonry bell tower” // Protection of Historical Buildings, PROHITECH 2009. P. 941–947.
30. Gentile C., Saisi A. “Ambient vibration testing of historic masonry towers for structural identification and damage assessment” // Constr. Build Mater. 2007. Vol. 21. № 6. P. 1311–1321.
31. Bennati S., Nardini L., Salvatore W. Dynamic behavior of a medieval masonry bell tower: II. Measurement and modelling of the tower motion // J. Struct Eng ASCE, 2005. Vol. 131 (11). P. 1656–1664.
32. Пасека О.Н., Аносов Г.И., Дементьев Ю.В., Зиновьев В.Н., Чугаевич В.Я. Особенности изучения грунтов оснований фундаментов сооружений на острове Октфбрьский г. Калининграда // Геотехника. 2014. № 5–6. С. 5–12.
33. Аносов Г.И., Дементьев Ю.В. О техническом оснащении инженерно-геофизических изысканий для строительства // Инженерные изыскания. 2015. № 7. С. 7–22.
34. Facke A., Stefano P., Sandra R. and Lothar S. (2006). Assessing the vibrational frequencies of the Cathedral of Cologne (Germany) by means of ambient seismic noise analysis. Natural Hazards 38, P. 229–236.
35. Roca P., Cervera M., Garlup G., Pelo L. Structural analysis of Masonry historical Constructions. Classical and advanced approaches // Arch Comput. Methods Eng., 2010. v. 17. P. 299–325.
36. Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Castro R.R., Monachesi G. and Contri P. Structure, soil-structure response and effects of damage based on observations of horizontal-vertical spectral ratios of microtremors // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2004. № 24. P. 487–495.
37. Nakamura Y. Gurler E.D., Saita J., Rovelli A., Donetti S. Volnerability investigation of Roman Colloseum usibg microtreor // 12WCEE, 2000. Paper NZ 2660/6/A, P. 1–8.

38. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия / под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. М.: Стройиздат, 1981. 217 с.
39. Ivorra S., Pollares' F. Dynamic investigations on a masonry bell tower //Engineering Structures. 2006. Vol. 28. Issue 5. P. 660–667.
40. Bendat J.S., Piersol A.G. Engineering applications of correlation and spectral analysis, New York, Wiley Interscience, 2nd Ed., 1993.
41. Mokhberi M. Vulnerability evaluation of the urban area using the H/V spectral ratio of microtremors // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2015. Vol. 13. P. 369–374.

Мусаева Л.А.[1], Ошкин А.Н.[2,3], Турчков А.М.[2,3]

[1]АО «Мособлгидропроект», г. Дедовск МО, MusaevaLA@hydroproject.com
[2]ООО «НЕОГЕН», [3]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, г. Москва, neogengeo@gmail.com

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАСЧЛЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА НА ОБЪЕКТАХ, ТРУДНОДОСТУПНЫХ ДЛЯ БУРЕНИЯ

Наземная геофизическая съемка относится к инструментам инженерной геологии, позволяющим получить представление о строении изучаемого объекта вдоль обозначенных профилей, что особенно актуально для сложнопостроенных сред с быстрыми латеральными изменениями свойств.

Примером успешного применения геофизических изысканий являются работы на одном из туристических объектов курорта «Архыз», относящегося к туристическому кластеру Северного Кавказа.

Геологическое строение объекта исследований характеризуется наличием труднодоступных для бурения участков (склоны гор), а также резкими изменениями геологического строения как по латерали, так и с глубиной. Типичный разрез включает в себя такие породы как глины, суглинки, щебенистые грунты и скальный грунт с зоной выветривания в нижней части разреза. Изменчиво и положение УГВ.

К основным задачам, поставленным перед геофизическими исследованиями относились:

- Расчленение геологического разреза на слои различного литологического состава.
- Определение глубины залегания подземных вод.
- Обнаружение и оконтуривание слабых пород.
- Выделение зон по степени выветривания (сохранности) пород.
- Выявление признаков проявления экзогенных геологических процессов.

Для решения поставленных задач был использован комплекс геофизических методов, включающий в себя наземную сейсмотомографию на P- и S-волнах, а также электротомографию. Путем комплексирования геофизических данных и данных бурения определялись зависимости между геофизическими атрибутами и геологическими свойствами пород, что позволило выделять ИГЭ на основе геофизических данных и экстраполировать результаты на недосягаемые для бурения участки.

Пример результатов сейсмических данных по одному из геофизических профилей приведен на рис. 1. Профиль интересен тем, что на нем и в непосредственной близости от него располагается достаточное количество скважин для корректной интерпретации и проверки результатов геофизических исследований.

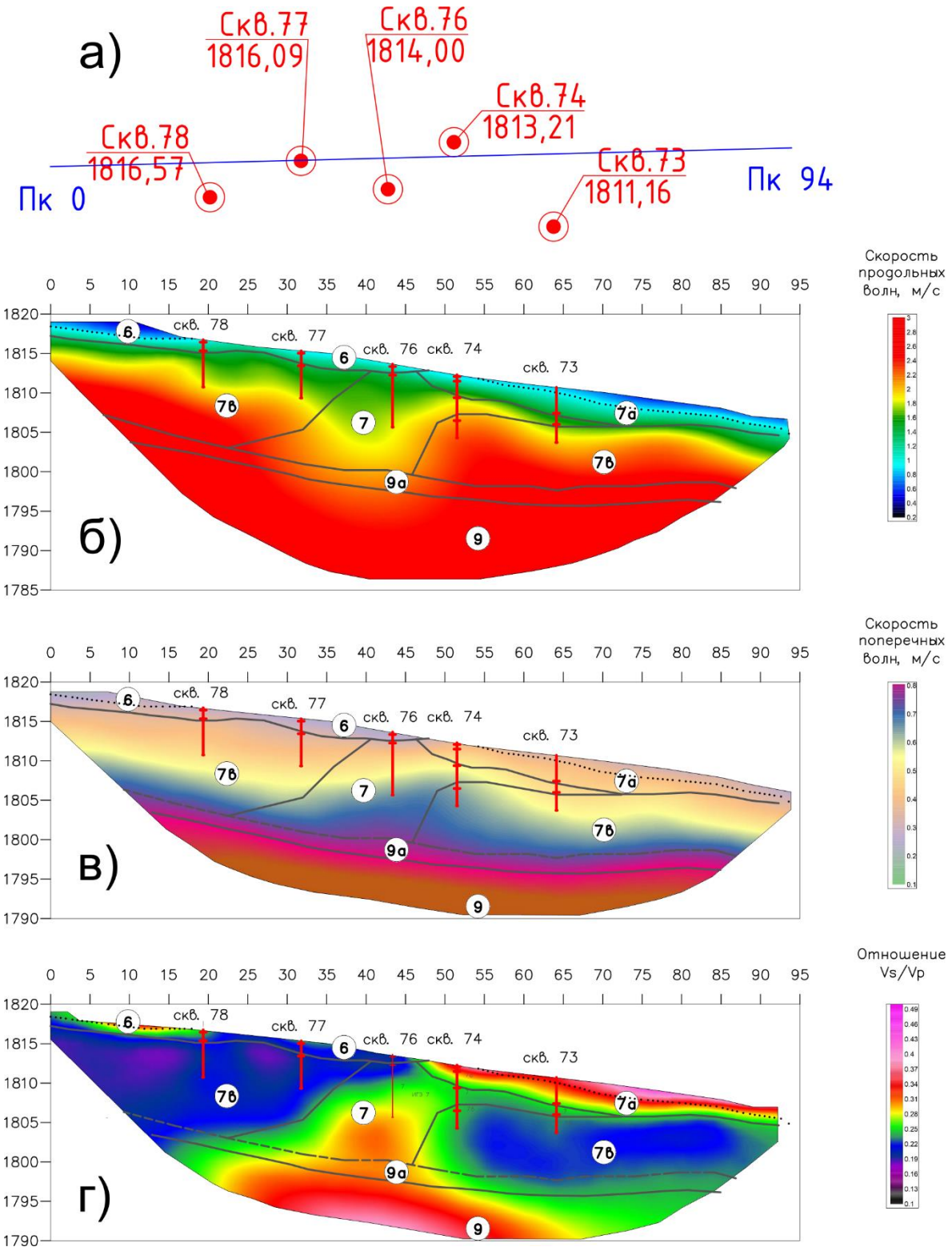


Рис. 1. Геологическое расчленение разреза по данным сейсмотомографии на P- и S-волнах. а) – положение геофизического профиля и скважин в плане; б) – разрез скоростей Vp, в) – разрез скоростей Vs, г) – разрез отношения скоростей Vp/Vs

Использование сейсморазведки на двух типах волн позволило гораздо надежнее выделить различные инженерно-геологические элементы. Так,

например, по данным на Р-волнах наиболее уверенно выделяется УГВ и подошва ИГЭ-6, а по данным на S-волнах скальное основание и зона выветривания (ИГЭ-9 и ИГЭ-9а). Однако наиболее информативным с точки зрения разделения горных пород является разрез отношения скоростей Vs/Vp. Именно это соотношение позволило выделить различные вариации суглинков с щебнем (ИГЭ 7, 7а, 7в).

Приведенный пример лишь демонстрирует возможности геофизических методов по выделению ИГЭ. Это был так называемый калибровочный профиль, на котором была известна геология. Профиль позволил определить характерные геофизические параметры каждого ИГЭ. Цель работы заключалась в геологическом расчленении недоступных для бурения участков. Выделение строилось из предположения, что на объекте характерные ИГЭ остаются относительно стабильными, что и позволяет их картировать по геофизическим данным.

Дополнение сейсмотомографии электротомографией только увеличивает надежность определения ИГЭ геофизическими методами.

Полученные путем совместной геолого-геофизической интерпретации данные позволили построить модель склона и в том числе выделить потенциально оползнеопасные участки. Конечно, использование одной лишь геофизики для создания расчетных моделей не нормируется современными СНиПами. Однако позволяет наметить потенциально опасные участки, которые следует разбуривать для уточнения строения и определения физико-механических свойств.

Владов М.Л.[1], Ермаков А.П.[1], Серебряков В.С.[1], Богданов М.И.[2]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, г. Москва
[2]ООО «ИГИИС», г. Москва, mail@igiis.ru

НАЗЕМНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫЕ И УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УЧАСТКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ТЕРМИНАЛА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ОТГРУЗКИ СМЕСИ ПРОПАНА И БУТАНА ТЕХНИЧЕСКИХ (СПБТ), г. КУЙБЫШЕВ (НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Терминал для хранения и отгрузки смеси пропана и бутана технических (СПБТ) является частью топливно-энергетического комплекса РФ. К таким сооружениям предъявляются высокие требования при проектировании, строительстве и эксплуатации. При проектировании терминала СПБТ особое внимание должно уделяться изучению несущей способности грунтов верхней части разреза глубиной 15-30 м.

При строительстве подобных сооружений применяется целый комплекс работ по определению свойств грунтов. Одним из методов является инженерно-геофизические сейсморазведочные исследования. Данные исследования проводились на участке строительства терминала для хранения и отгрузки смеси пропана и бутана технических в г. Куйбышев (Новосибирская область). Основное назначение работ – изучение инженерно-геологических условий при строительстве. Работы проводились в два этапа.

На первом этапе проводилась наземные инженерно-сейсморазведочные работы. Общая протяженность сейсмических профилей на участке строительства составила 2 303 м, а общее количество физических наблюдений (ф. н.) составило 838. Результатом данных работ является получение распределение в пространстве скоростей продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн, а также параметра их отношения (V_s/V_p). Построены глубинные разрезы и карты срезов в изолиниях скоростей распространения продольных и поперечных волн, параметра V_s/V_p. Проведено выделение сейсмических слоев по характеру градиентов V_p, V_s и V_s/V_p.

На втором этапе были проведены ультразвуковые исследования на образцах керна. Ультразвуковые измерения проводились на 66 образцах из 7 скважин, суммарный метраж исследований 69,95 м. Целью данных работ: выяснение распределения скоростей продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн, параметра их отношения (V_s/V_p) вдоль скважины, а также увязка результатов, полученных наземной сейсморазведкой, с данными бурения. Осуществлена сеймостратиграфическая привязка. Результатом данных работ является выделение зон просадочных грунтов, которые являются объектом исследования данной территории, и представляют собой опасность при строительстве терминала.

При сопоставлении результатов наземной сейсморазведки и ультразвуковых исследований было выявлено, что в первом случае значения продольных и поперечных скоростей, а также параметра их отношения на много меньше, чем значения, полученные при измерениях на образцах. На это есть несколько причин. Во-первых, при бурении образцы керна подвергались изменениям. Порода уплотняется, пористость уменьшается, контакт между зернами увеличивается – это приводит к увеличению значений продольных и поперечных скоростей, а также параметра V_s/V_p. Во-вторых, наземная сейсморазведка дает интегральную характеристику свойств среды. Это приводит к тому, что значение в точке характеризуется некоторым объемом породы, который захватывает сейсмическая волна при прохождении от источника к приемнику. Хотя результаты ультразвуковых исследований, полученных на измененных образцах керна, не характеризуют скорости пород в действительности, они помогают расчленить разрез по данным наземной сейсморазведки и более точно привязать границы.

Список литературы

1. Изучение карстовой и суффозионной опасностей вдоль линейных сооружений на основании комплекса геофизических и инженерно-геологических исследований // М.Л. Владов, Е.А. Вознесенский, А.В. Старовойтов, А.В. Бершов, Е.Н. Самарин, А.Ю. Калашников, П.Ю. Степанов, А.П. Ермаков, А.Н. Ошкин // Разведка и охрана недр. № 1. 2008. С. 16–22.
2. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии / под ред. Н.Н. Горяинова. М.: Недра, 1992. 264 с.
3. Савич А.И., Ященко З.Г. Исследования упругих и деформационных свойств горных пород сейсмоакустическими методами. М.: Недра, 1979. 214 с.

Волков В.А.[1], Владов М.Л.[2], Граминовский Н.А.[2], Капустин В.В.[2], Калинина А.В.[1], Аммосов С.М.[1], Марченков А.Ю.[2]

[1]ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва
[2]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, г. Москва, vladov_ml@mail.ru

ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ВДОЛЬ СКОРОСТНОЙ МАГИСТРАЛИ «МОСКВА-КАЗАНЬ-ЕКАТЕРИНБУРГ»

Строительство и эксплуатация скоростных магистралей с поездами, движущимися со скоростями, превышающими 200 км/час, выдвигают новые требования к исследованиям их влияния уже на стадии проектирования.

Движущийся железнодорожный состав является источником вибрационных колебаний, свойства которых зависят от множества параметров, таких как скорость движения, длина и масса железнодорожного состава, конструкции составляющих состав вагонов. Кроме того, большое значение имеет состояния рельсового пути, по которому движется поезд, состояние железнодорожной насыпи, а также свойства грунтового массива верхней части геологического разреза, где происходит распространение вибрационных колебаний от источника до исследуемого объекта, и который определяет основные параметры процесса распространения и затухания колебаний.

Согласно существующим оценкам амплитуда виброскорости вблизи железнодорожного полотна может варьировать от единиц до первых десятков мм/сек. Такое вибрационное поле, создаваемое движущимся составом, способно оказывать достаточно сильное влияние на здания и инженерные коммуникации в виде возникновения необратимых деформаций, снижающих эксплуатационные характеристики последних.

Эта проблема рассматривается и при проектировании скоростной магистрали «Москва-Казань-Екатеринбург».

Для регистрации вибросигналов использовался 4-х канальный автоматический регистратор сейсмических сигналов «Дельта-03М» в комплекте с трехкомпонентным велосиметром СПВ-3К.

Вопрос о том, какие параметры следует учитывать в первую очередь при расчете реакции зданий и сооружений на внешнее вибровоздействие, до настоящего времени не имеет однозначного ответа. При этом, амплитуда колебаний является далеко не единственным фактором, определяющим степень возможного повреждения (или разрушения) конкретного объекта.

Выводы

1. Максимальные интенсивности, зарегистрированные на верхних этажах зданий, находящихся в 50-метровой зоне от железной дороги составляют 3-4 балла по инструментальной шкале.

2. Можно предположить, что при увеличении скорости движения поездов по участку ВСМ, амплитуды виброколебаний будут увеличиваться. Возможно также, что, начиная с некой пороговой скорости движения состава, спектральный сигналов будет сдвигаться в сторону высоких частот. Но при этом необходимо учитывать, что при увеличении скорости движения состава пропорционально уменьшается время максимального воздействия на здание и расчетная интенсивность может несколько снижаться. Учитывая эти факторы, можно предположить, что движение на данном участке трассы высокоскоростных поездов приведет к увеличению значений интенсивности не более, чем на 1 балл.

Турчков А.М.[1,2], Серов А.Ю.[3], Зиновьев И.А.[3]

[1]МГУ им. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, г. Москва
[2]ООО «НЕОГЕН», г. Москва, turchkov@gmail.com
[3]ГБУ «Мосгоргеотрест», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН В МОДИФИКАЦИИ ОБЩЕЙ ГЛУБИННОЙ ТОЧКИ (МОВ-ОГТ) НА ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛНАХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА

В текущей работе представлен пример использования технологии МОВ-ОГТ на продольных волнах, которая редко используется при производстве инженерных изысканий. Тем не менее, при определенных условиях, данная технология может дать положительный результат, даже если результат, полученный с использованием поперечных волн, оказался неудовлетворительным. В работе рассмотрен пример использования такой технологии для оценки карстово-суффозионной опасности.

Согласно требованиям нормативных документов, геофизические исследования в составе инженерно-геологических изысканий должны проводиться на участках развития опасных геологических процессов – карстово-суффозионных, оползневых, мерзлотных и др. Метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОВ-ОГТ) является одним из самых информативных методов разведочной геофизики. Среди решаемых геологических задач технология МОВ-ОГТ наиболее эффективно зарекомендовала себя при изучении развития карста.

Основной предпосылкой эффективного использования технологии МОВ-ОГТ для оценки карстовой опасности является то, что целью изучения является кровля карстующейся породы, которая, в большинстве случаев, является контрастной по своим сейсмическим свойствам. При таких исследованиях оценивается прослеживаемость и динамическая выраженность осей синфазности отраженных волн на глубинных разрезах.

Для исследования малых глубин в инженерной сейсморазведке применяются две схемы регистрации – Z-Z и Y-Y. При реализации схемы регистрации Z-Z возбуждаются и принимаются преимущественно продольные волны, при регистрации Y-Y – поперечные волны горизонтальной поляризации.

Глубинность исследований в ходе выполнения инженерно-геологических изысканий определяется зоной влияния проектируемого сооружения и редко превышает 50 метров. По этой причине МОВ-ОГТ в инженерной сейсморазведке проводится преимущественно на поперечных волнах горизонтальной поляризации (Sh-волны). Это обусловлено тем, что скорости поперечных волн меньше, чем скорости продольных, что приводит к принципиальной возможности регистрации отражений с малых глубин (начиная с 10 м). Такие исследования, например, повсеместно проводятся на территории города Москвы.

Тем не менее, в редких случаях, когда в зону влияния сооружения попадает кровля карстующихся пород на относительно большой глубине (более 50 м), возможна работа на продольных волнах с применением схемы регистрации Z-Z. Примером разреза с такими глубинами является, например, разрез Нижнего Новгорода. В таком случае, оптимальной для реализации работы на продольных волнах является фланговая расстановка.

Болтинцев В.Б.[1], Ильяхин В.Н.[1], Безродный К.П.[2]

[1]ООО НПФ «Геодизонд», г. Санкт-Петербург, boltintzev@yandex.ru, ivn-2007@yandex.ru
[2]ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», г. Санкт-Петербург, besrodny@lenmetro.ru

АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Представлен метод подповерхностного ЭМИ СШП зондирования, отличающийся использованием ДДРВ генераторов для изучения Т-волн. Большая глубина распространения сигнала обусловлена сильной низкочастотной дисперсией диэлектрической проницаемости среды, наличие которой обусловлено вызванной поляризацией с дипольно-релаксационным механизмом, описывающим поведение влажного грунта под воздействием сильного электромагнитного импульсного поля. Приведена методика решения обратной задачи для глубины.

Последние десятилетия для решения широкого спектра задач по изучению горных пород все чаще привлекается георадиолокация – технология, использующая при исследовании подземного пространства принципы радиолокации (активно разрабатывается в США, Франции, Швеции, России и др.).

Метод электромагнитного импульсного (ЭМИ) сверхширокополосного (СШП) зондирования, как один из методов георадиолокации, нашел применение в инженерной геологии и строительной индустрии за счет своих возможностей по увеличению глубины исследований.

Это стало достижимым после разработки генераторов на дрейфовых диодах с резким восстановлением обратного напряжения (ДДРВ) – работы И.В. Грехова, А.Ф. Кардо-Сысоева, В.М. Ефанова (1986 г.). Пиковая амплитуда тока в таких приборах может достигать 800 А (по работам И.В. Грехова, Г.А. Месяца, 2005 г.). Увеличению глубины способствовали работы Б.А. Панченко, Е.И. Нефедова (1988 г.) по теории микрополосковых антенн.

Для оценки состояния подстилающей среды требуется идентификация её слоистой структуры. Эта задача является существенно некорректной (Ж. Адамар, 1923 г.). Её решению способствовали работы Г.А. Арчи и В.Н. Дахнова о связи сопротивления с пористостью, водонасыщенностью и проницаемостью песков для растворов с разной минерализацией; А.Д. Фролова – о предельной концентрации KCl и NaCl в поровых растворах, характеризующих электропроводность грунта в МГц-диапазоне частот; Л.П. Семинихиной – о максимумах диэлектрических потерь воды в диапазоне частот $10^4 \div 10^8$ Гц. Они впервые позволили выявить в районе частот ~ 10 МГц сильную низкочастотную дисперсию диэлектрической проницаемости среды, наличие которой ранее лишь предполагалась. Эти теоретические и практические основы обусловили эффективную применимость метода.

Метод ЭМИ СШП зондирования [4] основан на решении обратной задачи методом Винера–Хопфа и реализуется комплексом, имеющим в своем составе:

– набор излучающих генераторов наносекундных импульсов, изготовленных по технологии ДДРВ и имеющих фронты импульсов 0,5 нс; 1нс; 3 нс при длительности ~ 10 нс; пиковую амплитуду импульса напряжения от 1 кВ до 9,8 кВ; пиковую амплитуду тока – 20÷120 А. Перечисленные характеристики генераторов измерены в полосе 0÷20 ГГц;

– метрологически аттестованные в полосе частот 0. ÷1500 МГц приемные и передающая антенны, для которых согласование со средой по Е-составляющей поля реализовано «ямой Брюстера» – угол падения излучаемой волны ~ (68^{o}÷74^{o}) для волнового сопротивления среды 91.4÷93.4 Ом. В диапазоне частот 0.3÷700 МГц коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) антенн, измеренный относительно сухого бетона, ~ 1,85;

– приемно-регистрирующий блок с высокой помехозащищенностью для записи принимаемых сигналов ~ 20 мВ÷100 В в полевых условиях. Указанные значения определены метрологически. Стоимость аппаратных средств, безопасность эксплуатации, малые размеры и вес аппаратуры делают данный метод достаточно доступным. Весь комплекс полевой аппаратуры питается от постоянного напряжения 12 В (7 А/ч). Вес комплекса ≤15 кг. Общий вид комплекса представлен на рис. 1.

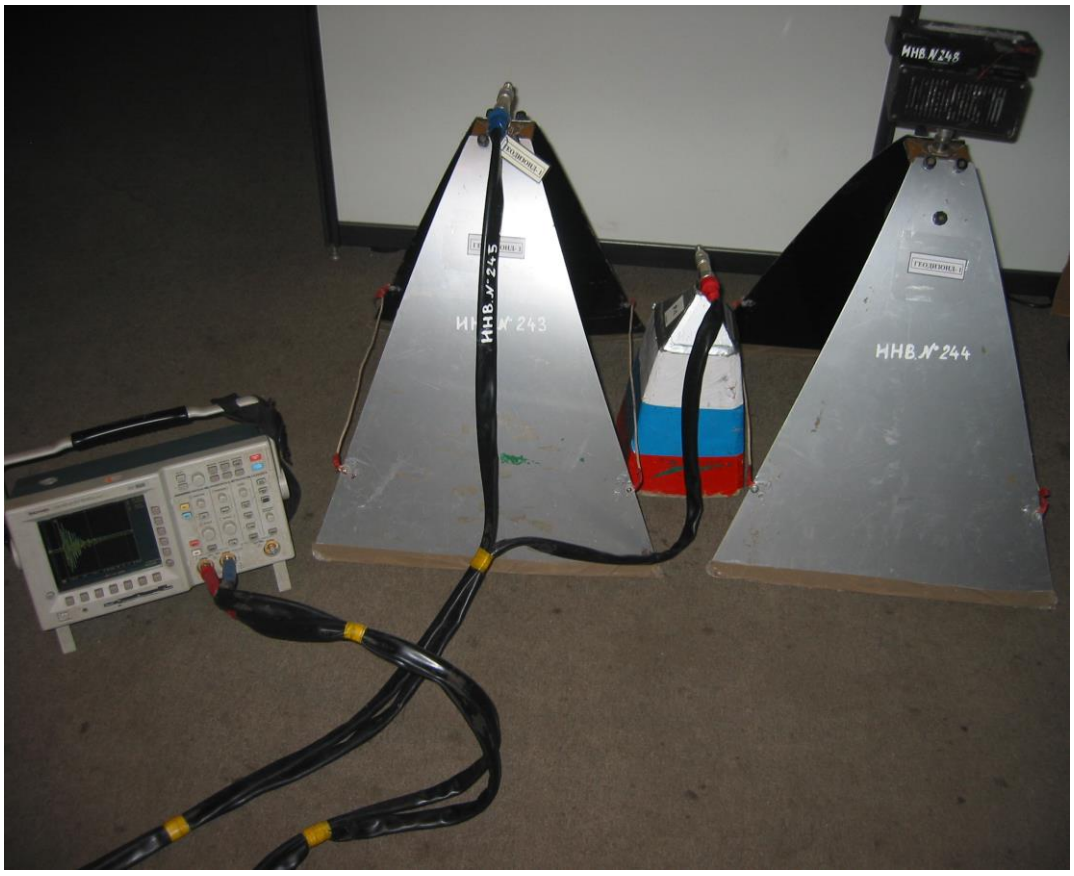


Рис. 1. Общий вид комплекса

Выбор схемы генерации излучаемых сигналов определяет схему согласования антенн с подстилающей средой, применяемый вид построения приемо-регистрирующей аппаратуры, протокол обмена аппаратуры с флеш-картой.

При идентификации результатов ЭМИ СШП зондирования используются электрофизические свойства объекта – низкочастотная дисперсия диэлектрической проницаемости.

Экспериментально установлено [4], что структура сигналов ЭМИ СШП зондирования существенно отличается от традиционных моделей модулированных квазимонохроматических сигналов, в основном с гауссовской огибающей:

– распределение поля (напряженность) излученного видеоимпульса в раскрыве передающей антенны представляет собой дифференциал от формы импульса (рис. 2);

– передний и задний фронты излучаемого видеоимпульса несимметричны (см. рис. 2); - расстояния между точками пересечения нуля огибающей принимаемого сигнала неравны (рис. 3, 4);

– частотный спектр отраженного сигнала имеет дискретный характер независимо от фронта и длительности импульса (см. рис. 2).

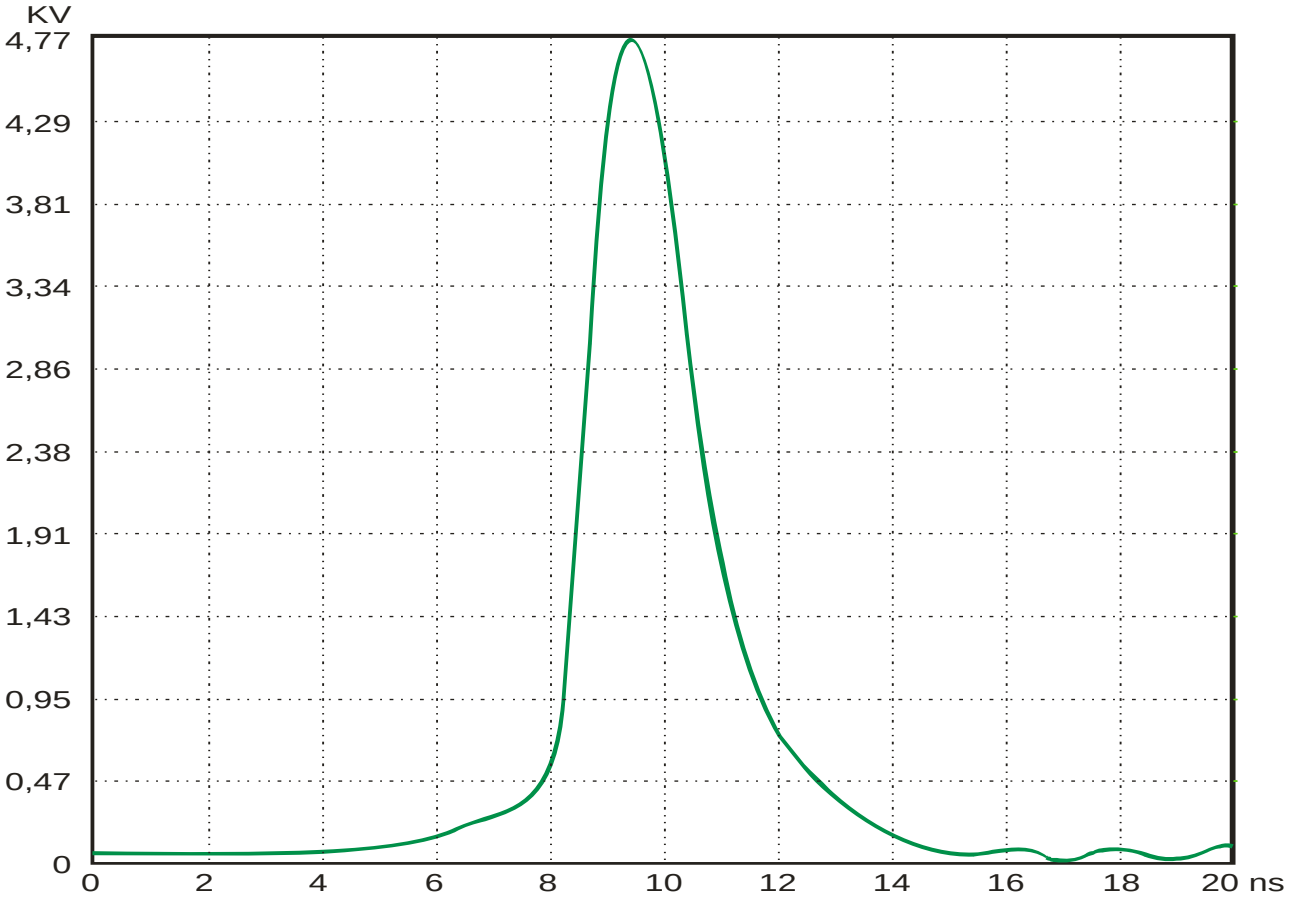


Рис. 2. Вид импульса ДДРВ генератора на экране осциллографа TRM8105 (полоса ~ 16 ГГц) с использованием аттенюатора BARTH (полоса ~ 26 ГГц)

На рис. 3, 4 представлены результаты измерений, выполненных на бетонной плотине Бурейской ГЭС. Эти сигналы рассматриваются как эталонный класс сигналов, характерный для бетонных поверхностей. Процесс измерения в одной точке зондирования занимает несколько секунд. В результате измерения в одной точке зондирования (ТЗ) дневной поверхности можно построить инженерно-геологическую колонку конкретного пункта наблюдения. Для получения протяженного разреза необходимо произвести несколько измерений с определенным расстоянием между точками на линии данного разреза.

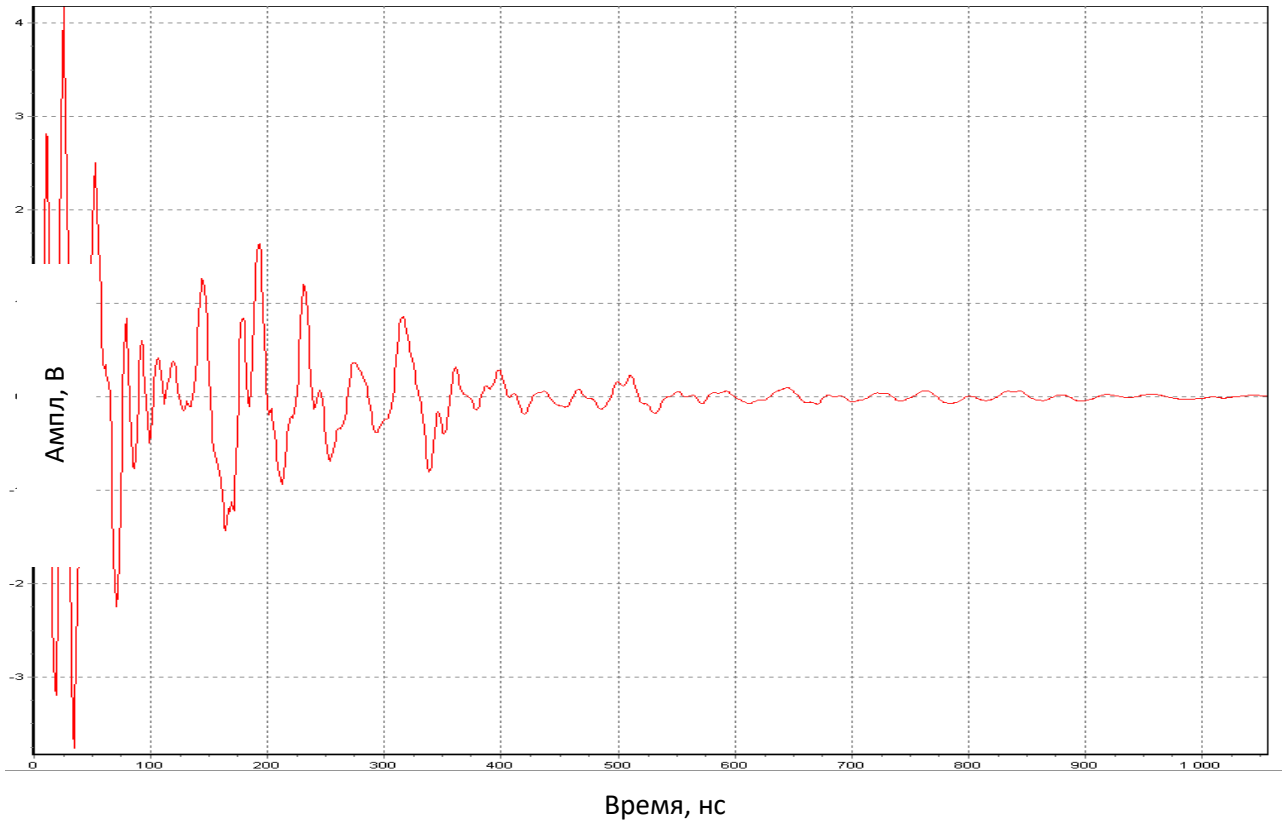


Рис. 3. Отраженный сигнал, принятый на бетонной плотине Бурейской ГЭС приемной антенной дециметрового (дм-) диапазона

Для метода ЭМИ СШП зондирования увеличение глубины проникновения полезного сигнала в подстилающую среду и высокая точность измерений отраженного сигнала определяются следующими факторами: стабильностью параметров генераторов [2], многоканальностью информационно-измерительной системы (ИИС) приема отраженных сигналов большой амплитуды [3], согласованием приемных и передающей антенн с подстилающей средой по волновому сопротивлению [5], совершенствованием методов обработки измерений [1], учетом данных метрологического обеспечения измерительных возможностей комплекса.

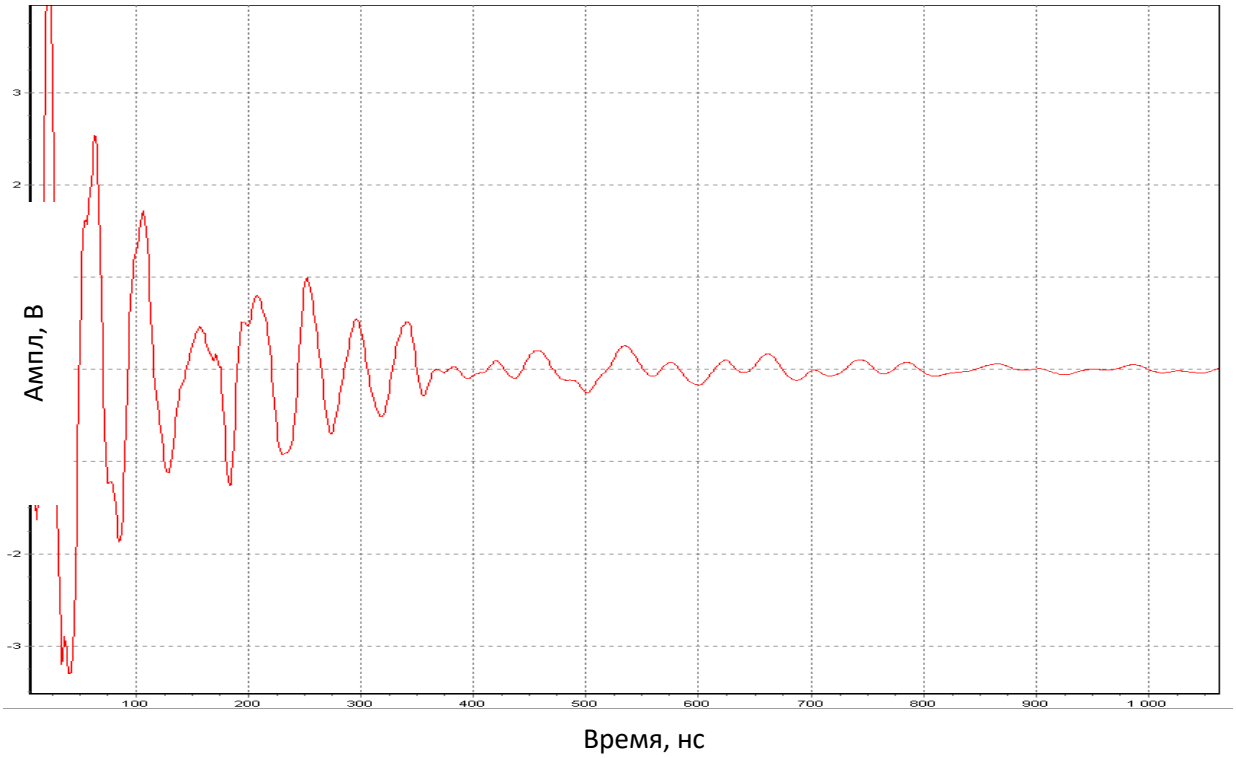


Рис. 4. Отраженный сигнал, принятый на бетонной плотине Бурейской ГЭС приемной антенной метрового (м-) диапазона

Современные способы литологического расчленения подстилающей среды базируются на двух методах: построении годографа и его модификациях (синфазность и т.д.) и моделировании волнового поля.

В методике идентификации образов для ЭМИ СШП зондирования при решении обратной задачи использовано уравнение Винера–Хопфа [5]. Применение существующих методов его решения позволило упростить задачу обнаружения пространственной неоднородности слоя и создать методику извлечения информации из результатов измерений в одной точке, что заметно расширило возможности инженерно-геологических изысканий [4].

Список литературы

1. Болтинцев В.Б., Лютынский И.Ю., Чапчай А.А. Применение вариационных задач для компенсации динамической погрешности информационно-измерительного комплекса // Проблемы машиностроения и автоматизации. 1990. № 6 (36). С. 36–40.
2. Мощный полупроводниковый генератор наносекундных импульсов / И.В. Грехов, В.М. Ефанов, А.Ф. Кардо-Сысоев, С.В. Шендерей // Приборы и техника эксперимента. 1986. № 1. С. 93–94.
3. Пат. № 2144682. Российская Федерация 7 G 01 S 13/02. Способ радиолокационного зондирования геологического разреза /

В.Б. Болтинцев; заявитель и патентообладатель Болтинцев В.Б. №99104111/09; заявл. 01.03.1999; опубл. 20.01.00, Бюл. № 2. М.: 2000, 12 с.

4. Применение метода электромагнитного импульсного сверхширокополосного зондирования при инженерно-геологических изысканиях / В.Б. Болтинцев, В.Н. Ильяхин, А.А. Черемисин, К.П. Безродный, С.Я. Нагорный // Инженерная геология. 2006. № 2. С. 72–76.
5. Свидетельство на полезную модель № 28289. Российская Федерация 7 H 01 Q 7/00. Антенна для подповерхностного зондирования / Болтинцев В.Б.; заявитель и патентообладатель ЗАО НПФ «Геодизонд». № 2002126446/20; заявл. 07.10.02; опубл. 10.03.03, Бюл. №7 - М.: 2003, 4 с.

СЕКЦИЯ «ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОСТАВЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ»

Лехов А.В., Кортунов Е.В., Лехов В.А., Самарцев В.Н., Шарапута М.К.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, г. Москва, avlekhov@gmail.com

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КАРБОНАТНОГО ПЛАСТА

Исследования фильтрационной неоднородности водоносного горизонта мячковско-подольских известняков проводятся на территории Звенигородской биостанации МГУ им. М.В. Ломоносова на первой террасе Москвы-реки. Целью исследований является построение схемы распределения проводимости и емкостных характеристик карбонатных пород по вертикали и в плане. Аллювиальные отложения имеют мощность около 6 м, ниже, до глубины около 60 м мячковско-подольские известняки. Неоднородность по вертикали изучается на всю мощность пласта, в плане рассматривается площадь порядка 150 м^2, что в обычной практике характеризуется одной скважиной. Используется 3-й куст из 8 совершенных скважин не имеющих фильтровой колонны в интервале карбонатных пород. Расстояния между соседними скважинами 3–4 м. Схема куста 3 приведена на рис. 1.

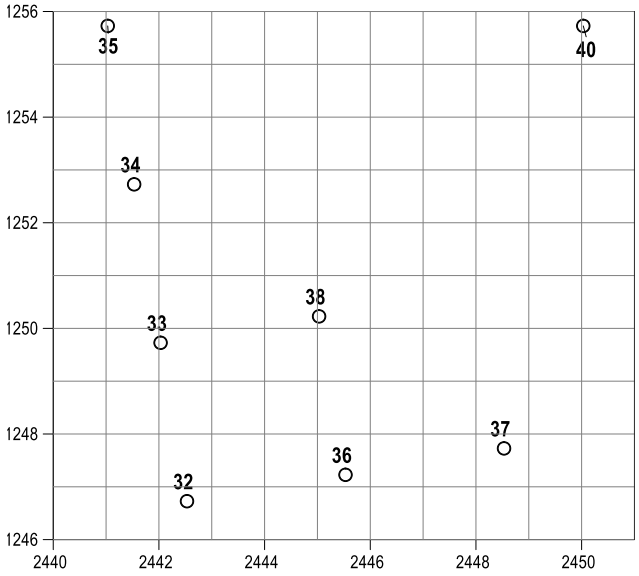


Рис. 1. Схема расположения скважин куста 3, река 200 м севернее

Были проведены следующие виды работ: электрокаротаж; расходометрия скважин (динамическая и статическая); трасерные испытания (солевой и тепловой трасер); резистивиметрия в естественном режиме; опытные наливы.

Предпосылки исследования

Распределение проводимости пласта, представленного слоями известняков различной литологии, предполагалось соответствующим предшествовавшим исследованием [1]. Основными элементами вертикальной фильтрационной неоднородности являются тонкие проводящие зоны мощностью менее 1 см, разделенные слабопроницаемыми толщами мощностью первые метры. Зоны располагаются на контактах слоев различной литологии. Практически вся проводимость водоносного горизонта (пласта) приурочена именно к тонким проводящим или проницаемым зонам.

Каждая проницаемая тонкая зона не является литологическим образованием (слоем), и не может быть определена по описанию керна скважины. Она формируется на литологических контактах вследствие карстового процесса и не имеет измеряемой мощности m. Поэтому ее характеристиками являются проводимость $T = km$ и удельная емкость nm.

Структура проводимости зон в плане определяется распределением мест повышенной скорости карстования (повышенные скорости течения подземных вод) в местах пересечения вертикальными трещинами контактов слоев и неоднородностью трещин напластования на контакте слоев. В результате формируется плановая неоднородность зоны, соизмеримая с диаметром ствола скважины. Следствием должно является различие параметров, определенных в скважинах, расположенных в непосредственной близости друг к другу.

Даже в единичной трещине, разделяющей два блока пород, существует фильтрационная неоднородность, что хорошо видно на рис. 2, где показано сжатие линий тока в трещине со случайным распределением раскрытия по логнормальному закону. На рис. 2 хорошо видно образование практически непроницаемого «острова» посередине трещины, соизмеримого с диаметром ствола скважины, и формирование нескольких струй основного течения. Отсюда следует различие совершенства скважины по связи с зоной в зависимости от места ствола.

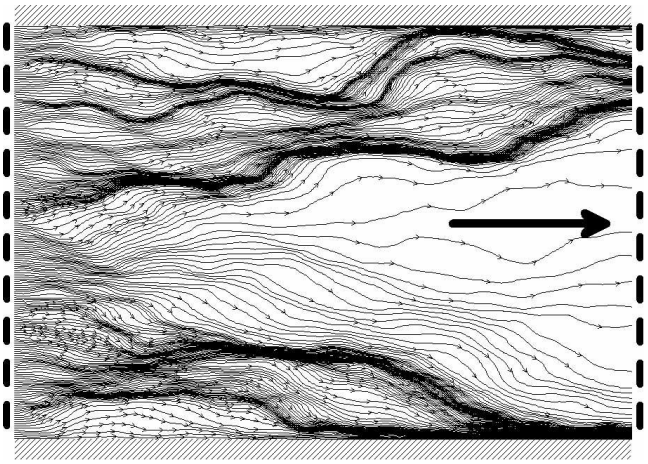


Рис. 2. Распределение линий тока и путей миграции для одной трещины

Результаты

Результаты *электрокаротажа*, выполненного по 4-х электродной схеме симметричным зондом AB1MN0,1, показанные на рис. 3, позволили четко установить повторяемость разрезов, вскрываемых скважинами, несмотря на значительные различия их визуального описания.

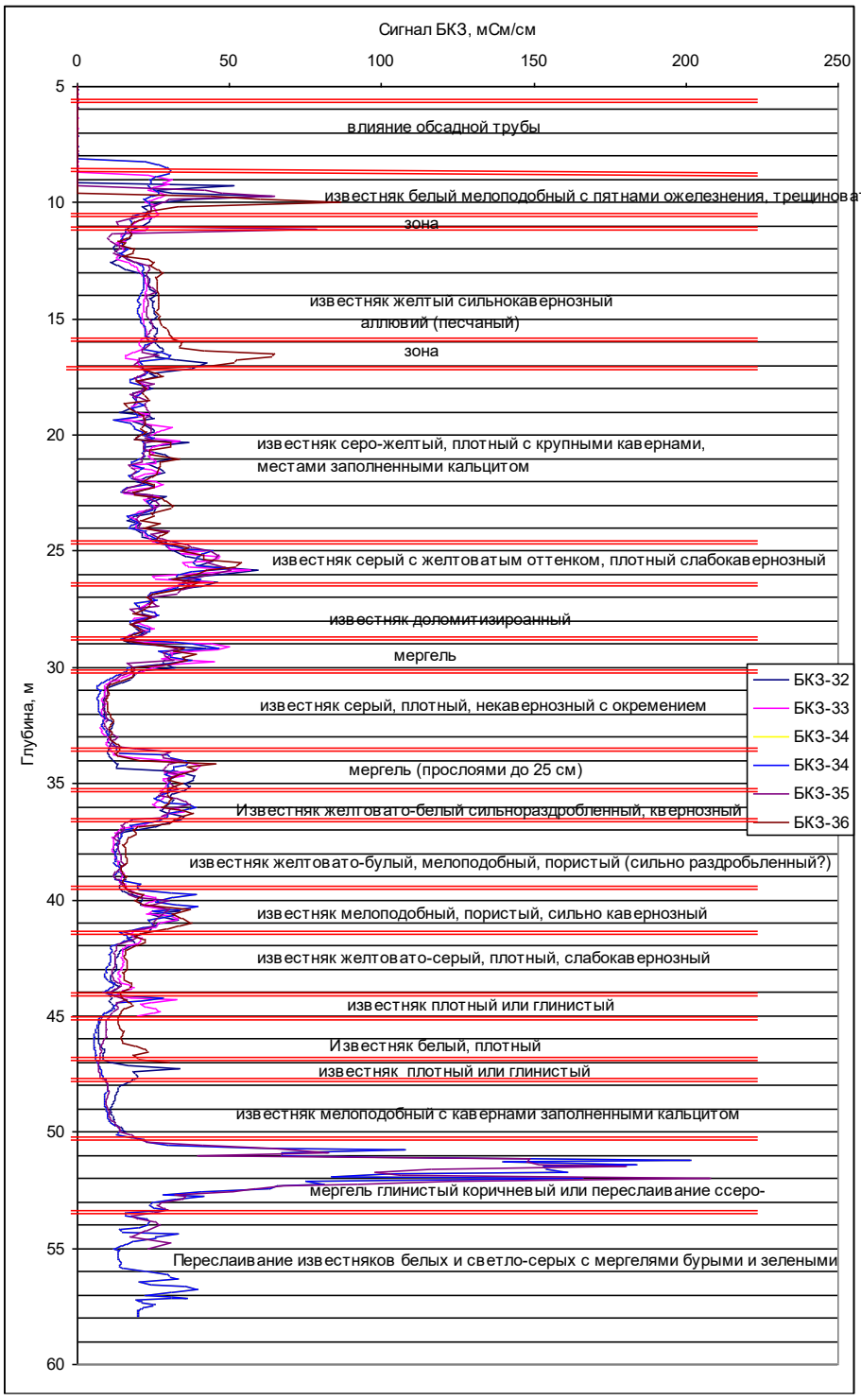


Рис. 3. Результаты расчленения разреза по скважинам куста 3

Определение глубин и проводимостей тонких зон осуществлялось *расходометрией* (РЭТС-2 с ПС-70М) в двух режимах [3]: естественном и при возбуждении наливом. В естественном режиме потоки по стволу не регистрировались вследствие недостаточной чувствительности аппаратуры. Это удалось сделать методом резистивиметрии. Поиск положений зон осуществлялся динамической расходометрией – перемещением расходомера с постоянной скоростью вниз при наливе и записью сигнала. В местах расположения тонких проницаемых зон происходит резкая смена частоты вращения крыльчатки расходомера. После чего проводилось определение расходов потока по стволу скважины в статическом режиме, установкой расходомера в наиболее благоприятные места измерения на основании результатов кавернометрии скважины и анализа динамической расходограммы. Далее по разности расходов по стволу скважины определялась проводимость зон. Корреляция динамической расходометрии, электрокаротажа и кавернометрии скв. 33 показана на рис. 4.

Трасерные испытания проводились для определения удельной емкости зоны и скорости распространения трасера в разных направлениях по зоне. Вследствие инерционности резистивиметрических датчиков, применяемых для определения солености воды и необходимости получения результатов прохождения трасера, сразу в нескольких наблюдательных скважинах использовались разные индикаторные растворы. Для исследования поведения трасера в наблюдательной скважине – раствор NaCl в концентрации 1 г/л (+ к воде налива). Выяснение скоростей миграции по разным направлениям при наливе в центральную скважины выполнялось термотрасером с использованием малоинерционных термисторов. В этом случае датчики располагались на глубине наиболее проводящей зоны, определенной по солевому трасеру. Срез трубы, подающей трасер, опускался на глубину той же зоны. Расход трасера, попадающего в зону, рассчитывался на основании результатов расходометрии.

Опыты с солевым трасером показали, что определение удельной емкости в кусте совершенных скважин возможно только для одной наиболее проводящей зоны (см. рис. 5).

Опыты *по резистивиметрии* скважин в естественных условиях [2] показали высокие скорости фильтрации воды по проницаемым зонам. Чаще всего скорость уменьшения концентрации соли в зоне практически не удается зарегистрировать. Для примера, показанного на рис. 6, скорость фильтрации зоны на глубине 11,5 м медленная – 0,075 м/сут. В следующей зоне 16 м получить информацию для расчета не удалось.

На рис. 7 показаны результаты *перекрестных наливов термотрасера.* Достаточно четко выделяется линейная область, направленная к реке от скв. 32 к скв. 34. Так же выделяется своего рода каналы, перпендикулярные этой области. Характерный размер плановой неоднородности менее 3 м.

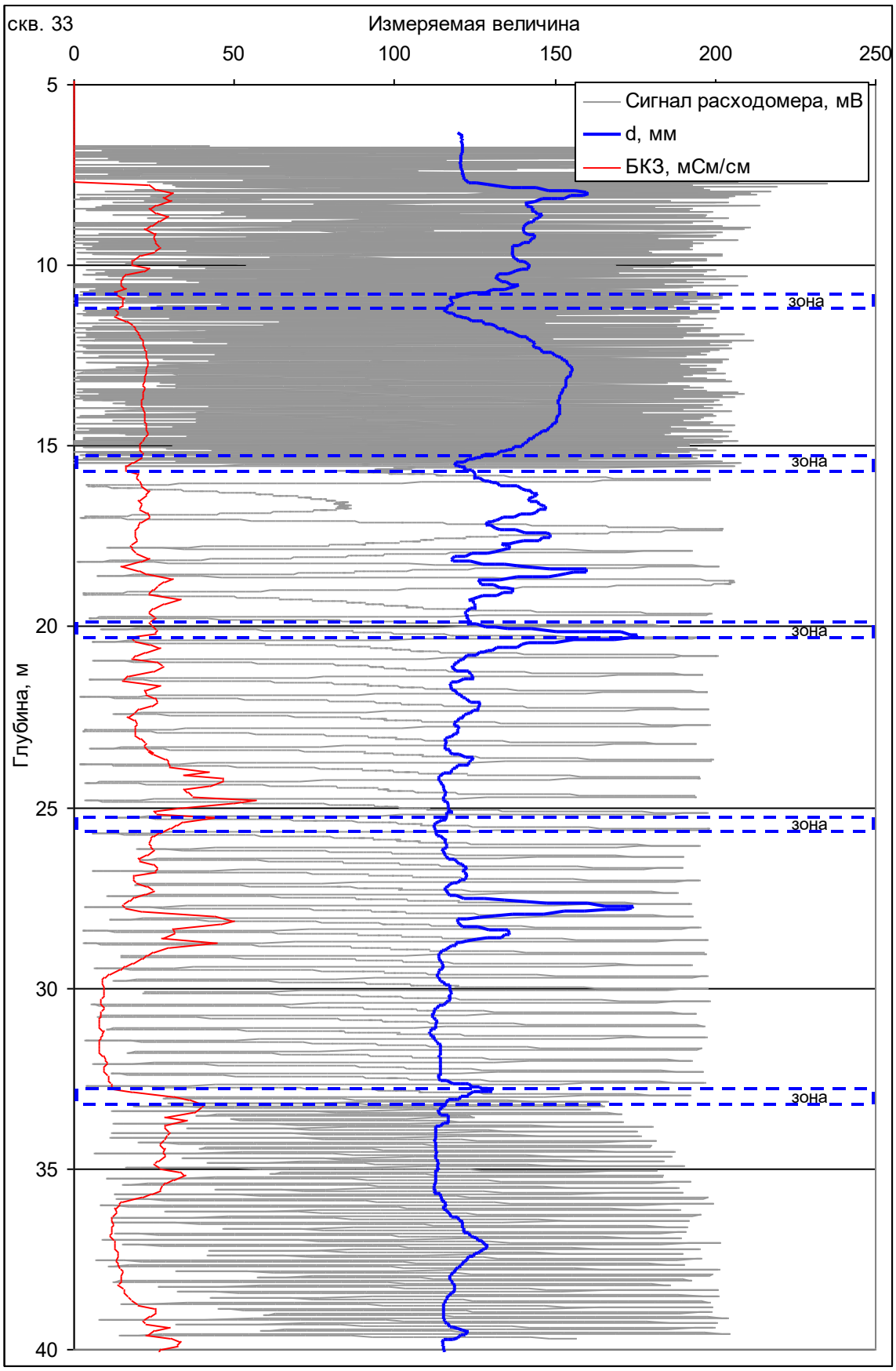


Рис. 4. Графики динамической расходометрии при наливе 5 л/с,
кавернометрии и БКЗ в скважине 33

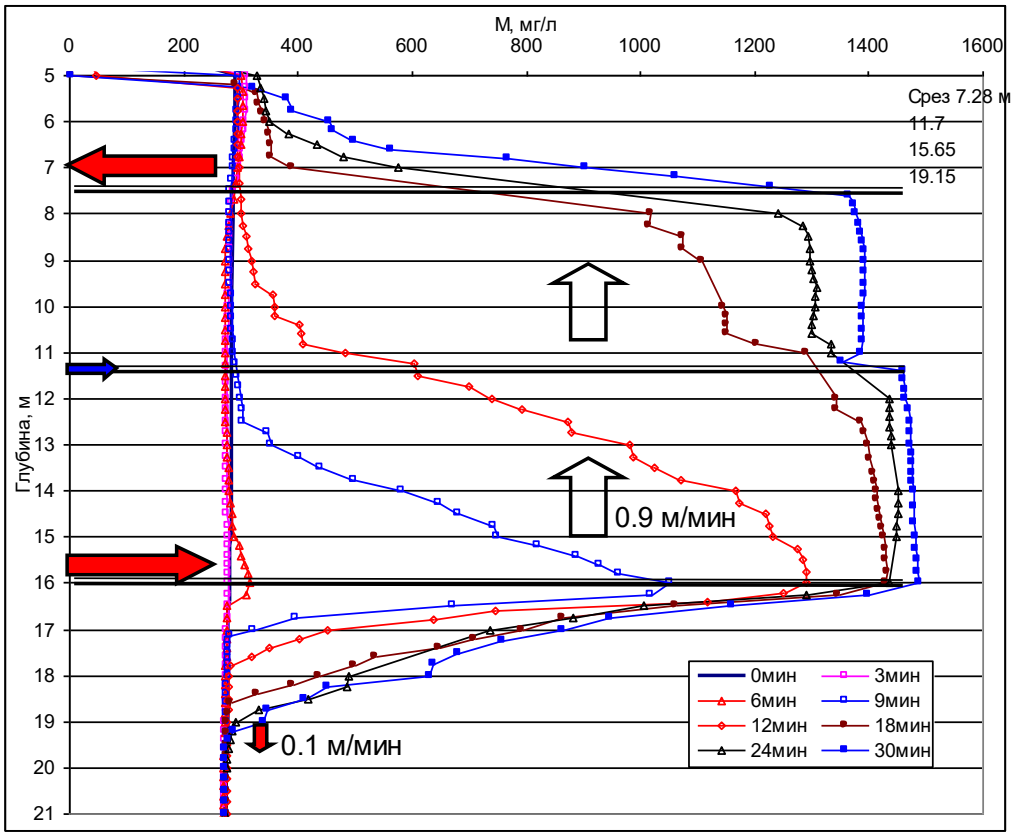


Рис. 5. Поведение трасера в наблюдательной скважине 34 при наливе с расходом 1 л/с в скважину 32, расположенную на расстоянии 6 м

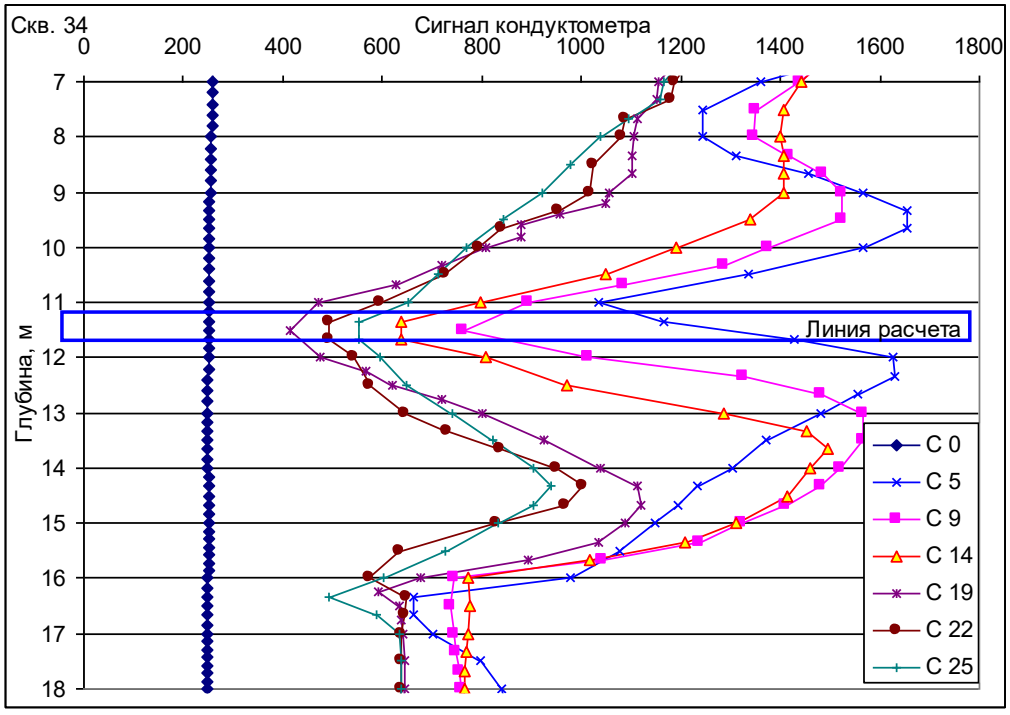


Рис. 6. Зависимости концентрации соли от глубины на разные моменты времени измерения (С 5 – 5 минут) после засоления скважины

Результаты *кустовых наливов* (дебит около 5 л/с, датчики давления с непрерывной записью) поочередно в каждую скважину (см. рис. 8) частично подтверждают результаты термотрасерных испытаний, несмотря на то, что трасер подавался и измерялся в одной зоне с самой высокой проводимостью, а наливы проводились в полностью открытый ствол. Наиболее интересным в данном случае является резкий контраст связи стволов соседних скважин 32 и 33, расположенными в 3 м друг от друга, с проводящими зонами. Средние значения проводимости по всем наблюдательным скважинам отличаются на 40% относительно скв. 32, а по отдельным скважинам максимально на 10%. Определяющими являются характеристики центральной скважины. Это и степень совершенства по отношению к проводимости каждой зоны и степень совершенства по вскрытию всех зон.

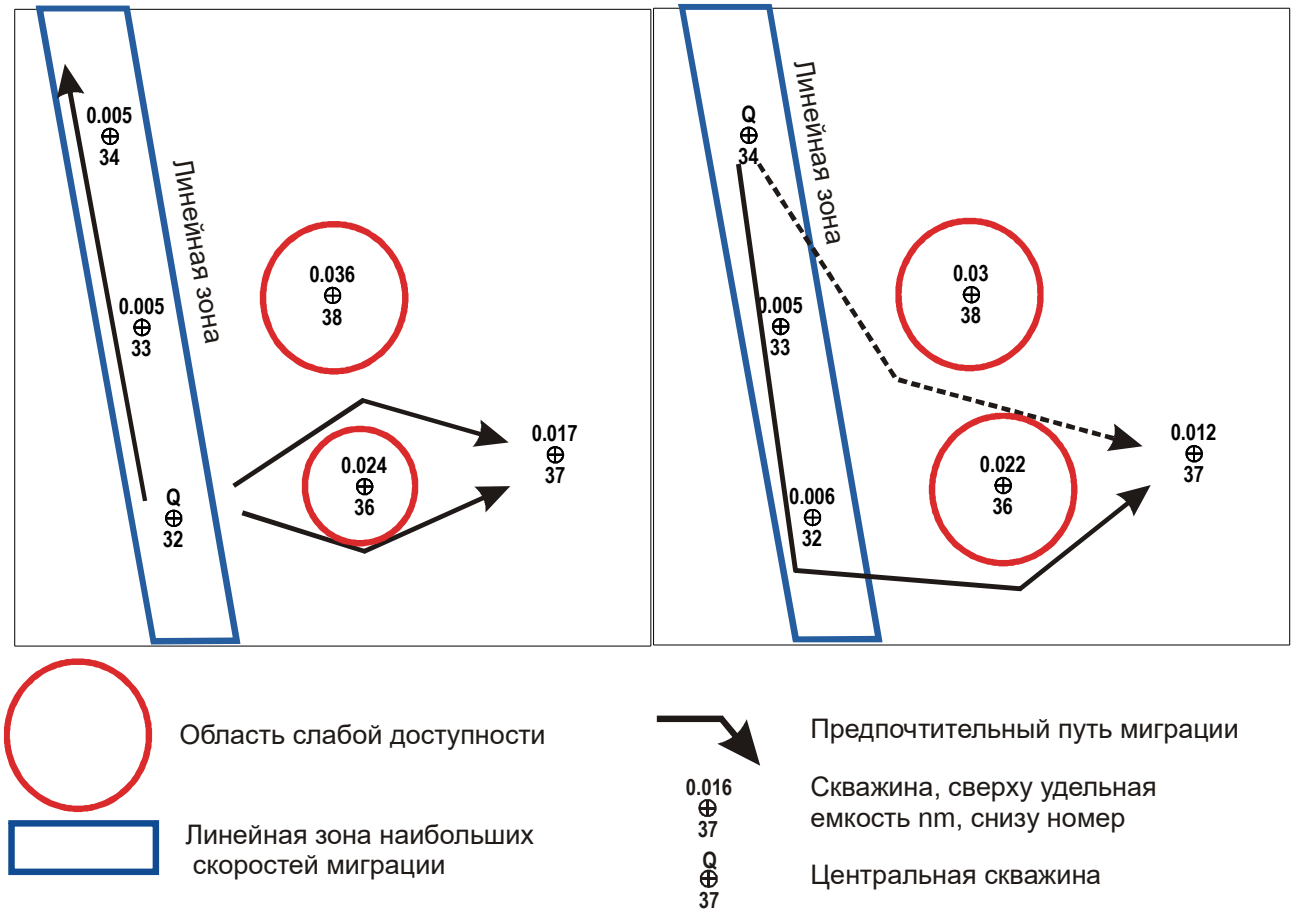


Рис. 7. Результаты наливов термотрасера в зоны 16 м в скв. 32 и 34

Выводы

Структура проводимости карбонатного пласта в виде чередования проводящих тонких зон, сформированных на контактах различных по литологическому составу слоев и разделенных толщами слабопроницаемых пород, имеет экспериментальное подтверждение.

При проведении налива или откачки в наблюдательных скважинах возникают потоки по стволу, блокирующие поступление воды в ствол практически из всех зон, кроме наиболее проводящей.

Размер неоднородности зоны в плане, регистрируемой при проведении опытных работ, менее расстояний между скважинами куста 3 и, возможно, соизмерим с диаметром ствола в месте расположения зоны, который всегда больше диаметра бурения в 1,5–2 раза. Вероятные пределы 0,3–2 м.

В зависимости от центральной скважины удельные емкости различаются почти в 10 раз для одной зоны. Для совокупности зон карбонатного пласта значения суммарной проводимости могут варьировать на 30-40% в зависимости от характеристик центральной скважины (степень совершенства по отношению к проводимости каждой зоны и степень совершенства вскрытия всех зон).

Удачным способом определения глубин проницаемых зон является достаточно дешевый метод резистивиметрии, который при совершенствовании техники измерений позволит определить и приближенное соотношение проводимости зон.

Рис. 8. Результаты кустовых наливов и явные области связи наблюдательных скважин и проницаемых зон (обозначения на рис. 7)

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00807/17 от 1 марта 2017 г.

Список литературы

1. Лехов А.В. Физико-химическая гидрогеодинамика. М.: КДУ, 2010. 500 с.
2. Огильви Н.А., Федорович Д.И. Электролитический метод определения скорости фильтрации подземных вод и условия его практической применимости. М.: Недра, 1964. 43 с.
3. Полевые методы гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, инженерно-геофизических и эколого-геологических исследований: учебное пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 352 с.

Расторгуев А.В., Сорокоумова Я.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, г. Москва, alvr9@mail.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С УГЛЕВОДОРОДНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Загрязнение подземных вод углеводородами широко распространено во всех странах и на территории России. Для обозначения нефтепродуктовых жидкостей – загрязнителей принята аббревиатура **LNAPL** – ***light nonaqueous phase liquids,*** что можно перевести как легкая нерастворимая в воде жидкая фаза, имеющая плотность меньше плотности воды. Легкие углеводороды являются источником загрязнения грунтовых вод на многих участках по всему миру. Эти загрязнения обычно происходят в результате пролива нефтепродуктов, являющихся в общем случае многокомпонентной органической смесью, состоящей из компонентов с различной водорастворимостью. По данным EPA на январь 1987 г. в США имелось от 3 до 5 млн. подземных емкостей для хранения жидких нефтепродуктов и химических веществ. Из них, по оценке того же агентства, от 100 до 400 тыс. емкостей с подводящими и отводящими трубопроводами дают утечки своего содержимого непосредственно в грунт. Существуют и другие пути загрязнения подземных вод углеводородами. Например, образование метана на свалках с последующей миграцией с потоком подземных вод.

Примером загрязнения обширной городской территории в районе нефтеперерабатывающего завода может служить г. Новокуйбышевск Самарской области [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Здесь даже утверждены запасы техногенного месторождения нефти по категории С1 в объеме 1 650 тыс. тонн на территории более 500 га.

При реабилитации территорий, где произошли аварийные загрязнения грунтов и подземных вод нефтепродуктами, возникает необходимость прогнозировать распространение углеводородов, оценивать их запасы и, по возможности, извлекать. Для обоснования систем извлечения необходимы параметры, характеризующие пористость, остаточную нефтенасыщенность и ряд других параметров, определяющих многофазную фильтрацию.

Ниже приведены результаты обработки откачки из линзы техногенных керосинов на территории Ленинградской области. Здесь в течение 4,5 месяцев с помощью 4 скважин откачивали техногенный керосин из линзы, площадью 1500 м^2. Откачка проводилась с помощью скважин, конструкция которых позволяла откачивать раздельно керосин и воду. Откачка воды необходима для предотвращения заводнения скважины. Средний расход откачки воды из одной скважины 37,5 м^3/сут. В результате проведения реабилитационных работ, длительностью 4,5 месяца, объем откаченного их 4 скважин керосина составил 19,6 м^3. Ниже приведен пример обработки результатов откачки одной из скважин опыта с целью получения параметров.

Для обработки опыта была использована разработанная Американским нефтяным институтом (API) программа **LDRM (**LNAPL Distribution and Recovery Model - Модель распределения и извлечения LNAPL) [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Программа **LDRM** основана на аналитическом решении задачи откачки линзы нефтепродуктов. Такое решение возможно при ряде допущений, суть которых ясна из последующего изложения. В более сложных ситуациях необходимо численное моделирование, например, на основе программы OILFEM [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

С помощью **LDRM** можно рассчитать эффективность системы извлечения, состоящей из скважин, имеющих радиус захвата R_c. Пример расположения скважин, перехватывающих линзу нефтяного загрязнения, показан на

Рис. 8.

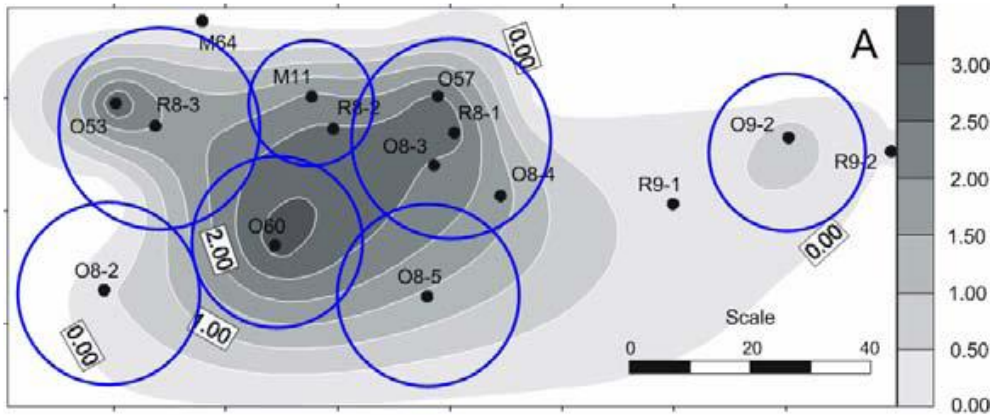


Рис. 8. Линза нефтяного загрязнения с расположением откачивающих скважин и с их зонами захвата (взято из [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**])

Программа **LDRM** позволяет рассчитывать раздельную откачку нефтепродутов и воды с расходами Q_o и Q_w соответственно. Схема такой откачки из линзы нефтепродуктов мощностью b_o и водоносного горизонта мощностью b_w показана на Рис. 9.

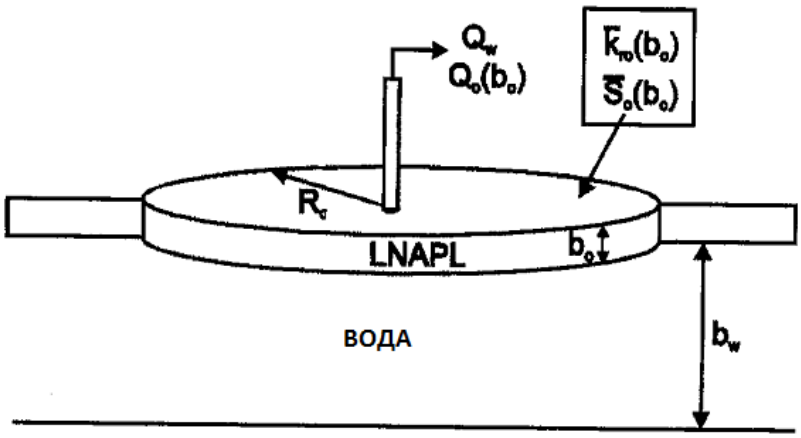


Рис. 9. Схематизация раздельной откачки воды и нефтепродуктов в пределах зоны захвата одной скважины на нефтепродукты (взято из [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**])

Изменение извлекаемого объема нефтепродуктов внутри зоны захвата одной скважины R_c равно:

$$-\pi R_c^{\,2}\frac{dV_o}{dt}=Q_o\,, \qquad (1)$$

где V_o – извлекаемый удельный объем нефтепродуктов, равный:

$$V_o=\theta\int_{Z_{OW}}^{Z_{OW}+D}(S_o(z)-S_{or})dz\,, \qquad (2)$$

где θ – пористость, S_o – нефтенасыщенность, S_{or} – остаточная нефтенасыщенность. Для характеристики нефтенасыщенности S_o в задачах миграции нефтяных загрязнений широко распространена эмпирическая зависимость Ван Генухтена–Паркера [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]:

$$S_o(z)=S_{wr}+(1-S_{wr}-S_{or})(1+(\beta_{ow}\alpha(h_{ow})^N)^{-M}\,, \qquad (3)$$

где, $h_{ow}=h_o-h_w=(1-\rho_{ro})(z-z_{ow})$ – капиллярное давление нефть-вода в метрах водного столба, [L], ρ_{ro} – плотность нефтепродукта относительно воды, z_{ao} – вертикальная координата границы раздела воздух/нефтепродукты от общей плоскости сравнения, z_{ow} – вертикальная координата границы раздела нефтепродукты/вода от общей плоскости сравнения; z – вертикальная координата точки от общей плоскости сравнения,

$$\left\{\begin{array}{l} h_w=\dfrac{P_w}{g\rho_w}=(1-\rho_{ro})z_{ow}+\rho_{ro}z_{ao}-z \\ h_o=\dfrac{P_o}{g\rho_w}=\rho_{ro}(z_{ao}-z) \\ h_a=\dfrac{P_a}{g\rho_w}=0 \end{array}\right\}$$ –давления воды, нефти, воздуха [L];

$\beta_{ow}=\dfrac{\sigma_W}{\sigma_{OW}}$, σ_{OW} – поверхностное натяжение на границе раздела углеводороды/вода, σ_W – поверхностное натяжение чистой воды (72 дин/см), α и N – параметры эмпирической зависимости, предложенной Ван Генухтеном [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. (Параметр α прямо пропорционален

размеру пор, а параметр N обратно пропорционален рангу распределения пор), $M = 1 - 1/N$, S_{wr} – остаточная водонасыщенность.

Зона с насыщенностью нефтепродуктов $S_0 > 0$ в грунте больше, чем толщина линзы нефтепродуктов b_0, наблюдаемая в скважинах $b_0 = z_{ao} - z_{ow}$. Мощность области, насыщенной нефтепродуктами, может быть найдена из

$$\beta_{ao}\rho_{ro}\left(z\big|_{S_O=0} - z_{ao}\right) = \beta_{ow}(1-\rho_{ro})\left(z\big|_{S_O=0} - z_{ow}\right)$$

Обозначив мощность зоны, насыщенной нефтепродуктами в пласте $z\big|_{S_O=0} - z_{ow} = D$, $\beta_{ao} = \dfrac{\sigma_W}{\sigma_{ao}}$, σ_{ao} – поверхностное натяжение на границе раздела воздух/углеводороды и имея в виду, что $z\big|_{S_O=0} - z_{ao} = D - b_o$, получим:

$$D = \frac{b_o\beta_{ao}\rho_{ro}}{\beta_{ao}\rho_{ro} - \beta_{ow}(1-\rho_{ro})} \qquad (4)$$

Выражение (4) определяет истинную мощность нефтепродуктов в пласте и определяет верхний предел интегрирования в формуле (2).

Дебит нефтепродуктов может быть найден, исходя из пропорциональности массовых расходов воды и нефтепродуктов их водопроводимости T_w и нефтепроводимости $T_o(b_o)$.

$$Q_o = \frac{Q_W T_o(b_o)}{\rho_{ro} T_w} \qquad (5)$$

Дебит воды Q_w может быть найден на основе формулы Дюпии:

$$Q_w = \frac{2\pi T_w S}{\ln(R_в / r_{скв})} \qquad (6)$$

где $R_в$ – радиус влияния при откачке воды, $r_{скв}$ – радиус фильтра, S – понижение уровня воды в скважине при откачке.

Нефтепроводимость T_o и водопроводимость T_w, входящие в (5) и (6), оцениваются согласно:

$$T_o(b_o) = \frac{\rho_{ro}}{\mu_{ro}} \int_{Z_{OW}}^{Z_{OW}+D} K_{sw} k_{rn}(S_o)\,dz$$

$$T_w(b_w) = \int_{Z_{aw}-b_w}^{Z_{aw}} K_{sw}(z)\,dz$$

где K_{sw} – коэффициент фильтрации воды при полном насыщении, μ_{ro} – отношение вязкости нефтепродуктов к вязкости воды, относительная проницаемость нефтяной фазы $k_{rn}(S_o)$ оценивается согласно зависимости Ван Генухтена-Муалема [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]: $k_{rn}(S_o) = S_o^{1/2}(1-S_w^{1/M})^{2M}$.

Многократное приближенное решение (1) с помощью программы **LDRM** позволило определить параметры, определяющие приток керосина к технологической скважине. Сопоставление фактических и расчетных данных приведено на

Рис. 10. В таблице приведены значения параметров, для варианта расчетов, при котором было получено наилучшее соответствие фактических и расчетных данных.

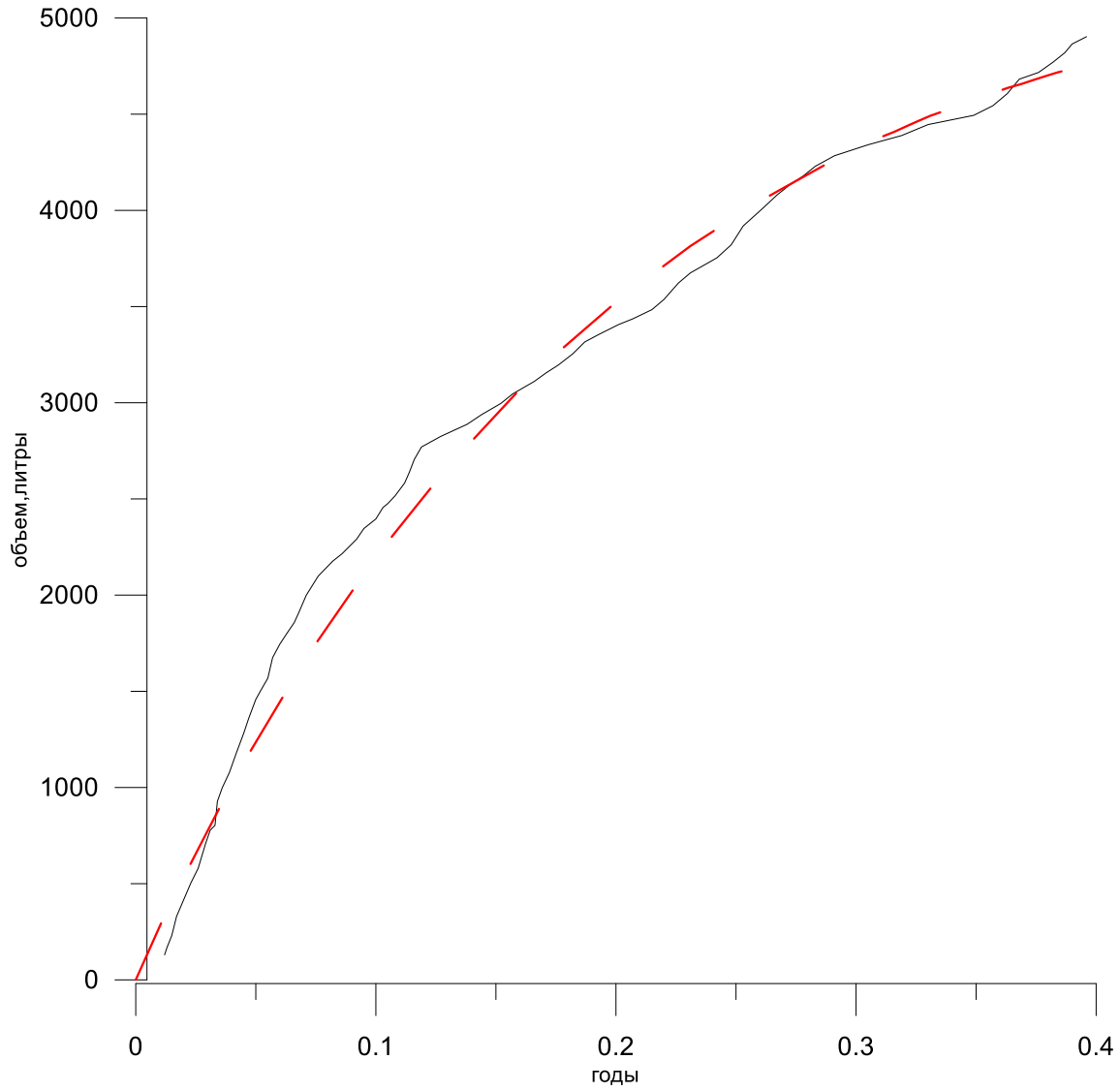


Рис. 10. График сопоставления расчетных и фактических объемов нефтепродуктов, извлеченных из технологической скважины

Таблица

Параметры, полученные при интерпретации экспериментальной откачки техногенного керосина

Пористость	**Параметр модели Ван Генухтена α (м$^{-1}$)**	**Параметр модели Ван Генухтена N**	**Остаточная насыщенность по воде**	**Остаточная насыщенность по нефти**	**Коэффициент фильтрации, м/сут**
0,39	5	2,9	0,05	0,25	3

Выводы

1. Для обоснования реабилитации территорий от линз нефтепродуктов целесообразно использовать раздельную откачку нефтепродуктов и воды. Это позволит извлечь часть нефтепродуктов и получить параметры, необходимые для оптимизации дальнейшей реабилитации.
2. Обработка откачки в относительно простых случаях может быть проведена на основе программы **LDRM** [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. В более сложных случаях может быть использовано численное моделирование [1].

Список литературы

1. Расторгуев А.В., Куранов П.Н. Гидродинамические и гидравлические модели многофазной фильтрации для обоснования защиты подземных вод от загрязнения. Сборник трудов конференции, посвященной 50-летию кафедры гидрогеологии МГУ им. М.В. Ломоносова. М: Изд-во МГУ, 2003.
2. Charbeneau, R. J. Models for desing of free-product recovering systems for petroleum hydrocarbon liquids. Regulatory Analysis and scientific affairs department. API Publication Number 4729. Washington D.C.: American Petroleum Institute, 2003.
3. Parker J.C., Lenhard, R.J. Vertical integration of three phase flow equations for analysis of light hydrocarbon plume movement. Transport in Porous Media, 1989. P. 187–206.
4. Van Genuchten M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. 1980. P. 892–898.

Гуман О.М., Антонова И.А.

Уральский государственный горный университет, ООО «Уралгеопроект»,
г. Екатеринбург, Guman2007@mail.ru, Dolinina_ira@mail.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ ЗАТОПЛЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ЭТАПЕ ЛИКВИДАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ СУЛТАНОВСКОГО РУДНИКА)

В пределах Уральского региона разрабатываются месторождения меди, в основном, колчеданные, расположенные на Северном, Среднем и Южном Урале. Добыча медноколчеданных руд происходит в различных физико-географических зонах, климатических условиях, часто открытым способом. Процессы техногенеза наиболее масштабно проявляются при добыче медноколчеданных руд, их последствия на активной стадии техногенеза детально изучались рядом исследователей и изложены в работах [3, 4, 6].

В настоящее время часть медноколчеданных месторождений Урала отработана и геотехнические системы карьер-отвал находятся на регрессивной стадии техногенеза. На пассивной стадии горнопромышленного техногенеза, после прекращения добычных работ и ликвидации горного предприятия, происходит самозатопление горных выработок, развиваются своеобразные техногенные и техноприродные процессы, охарактеризованные в работах [2, 8].

Большинство медноколчеданных месторождений расположены в пределах открытых структур Уральской зоны складчатости. В Уральской системе бассейнов распространены трещинные, трещинно-жильные и трещинно-карстовые безнапорные водоносные горизонта и комплексы, воды которых, как правило, формируются в границах поверхностных водосборов, образуя небольшие бассейны стока. Интенсивный водообмен определяет развитие в Уральской зоне складчатости пресных и ультрапресных вод. Вертикальная гидрохимическая зональность, как правило, отсутствует, а по площади проявляется в соответствии со сменой климатических, ландшафтных зон, литологического состава водовмещающих пород.

В пределах Уральского складчатого пояса, где превалируют предприятия рудного профиля, были закрыты Ново-Ежовский, Ломовский, Зюзельский, Гумешевский, Карабашский, им. III-го Интернационала, Красногвардейский, Леневский, Дегтярский, Левихинский медные и некоторые другие рудники [2].

Исследования состояния окружающей среды на стадии ликвидации рудников, расположенных в пределах открытых структур Уральской зоны складчатости, показали, что после остановки и закрытия горнодобывающего предприятия, формируется пассивная стадия техногенеза горнорудного профиля, являющаяся неотъемлемым продолжением активной стадии [2]. На территории горнорудного техногенеза активизируется водообмен, возрастает скорость фильтрации и инфильтрации, процессы растворения и гидролиза ускоряются вслед за ускорением выноса продуктов реакции; изменяется

глубина доступа атмосферных газов в массив горных пород, увеличивается поверхность их воздействия; изменяется химический состав подземных вод за счет спровоцированных горнорудной деятельностью процессов сернокислотного выщелачивания, гидролиза, вторичного минералообразования, складирования и захоронения отходов производства и потребления; нарушается температурный градиент массива горных пород.

Отличные от вышеприведенных условия возникают при разработке и ликвидации рудников, имеющих двухярусное строение (по П.Н. Панюкову, 1978), характерное для Султановского, Юбилейного, Гайского, Теченского и других месторождений Урала.

Авторами в рамках инженерно-экологических изысканий были выполнены прогнозы изменения гидрогеологических условий территории Султановского месторождения медно-колчеданных руд на этапе ликвидации Султановского рудника.

Султановское месторождение, в отличие от других уральских колчеданных месторождений, находится не в Главной колчеданоносной вулканогенно-осадочной полосе Урала, а в 80 км к востоку от нее, и входит в, выделяемый весьма условно Л.Н. Овчинниковым, Султановско-Сафьяновский пояс.

Месторождение имеет двухъярусное строение: Верхний ярус (покрывающий) это почти горизонтально залегающие осадочные отложения от раннемелового до плиоцен-четвертичного возраста.

Породы верхнего яруса представлены мергелями, часто алевритовыми с глауконитом, в нижней части песчаниками глауконит-кварцевыми с редкими маломощными прослоями опок, глауконит-кварцевыми, опоками, диатомитами и глауконит-кварцевыми песчаниками с опоковым цементом и глинистым цементом.

Нижний ярус, рудоносный, сложен известняками, битуминозными известняками, рассланцованными трещиноватыми порфиритами, сланцами. Рудные тела Султановского месторождения приурочены к нижнему ярусу, залегают преимущественно в порфировых риолитах, их туфах и брекчиях на глубинах от 100 до 300 м. Таким образом, ожидать унаследование «токсичных компонентов» из рудных тел в почвах и поверхностных водах не следует. Миграция «токсичных компонентов» из рудных тел в окружающую среду возможна только с потоками подземных вод, омывающих рудные тела.

На площади месторождения развиты два водоносных горизонта: трещинно-пластовые подземные воды мезо-кайнозойских отложений и трещинные воды пород палеозойского возраста, которые гидравлически связаны между собой и имеют практически единое зеркало водной поверхности. Уровни залегают на глубинах от 0,5 до 9,25 м. Направление потока подземных вод в естественных условиях до начала отработки Султановского месторождения южное, по направлению к долине р. Теча.

Подземные воды палеозойского горизонта в районе Султановского

месторождения по классификации [7] можно отнести к околонейтральным, сульфатного типа, характерным признаком является преобладание сульфат-ионов среди других анионов и относительно повышенное содержание рудообразующих металлов. Такой химический состав характерен для вод, циркулирующих в рудных телах со слабо развитыми процессами окисления, и особенно характерен для вод, окружающих рудные тела. Это широко распространенный тип для вод, окружающих колчеданные месторождения в условиях полосы неустойчивого увлажнения и провинции аридных областей.

В результате отработки Султановского месторождения открытым способом образован карьер глубиной 185 м, площадью 47 га, рис. 1.

Рис. 1. Горнопромышленный ландшафт в районе Султановского месторождения (карьер, на дальнем плане – отвалы)

При водоотливе вокруг карьера сформировалась зона депрессии, направление потока подземных вод сменилось на радиальное в сторону карьера Султановского рудника.

При осушении карьера формирование гидрогеологических процессов происходило под влиянием окисления рудной минерализации в техногенной зоне аэрации. На этапе отработки месторождения подземные воды карьерного водоотлива характеризовались сульфатно-гидрокарбонатным составом с минерализацией 0,42 г/л, нейтральные с pH 6,70; высоких содержаний микроэлементов, превышающих ПДК, не выявлено. Соответственно, химический состав дренажных вод формировался в условиях доминирующего влияния нейтральных-слабощелочных вод палеоген-меловых отложений.

При затоплении карьера происходит уменьшение водообмена через толщу сульфидсодержащих пород. Это приводит к уменьшению сульфатной составляющей в составе карьерных вод, снижению минерализации воды. В результате проведенных исследований подтверждено отсутствие выраженной зоны кислых вод в придонной части затопляемой карьерной выемки, с глубиной наблюдается незначительное увеличение кислотности карьерных вод с pH от 7,70 в приповерхностном слое до 6,90 на глубине 35 м. На фоне уменьшения pH воды с глубиной выявлено увеличение минерализации карьерных вод, содержания в них сульфатов, меди, цинка, никеля, марганца,

кадмия, связанных с окислением сульфидсодержащих масс в условиях доступа кислорода и активного водообмена.

Отсутствие зоны формирования кислых вод в карьерном озере обусловлено техническими решениями по рекультивации карьерной выемки: после завершения отработки Султановского карьера с целью изоляции остаточных выходов рудных тел на поверхности дна и бортов карьера и исключения их дальнейшего окисления после затопления карьера, был создан многослойный экран из гашеной извести, глинистых грунтов и скальной породы. В результате выполненных работ проведена изоляция выходов рудных тел и исключен их контакт с кислородсодержащими водами, затапливающими карьерную выемку, что привело к снижению процессов окисления, и соответственно, снижению образования кислых сульфатных вод с высоким содержанием рудообразующих металлов.

При ликвидации Султановского рудника изменение гидрогеологических условий будет происходить в следующих основных направлениях:

1) изменение структуры потока подземных вод, условий их питания, разгрузки и повышение уровня вследствие остановки карьерного водоотлива.

2) изменение качества подземных вод при восстановлении системы водообмена и баланса между компонентами химического состава подземных вод в районе месторождения.

В рамках инженерно-экологических изысканий нами были выполнены гидрогеологические прогнозы затопления карьера на этапе ликвидации, включающие прогнозы времени затопления карьерной выемки, а также изменения химического состава воды формирующегося карьерного озера.

Прогнозы времени затопления карьерной выемки выполнены следующими способами:

– балансовым методом, учитывающим приходные и расходные составляющие водного баланса;

– расчетом максимальной и минимальной отметки самозатопления карьера на периоды годовой 25, 50 и 75% обеспеченности, основанный на результатах многолетних гидрологических наблюдений за стоком р. Теча по посту р. Теча – с. Муслюмово;

– методом численного интегрирования через вероятность отклонения годового количества осадков от нормы в зависимости от длительности периода затопления.

В расчетах балансовым методом принималось, что приходная часть водного баланса затапливаемого карьера формируется за счет поверхностного стока с площади водосбора, стока с отвалов, притока подземных вод и атмосферных осадков. Расходная часть определяется потерями воды на испарение с поверхности водоема. Исходя из балансовых расчетов, время заполнения карьерной выемки до отметки +177,5 м (максимальная установленная отметка заполнения) составит 15 лет.

Выполненный прогноз заполнения карьерной выемки балансовым

методом показал удовлетворительную сходимость расчета для горизонтов заполнения карьера +56 м, +65 м, +79 м, инструментально замеренных в процессе выполнения инженерных изысканий. Фактическое время заполнения превышало расчетное в среднем на 3–4%, что свидетельствует о достоверности рассчитанных балансовых составляющих водопритока в карьер.

Дополнительно выполнен тестовый расчет максимальной и минимальной отметки самозатопления карьера на периоды годовой 25, 50 и 75% обеспеченности, основанный на результатах многолетних гидрологических наблюдений за стоком р. Теча по посту р. Теча - с. Муслюмово. При выполнении расчета учтены специфические гидрологические условия исследуемой территории. Участок изысканий расположен в юго-восточной части бассейна р. Тобол, относящейся к полуаридной зоне, в условиях, где реки врезаются на незначительную глубину, водосборы с поверхности сложены преимущественно глинистыми отложениями, коэффициент подземного питания рек снижается до 10% и менее.

Проведенные расчеты показали, что величина естественной разгрузки подземных вод (объем стока) в карьерный водоем в весенний паводковый период в многоводные годы весьма незначительна и вызовет подъем уровня воды в нем не более чем на 0,13 м (при 25 % обеспеченности).

Прогноз затопления карьера балансовым методом, через вероятность отклонения годового количества осадков от нормы, зависит от длительности периода затопления и выполнен по методике, приведенной в работе [1]. По характеру кривой осушения выполнен прогноз затопления карьера с учетом реального водопритока в карьер. Метод баланса рекомендуется использовать в качестве проверочного. Результаты расчетов показали, что заполнение карьера до отметки +177,5 м произойдет за 12,5 лет. Через соотношение зависимости величины вероятного отклонения количества осадков от продолжительности затопления для Кунашакского района Челябинской области установлено, что при длительности затопления 12,5 лет возможное отклонение количества осадков в сторону увеличения от среднегодовой величины (по худшему варианту) может достигать 7%, что сократит время заполнения карьера до 11,6 лет.

Превышение испарения над количеством осадков, характерное для данного региона является положительным фактором, определяющим поддержание уровня воды в карьерном озере на минимальных отметках.

Прогнозный расчет изменение химического состава воды, накапливающейся в карьере, выполнен с учетом баланса источников питания карьера. Расчеты выполнены по значению минерализации смешивающихся вод, содержанию в них сульфатов – как основных индикаторов возможных процессов окисления сульфидных минералов в нижней части разреза. Дополнительно выполнен прогноз изменения содержания в воде цинка и марганца, без учета того фактора, что содержание металлов в водах зависит от физико-химических параметров растворов, и возникающих в толще воды

процессов комплексообразования, осаждения и пр., что приводит к снижению концентраций металлов в воде. О наличии этих процессов свидетельствует низкие фактические их содержания в пробах воды, отобранных из карьерного озера, относительно расчетных.

Результаты расчета методом смешения показали, что при остановке водоотлива, рекультивации отвалов и затоплении карьерной выемки Султановского месторождения, содержания основных загрязняющих компонентов не будут превышать предельно-допустимые концентрации для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Опыт исследований химического состава затапливаемых карьеров Уральского региона (Тагильцев С.Н., 2008) показал, что при отсутствии контрастных по составу, минерализации и плотности водных масс, поступающих в карьерные выемки, наличии термического градиента и возникающего эффекта термического перемешивания, существенного расслоения горизонтов разных по составу вод в карьерах не происходит.

При самозатоплении карьера происходит уменьшение водообмена через толщу сульфидсодержащих пород, что приводит к уменьшению сульфатной составляющей в составе карьерных вод, снижению минерализации, замедлит процессы окисления, что позволит ожидать стабилизации качества карьерных вод. Небольшие уклоны естественного потока, наличие в области питания карбонатных пород, содержащих слабощелочные воды, водообильного палеоген-мелового водоносного горизонта в верхней части гидрогеологического разреза со слабощелочными водами, способствуют снижению условий окисления рудных тел. Ниже по потоку подземных вод от карьера Султановского месторождения распространены карбонатные осадочные породы – известняки. Взаимодействие с карбонатными породами повышает щелочность вод. Концентрации загрязняющих веществ и кислотность уменьшаются как в результате разбавления «чистым» стоком с области питания, так и при нейтрализующем химическом эффекте известняков.

Таким образом, в данных природно-технических условиях образованию кислых металлоносных рудных вод и загрязнению палеозойского водоносного горизонта препятствуют следующие факторы:

– наличие глинистого экрана на дне карьерной выемки;

– небольшие уклоны естественного потока подземных вод;

– уменьшение интенсивности водообмена через сульфидсодержащие породы при затоплении карьера;

– наличие геохимических барьеров, связанных с распространением в области питания и стока карбонатных пород, содержащих слабощелочные воды;

– наличие геохимических барьеров, связанных с распространением в верхней части гидрогеологического разреза водообильного палеоген-мелового водоносного горизонта, содержащего слабощелочные воды, формирование

которых связано с составом водовмещающих пород (мергели, опоки на кремнистом цементе).

Прогнозируемые масштабы загрязнения не будут превышать зону окисления, которая существовала до отработки месторождения, в связи с выемкой основных объемов рудных тел.

Таким образом, благоприятные ландшафтно-климатические и геолого-гидрогеологические условия расположения Султановского медно-колчеданного месторождения позволяют реализовать основной принцип концепции контролируемого воздействия [5], позволяющий удержать воздействие ликвидируемых рудников на природную среду на ориентировочно-прогнозируемом допустимом уровне благодаря регулирующим процессам естественного самоочищения и управляющим инженерным мероприятиям.

Список литературы

1. Гайдин А.М. Затопление карьеров // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2009. № 4. С. 371–374.
2. Елохина С.Н. Гидрогеоэкологические последствия горного техногенеза на Урале. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. 187 с.
3. Емлин Э.Ф. Активно разрабатываемое колчеданное месторождение как геотехническая система // Известия вузов. Горный журнал. 1984. № 9. С. 1–7.
4. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Издательство Уральского университета, 1991. 256 с.
5. Мироненко В.А., Румынии В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. Т. 1–3. М., 1998.
6. Оценка экологического состояния и направления рекультивации отвалов Бурибаевского ГОКа / О.М. Гуман, И.А. Антонова, А.В. Захаров, А.Б. Макаров // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 8. С. 58–61.
7. Плотников Н.И., Сыроватко М.В., Щеглов Д.И. Подземные воды рудных месторождений. М.: Металлургиздат, 1957. 614 с.
8. Рыбникова Л.С., Фельдман А.Л., Рыбников П.А. Последствия затопления медноколчеданных рудников Среднего Урала: формирование гидрогеологических условий // Проблемы недропользования: сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) М.: Издательство «Горная книга», 2011. № ОВ11. С. 459–470.

Козуб Ю.Г.[1], Котлов О.Н.[1], Хархордин И.Л.[2]

[1]АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», г. Санкт-Петербург,
[2]ООО «Геостройпроект», г. Санкт-Петербург, yulekkg@mail.ru, kozubyug@vniig.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗ ХВОСТОХРАНИЛИЩА КУРАНАХСКОЙ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ В ЯКУТИИ

Куранахская золотоизвлекательная фабрика расположена в Алданском районе (Якутия). Для складирования хвостов технологического процесса извлечения золота и осветления оборотной воды, подаваемой на технологические нужды фабрики, используется хвостохранилище. В настоящее время происходит интенсивная фильтрация воды, поступающей с пульпой, из хвостохранилища, которая перехватывается скважинами. С целью оценки техногенного влияния на окружающую среду созданы геофильтрационная и миграционная модели.

Геофильтрационная модель построена с помощью программного комплекса Visual MODFLOW Flex. Геофильтрационная модель охватывает территорию площадью 59 км^2, на глубину до абс. отм. 200 м, включает четвертичные песчано-глинистые отложения, верхнепротерозойские и нижнекембрийские трещиноватые карбонатные породы. В модели учтены режимообразующие факторы: инфильтрация, испарение, просачивание воды из прудка хвостохранилища, поверхностные водотоки (р. Б. Куранах, ручьи Свадьбалаах и Латышский), а также региональная гидрогеологическая обстановка.

Основой гидрогеологической модели служит геологическая, построенная с помощью программного продукта CREDO. При создании геологической модели использовался топографический план и база данных из 153 скважин, выделено 10 грунтовых элементов.

Миграционная модель построена на основе адаптированной геофильтрационной модели: принята однородная сетка в плане, исключены сдренированные слои, увеличена вертикальная разбивка для обводнённой части разреза.

Миграционные расчеты выполнялись с использованием свободно распространяемого программного комплекса PMWIN 5.3, позволяющего, наряду с другими программами, MODFLOW (для моделирования геофильтрации) и MT3DMS (для решения миграционных задач), подготавливать данные для расчетов и анализа результатов в графическом режиме.

Результаты работы показали, что:

1) Поток направлен от р. Большой Куранах, из чего следует, попадание вод из хвостохранилища в р. Большой Куранах возможно только путём фильтрационных потерь в нижнем бьефе низовой ограждающей дамбы и

дальнейшим стоком по старому руслу р. Латышский и по подрусловым отложениям.

2) Для перехвата загрязняющих веществ, попадающих в объединенный верхнепротерозойский и нижнекембрийский водоносный комплекс из хвостохранилища, необходимо по его контуру оборудовать 34 скважины с суммарным расходом 40 033 м^3/сут. Конструкция скважин должна обеспечивать отбор требуемого количества воды и максимально возможный перехват загрязняющих веществ.

Василевский П.Ю.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, г. Москва, valenciacf@mil.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАГОПЕРЕНОСА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Введение

В настоящее время актуальной является проблема обоснования защищенности подземных вод от различных поверхностных загрязнителей является. В данной работе рассматривается пример обоснования защищенности подземных вод на территории Даниловского кладбища в г. Москве. В настоящее время планируется расширение территории Даниловского кладбища, в связи с этим необходима оценка защищенности подземных вод. Защищенность подземных вод оценивалась по результатам сравнения времени миграции загрязнителя с глубины захоронения (2 м от поверхности земли) до уровня грунтовых вод с временем выживания микроорганизмов в подземных водах при существующих климатических условиях (400 сут). Определение параметров влагопереноса пород зоны аэрации осуществлялось экспериментально методом центрифугирования. Расчет времени миграции загрязнителя с учетом полученных параметров проводился с помощью математического моделирования в программном коде Hydrus-1D [4].

Геологическое строение

Территория кладбища расположена в пределах распространения аллювиально-флювиогляциальных и озерно-ледниковых отложений московского горизонта. Отложения представлены песками разнозернистыми с линзами гравия и гальки, супесями и суглинками. Мощность отложений составляет до 15 м [2]. Для обеспечения миграционной модели необходимыми параметрами на территории кладбища была пройдена закопушка глубиной 1 м. Местоположение кладбища и закопушки показано на рис. 1.

В закопушке был вскрыт описанный в табл. 1 разрез.

Таблица 1

Разрез закопушки на территории Даниловского кладбища

№ слоя	Глубина, см	Индекс	Литологическая характеристика
1	0–10	pQ_{IV}	Почвенный слой
2	10–70	tQ_{IV}	Насыпь: песчаный грунт с обломками кирпича и камня
3	70–100	a, $f^3Q_{IIms}{}^3$	Песок мелкозернистый

Из закопушки были отобраны образцы для определения плотности и влажности и проведения экспериментов по определению ОГХ и функции влагопроводности. При отборе образцов сохранялось природное сложение грунта. Для отбора образцов использовались режущие кольца. Отбор производился с глубины 1 м, всего было отобрано 2 образца (№ 1 и № 2). Они представляют собой аллювиально-флювиогляциальные отложения московского горизонта и представлены мелкозернистыми песками.

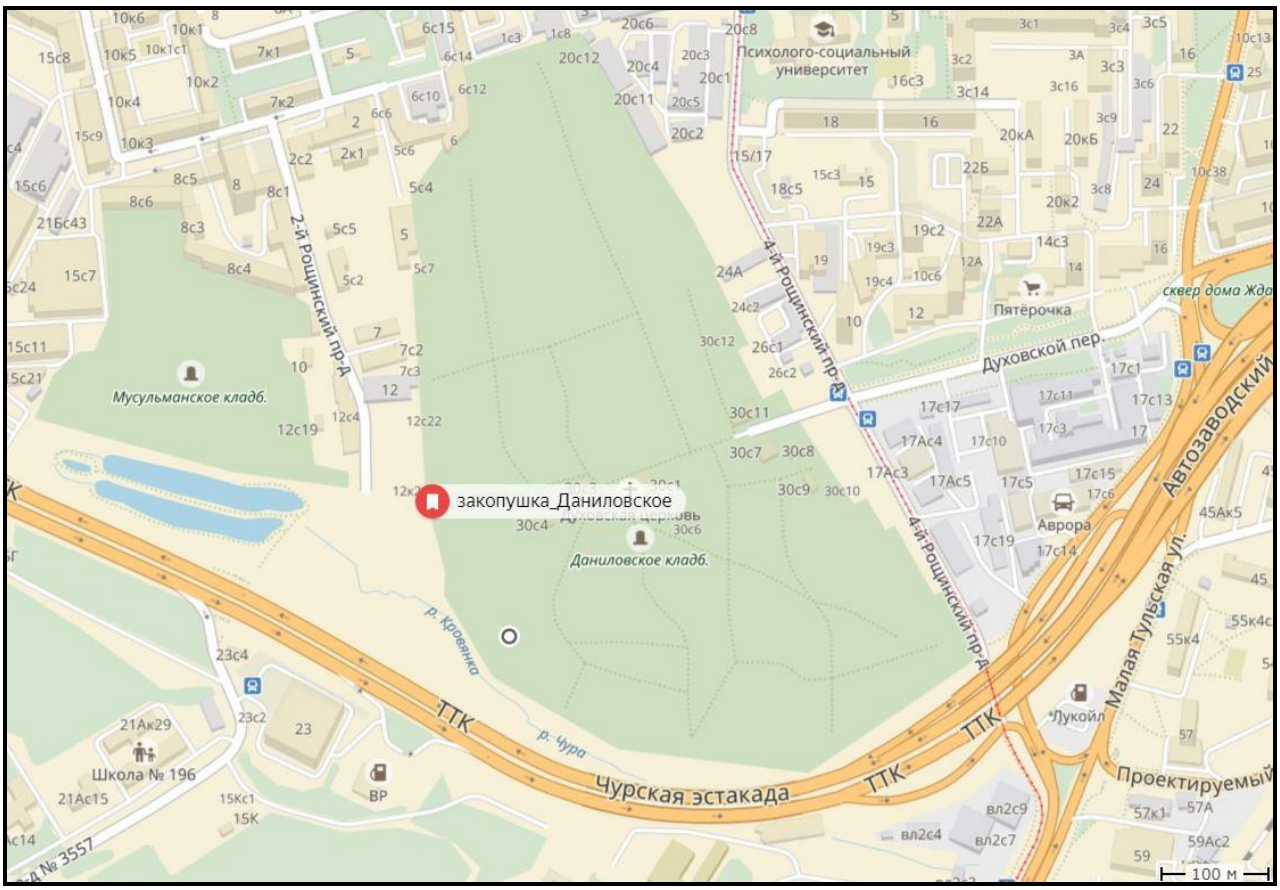


Рис. 1. Местоположение Даниловского кладбища и закопушки

Гидрогеологическое строение

На территории кладбища распространен грунтовый надъюрский водоносный горизонт, приуроченный к четвертичным аллювиально-флювиогляциальные, озерно-ледниковым отложениям московского горизонта [2]. Водовмещающими породами являются разнозернистые пески с линзами гравия и гальки, супеси. Поток подземных вод направлен от центральной части кладбища на восток и к расположенным вблизи южной и юго-восточной границы кладбища дренам: р. Кровянка и р. Чура. Глубина залегания надъюрского водоносного горизонта на территории кладбища изменяется от 4 м (в южной части кладбища) до 9 м (в центральной части кладбища), а.о. 128–134 м.

Экспериментальное определение ОГХ и функции влагопроводности

Экспериментальное определение ОГХ (зависимость всасывающего давления образца от объемной влажности) и функции влагопроводности (зависимость коэффициента фильтрации от объемной влажности) производилось методом центрифугирования на центрифуге ОПН-16. Теоретические основы метода определения ОГХ и функции влагопроводности с помощью центрифугирования изложены в [3]. Суть метода определения ОГХ на центрифуге заключается в следующем: полностью водонасыщенные образцы пород помещаются в обоймы и вращаются с большой скоростью (300-9800 об/мин). При этом образцы теряют часть влаги, а каждой скорости вращения соответствует определенная величина всасывающего давления. В результате проведения серии опытов по вращению одних и тех же образцов на разных скоростях получается набор зависимостей величины всасывающего давления от влажности. Полученные результаты для отобранных образцов приведены на рис. 2.

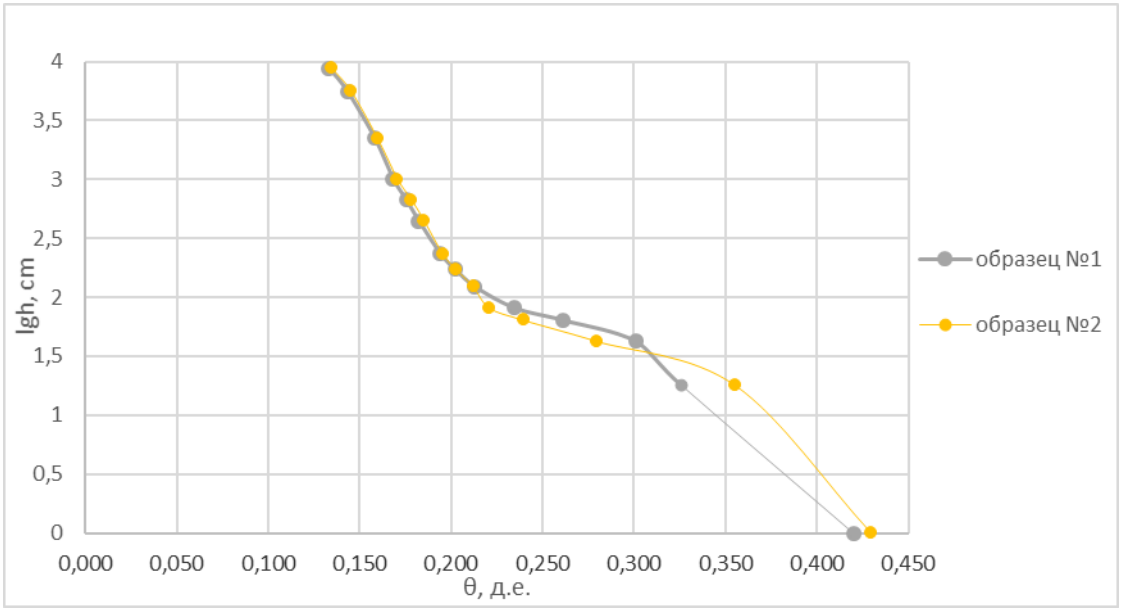


Рис. 2. ОГХ образцов из закопушки с глубины 1 м в Даниловском кладбище

При вращении образцов с постоянной скоростью по убыли объемной влажности в течение времени можно судить о влагопроводности образца. Определение функции влагопроводности производилось на скорости вращения 550 об/мин. Зависимость объемной влажности образца от времени хорошо аппроксимируется экспоненциальной функцией, в связи с чем для описания процесса выбрана релаксационная модель [1]:

$$\frac{d\theta}{dt} = k(\theta_p - \theta),$$

где θ_p – равновесная влажность, k – кинетическая константа релаксации.

Решением данной модели служит следующая зависимость:

$$\theta(t) \approx at^2 - bc + c,$$

где $c = \theta_0$; $a = 0{,}3536(\theta_0 - \theta_p)k^2$; $b = 0{,}9664(\theta_0 - \theta_p)k$.

Параметры a, b, c найдены графическим способом по экспериментальным данным (MS Excel). По найденным параметрам определены искомые величины:

$$k = 2{,}733 \cdot a/b;\ \theta_0 = c;\ \theta p = c - a/0{,}3536k^2$$

Расчетная формула коэффициента влагопроводности $K(\theta_p)$:

$$K(\theta_p) = \frac{k(\theta_0 - \theta_p)h^2 p}{100\, p_в (P_ц - P_0)},$$

где θ_0, P_0 — начальное содержание влаги и ее давление в образце; $\rho_в$ – плотность воды, г/см^3 (1 г/см^3); ρ – плотность образца в естественном сложении, г/см^3 (определялась расчетным методом); P – всасывающее давление, см; h – длина образца, см (8.8 см); k - сут$^{-1}$; $K(\theta_p)$ – см/сут.

Полученные параметры кинетики центрифугирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры кинетики центрифугирования отобранных образцов

№ образца	**k, сут$^{-1}$**	**θ_0**	**θ_p**	**$P_ц$, см**	**ρ, г/см^3**	**$K(\theta_p)$, см/сут**
1	150	0,376	0,297	17,86	1,61	0,83
2	223	0,414	0,326	17,86	1,59	1,35

Расчет параметров влагопереноса

Для моделирования процесса влагопереноса в программном коде Hydrus-1D была выбрана модель ван Генухтена-Муалема [4]. Расчет параметров уравнения ван Генухтена и коэффициента фильтрации в водонасыщенном состоянии (k_s) производился с помощью программного кода RETC [6] по данным зависимости всасывающего давления от влажности и данным о кинетике центрифугирования образцов при заданной скорости вращения. В программе задавался параметр θ_s, принятый равный пористости (определялась расчетным методом). Программа одновременно подбирала параметры α, n в уравнение ван Генухтена и параметры n и k_s в уравнение Муалема с помощью

метода наименьших квадратов. Параметр θ_r подбирался вручную. Полученные параметры приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры ван Генухтена и коэффициенты фильтрации в водонасыщенном состоянии для отобранных образцов, полученные с помощью программного кода RETC [6]

№ образца	Параметры ван Генухтена				k_s, м/сут
	a, 1/см	*n*	θ_r	θ_s	
1	0.089	1.253	0.070	0.420	0.32
2	0.062	1.251	0.070	0.430	0.39
Среднее	0.075	1.252	0.070	0.425	0.35

Строение и параметры миграционных моделей

Расчет времени миграции консервативного трассера производился с помощью одномерной модели в программном коде HYDRUS-1D [4].

Для расчетов времени миграции консервативного трассера принималось, что вскрытый закопушкой слой аллювиально-флювиогляциальных отложений (табл. 1) распространяется до уровня грунтовых вод, что подтверждается литературными данными о мощности данных отложений [2]. Предполагалось, что трассер мигрирует с глубины захоронения, которая составляет 2 м. Время миграции рассчитывалось до уровня грунтовых вод. Моделирования проводилось для двух вариантов длины пути миграции – 2 м и 7 м (в соответствии с расстоянием от глубины захоронения до уровня грунтовых вод).

Инфильтрационное питание принималось по литературным данным. Моделирование проводилось для двух вариантов величины инфильтрационного питания: в качестве нижнего предела было принято значение 80 мм/год (величина инфильтрационного питания в естественных условиях), в качестве верхнего предела – 150 мм/год (величина инфильтрационного питания для данной территории по данным [2]).

Сетка миграционных моделей задавалась с шагом 1 см. На верхней границе расчетной модели задано атмосферное граничное условие II рода с возможностью поверхностного стока. На нижней границе моделей задано граничное условие I рода (постоянный напор). Распределение давлений в профиле было принято гидростатическим. Начальное условие напора на нижней границе 0 м (соответствует давлению на поверхности уровня грунтовых вод). Начальное условие на поверхности моделей соответствует всасывающему (отрицательному) давлению. Продольная дисперсивность определялась расчетным методом [5]:

$$\alpha_L = 0.83(\lg L)^{2.414}$$

где L – расстояние миграции загрязнителя. Подстановка в данную формулу длины пути миграции (2 и 7 м) дает величины продольной дисперсивности 0,05 м и 0,55 м соответственно.

Верхнее граничное условие массопереноса было принято постоянным инфильтрующимся потоком с заданной концентрацией C = 1 mmol/m^3, нижнее граничное условие – нулевой градиент концентрации. Начальное условие внутри расчетной области – концентрация мигранта равна 0.

Результаты моделирования

Результаты моделирования для различных сценариев приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты моделирования миграции консервативного трассера в программном коде HYDRUS-1D [4]

№ Модели	**Длина пути миграции, м**	**Инфильтрационное питание, мм/год**	**Время появления трассера на нижней границе модели, сут**	**Время прихода фронта трассера (C=0.5 mmol/m^3) на нижнюю границу модели, сут**
1	2	80	1724	2849
2	2	150	952	1572
3	7	80	4065	9200
4	7	150	2282	5132

Выводы

Моделирование миграции консервативного трассера до уровня грунтовых вод было проведено для 4 вариантов строения миграционной модели. При моделировании принималась различной возможная длина пути миграции (2 и 7 м) и различная величина инфильтрационного питания (80 и 150 мм/год). Моделирование данных сценариев позволяет оценить пределы длительности миграции загрязнителя при неопределенности и изменчивости входных параметров модели. Во всех четырех сценариях время миграции загрязнителя до уровня грунтовых вод (от 952 до 4065 суток) значительно превысило время выживания микроорганизмов в данных климатических условиях (400 суток). Быстрее всего трассер мигрирует до уровня грунтовых вод в сценарии с длиной пути миграции 2 м и величиной инфильтрационного питания 150 мм/год (модель № 2), но время появления трассера на уровне грунтовых вод (952 суток) значительно превышает время выживания микроорганизмов в данных климатических условиях (400 сут). Полученные данные свидетельствуют о том, что существующее кладбище не оказывает негативного влияния на качество подземных вод надъюрского водоносного горизонта.

Полученные с помощью метода центрифугирования параметры влагопереноса для двух отобранных образцов похожи между собой, что позволяет утверждать о воспроизводимости результатов данного метода. В отличие от классических методов определения гидрофизических свойств (тензометрии, капилляриметрии) определение ОГХ с помощью центрифугирования производится в широком диапазоне варьирования влажности образца (от влажности полной влагоемкости до влажности максимальной гигроскопичности) [1], что позволяет получить параметры влагопереноса с большей достоверностью. Метод центрифугирования может быть рекомендован для определения параметров влагопереноса при решении практических задач по обоснованию защищенности подземных вод и оценке инфильтрационного питания.

Список литературы

1. Болотов А.Г. Гидротермическое состояние почв юго-востока Западной Сибири: дисс. … докт. биол. наук. Барнаул, 2016.
2. Медведев О.П., Осипов В.И. Москва. Геология и город. М.: «Московские учебники и картолитография», 1997. 399 с.
3. Смагин А.В., Садовникова Н.В., Мизури Маауиа Бен Али. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования // Почвоведение. 1998. № 11. С. 1362–1370.
4. Hydrus-1D Manual version 4.17, 2013. Department of environmental sciences, University of California, Riverside, California, 2013.
5. Fetter C.W. Contaminant hydrogeology. Second Edition. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 500 p.
6. Van Genuchten M.Th., Leij F.J., Yates S.R. The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. Riverside: U.S. Department of Agriculture, 1991.

Трофимова Ю.В.[1], Свительман В.С.[2], Расторгуев А.В.[1]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии,
г. Москва, tyv1607@gmail.com
[2]ИБРАЭ РАН, г. Москва

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА

В практической деятельности часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда загрязнение подземных вод определяется в откачивающих или наблюдательных скважинах, а положение источника загрязнения точно неизвестно. Примером такой ситуации является загрязнение подземных вод хлорорганическими соединениями в Подольском районе Московской области.

Решение задач, позволяющих определить источники загрязнения, их местоположение и характеристики, имеет важное значение для дальнейшего контроля распространения загрязнения, разработки схем реабилитации территорий и играет определяющую роль в вопросах возложения ответственности.

Определение источника загрязнения может быть проведено при использовании данных мониторинга. Исходными характеристиками источников загрязнения, которые должны быть определены, являются: пространственное расположение источников, продолжительность и скорость поступления загрязняющих веществ в подземные воды, а также концентрация загрязняющего вещества в источнике.

Задачи определения источников загрязнения и их характеристик являются некорректными обратными задачами, для их решения используется ряд методов, которые подразделяют на прямые, вероятностные и геостатистические, аналитические методы и методы оптимизации.

В настоящей работе для решения задачи определения источника загрязнения использовался оптимизационный подход, который объединяет геофильтрационное и геомиграционное моделирование с методами оптимизации. В таком подходе выбранный оптимизационный алгоритм итерационно меняет конфигурацию неизвестных входных параметров, для каждого из которых запускается расчет значений в точках наблюдения, и вычисляется целевая функция, задающая отличие между наблюденными и расчетными значениями (как правило, в виде взвешенной суммы квадратов разностей) (рис. 1). Процедура оптимизации состоит в минимизации полученной целевой функции. Среди преимуществ описанной методики можно отметить то, что геомиграционная модель любой сложности может быть связана с моделью оптимизации.

Рис. 1. Оптимизационный подход

В приведенном ниже примере геофильтрационная модель была реализована в программе MODFLOW [2]. Данная программа численно решает уравнение для потока подземных вод в пористых средах с использованием метода конечных разностей. Дифференциальное уравнение в частных производных имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)+W=S_s\frac{\partial h}{\partial t}$$

где, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} – коэффициент фильтрации вдоль оси координат x, y, z, соответственно, [L/T]; h –напор, [L]; W – поток на единицу объема, представляющий источники и стоки, [T^{-1}]; S_s – упругая емкость, [L^{-1}]; t – время, [T].

Моделирование переноса загрязняющих веществ в потоке подземных вод проводилось в программе MT3DMS, которая позволяет решать дифференциальное уравнение переноса в частных производных [3]:

$$\frac{\partial(nC)}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(nD_{ij}\frac{\partial C}{\partial x_i}\right)-\frac{\partial}{\partial x_i}(n\vartheta_i C)+q_sC_s+\sum R_k$$

где, C – концентрация растворенного вещества, [ML^{-3}]; n – пористость, [-]; t – время, [T]; x_i – расстояние вдоль координаты x, [L]; D_{ij} – тензор коэффициента гидродинамической дисперсии, [L^2T^{-1}]; ϑ_i – скорость потока, [LT^{-1}]; q_s –расход потока на единицу объема водоносного горизонта, [T^{-1}]; C_s – концентрация в источнике, [ML^{-3}]; R_k –химические реакции, [$ML^{-3}T^{-1}$].

Для решения оптимизационной задачи использовался программный комплекс OSTRICH [4], который реализует многочисленные независимые от модели алгоритмы оптимизации и калибровки (более 25). В настоящей работе рассмотрен один из них, а именно алгоритм Particle Swarm (метод роя частиц), который демонстрирует хорошие результаты.

Метод роя частиц относится к методам, имитирующим биологические процессы, и основывается на поведении стаи птиц в природе, летящей в многомерном пространстве в поисках некоторого оптимального места (оптимума). Алгоритм моделирует частицы, каждая из частиц имеет собственную скорость и положение, которые случайным образом определяются в начале. Каждая частица придерживается местной лучшей позиции и глобального лучшего положения среди всех частиц [3]. Итерационный процесс метода роя частиц продолжается до тех пор, пока не будет выполнен критерий остановки. Такими критериями, например, могут быть достижение предельного числа итераций, достижение определенного значения целевой функции, сходимость алгоритма [1].

Для оценки применимости метода было проведено решение гипотетической задачи – тестового примера. В качестве тестового примера рассматривалась задача определения источника загрязнения однородного напорного водоносного горизонта. Также при решении задачи определялись концентрация и скорость поступления загрязняющего вещества в водоносный горизонт. Предполагалось, что загрязняющее вещество являлось консервативным, то есть не сорбировалось и не разлагалось.

Область исследования представляла собой прямоугольный участок 1100×880 м. Плановая дискретизация расчетной области была принята равномерной, размер ячеек 50×50 м, общее количество ячеек 22×16. Северная и южная границы моделируемой области приняты непроницаемыми, на них было задано граничное условие второго рода. Поток подземных вод в рассматриваемой задаче направлен с запада на восток. На западной и восточной границе было задано условие первого рода – постоянный напор (15 и 10 м, соответственно). Значения параметров, используемых при моделировании, приведено в табл. 1.

Таблица 1

Параметры модели

Параметр	**Значение**
Длина модельной области	1100 м
Ширина модельной области	880 м
Мощность водоносного горизонта	10 м
Коэффициент фильтрации	5 м/сут
Пористость	0,2
Продольная дисперсивность	50 м
Общее время моделирования	15 л
Длина периода	1 год

В тестовом примере предполагалось, что истинное положение источника загрязнения в точке с координатами (225; 375) м. Первое число в скобке – это целочисленная координата x, второе – y. Поток загрязняющего вещества, поступающего из источника, принимался постоянным в течение времени моделирования и составил 10 $м^3$/сут в течение 15 л, концентрация загрязняющего вещества – 100 мг/л.

В пределах исследуемой области было расположено 5 наблюдательных скважин. Это скважины obs1 (525; 275) м, obs2 (525; 375) м, obs3 (525; 475) м, obs4 (725; 275) м и obs5 (725; 475) м. На рис. 2 показана схема модельной области.

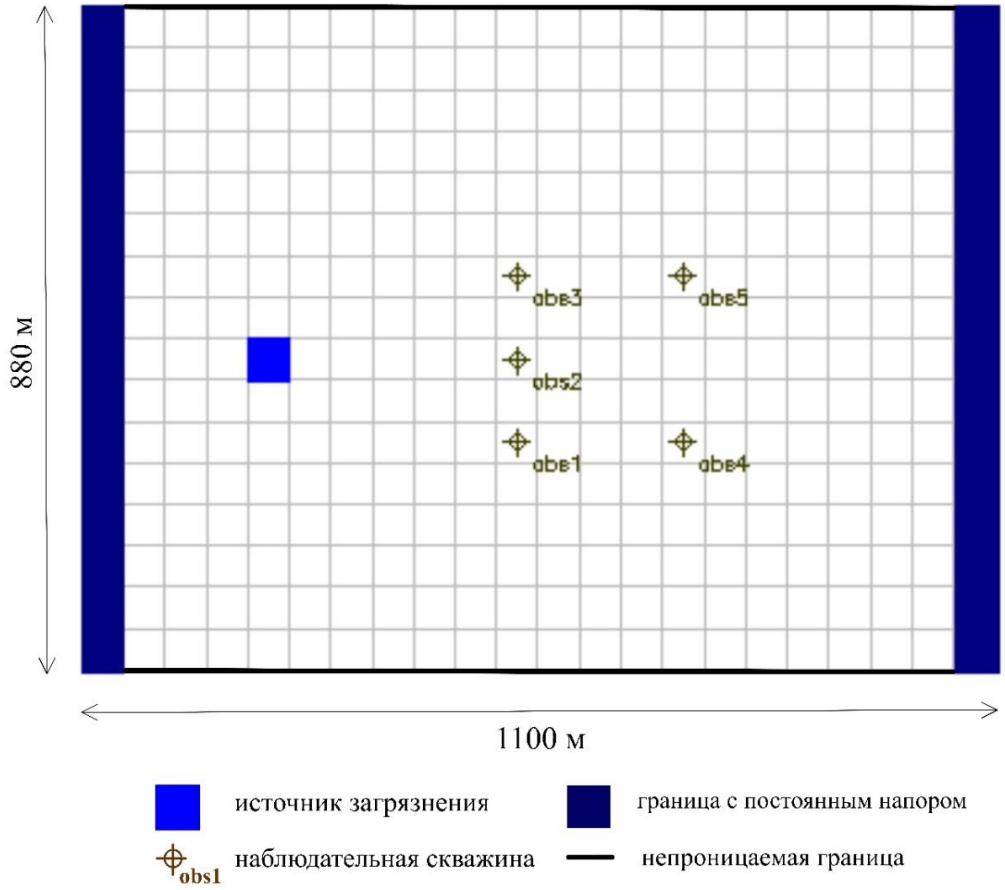


Рис. 2. Схема модельной области

В качестве наблюденных значений концентраций загрязняющего вещества принимались результаты расчетов миграции при указанных выше положении и интенсивности источника.

Далее источник загрязнения не рассматривался как заданный, а определялся оптимизационными методами.

Значения параметров, используемых в методе роя частиц, приведены в табл. 2. Сопоставление истинных и рассчитанных значений представлено в табл. 3.

Таблица 2

Параметры, используемые в оптимизационном алгоритме

Параметр	**Значение**
Размер роя	16
Количество поколений	50
Фактор сжатия	1,0
Когнитивный параметр	4,0
Социальный параметр	2,0
Вес инерции	1
Скорость снижения инерции	линейное восстановление до нуля
Метод начальной популяции	случайный
Значение конвергенции	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3

Решение задачи определения источника загрязнения

Параметр	**Истинное значение**	**Рассчитанное значение**
Положение источника	(225; 375)	(225; 375)
Концентрация	100 мг/л	99,43 мг/л
Расход	10 $м^3$/сут	10,05 $м^3$/сут
Целевая функция (метод наименьших квадратов)		0,006

Таким образом, на примере решения тестовой задачи было показано возможность использования оптимизационного алгоритма для определения положения источника, концентрации загрязняющего вещества в источнике и скорости поступления загрязняющего вещества в водоносный горизонт.

Список литературы

1. Блок И.Н. О способе унификации программно-алгоритмической модели многоагентных методов оптимизации на примере метода роя частиц. Молодой ученый. 2014. № 16. С. 45–49.
2. Harbaugh A.W. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model – the Ground-Water Flow Process // U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, 2005.
3. Imran M., Hashim R., Abd Khalid N.E. An Overview of Partical Swarm Optimization Variants // Procedia Engineering. 2012. № 53. P. 491–496.
4. Matott L.Sh. OSTRICH – An Optimization Software Toolkit for Research Involving Computational Heuristics. Documentation and User's Guide. 77 p.
5. Zheng C., Wang P.P. MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multi-Species Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems // US Army Engineer Research and Development Center Contract Report SERDP-99-1, 1999.

Батрак Г.И.

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, gib74@mail.ru

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ШАХТ И СВИДЕТЕЛЬСТВУЮЩИЕ О РАЗВИТИИ НЕГАТИВНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ликвидация шахт путем затопления является одним из основных способов их консервации. При этом через несколько лет после начала затопления в приречных областях наблюдается превышение напора шахтных вод над поверхностью земли. Это приводит к разгрузке шахтных вод через вертикальные горные выработки, выходящие на поверхность земли (основные и вспомогательные стволы, вентиляционные шахты), наблюдательные скважины мониторинга и через выше лежащие горные породы особенно через фильтрационные окна в случае их наличия.

На выработанное шахтное пространство и выше лежащие водоносные горизонты, как правило, организуется гидрогеологический мониторинг, который должен позволять отслеживать негативные экзогенные процессы, связанные и изменением напоров подземных вод. Однако мониторинг не может быть организован на все водоносные горизонты по всей площади шахтного пространства ввиду большой, как правило, площади исследований. В этой связи ценным становится возможность выявить развитие негативных процессов по различным характерным проявлениям режима подземных вод. Анализ был проведен на основе данных комплексного мониторинга затапливаемых шахт в г. Сланцы.

Основными выявленными закономерностями, которые являются общими для исследованных участков, являются:

1. Переход в фазе затопления шахты от искусственного режима к сильно нарушенному. Под искусственным режимом мы понимаем, согласно Е.С. Дзекцеру, режим подземных вод, который полностью формируется под влиянием искусственных факторов. Так как при эксплуатации шахты строго поддерживается требуемая глубина осушения, то режим не зависит от природных факторов и является искусственным. После прекращения работы водопонизительных установок колебания подземных вод начинают происходить в соответствии с природными циклами, однако, во-первых, многие из этих циклов существенно преобразованы техногенезом, а, во-вторых, природные условия больше не являются неизменными, они существенно изменяются на всех этапах развития системы подземных выработок, в том числе, и на этапе ликвидации. Из этого следует вторая закономерность.

2. Режим подземных вод затапливаемых шахт формируется при постоянном изменении параметров, которые при формировании природных режимов, являются неизменными. Это, в первую очередь, границы водоносных

горизонтов и фильтрационные параметры, которые изменяются под влиянием разрушения целиков между лавами и проседания кровли лав при затоплении шахт. В отдельных случаях это приводит к формированию фильтрационных окон над зоной выработки и изменению гидродинамической связи с выше лежащими водоносными горизонтами.

Важную роль в нарушении взаимосвязи между водоносными горизонтами играют многочисленные вертикальные шахты, порой имеющие значительные до 10–12 м размеры в диаметре. Вокруг них формируются депрессии в приповерхностных водоносных горизонтах. В выработанном пространстве могут, хотя и не всегда, формироваться купола растекания. Это подтверждается наблюдениями, показывающими, что в стволах шахт подъем уровня в выработанном пространстве идет наиболее интенсивно (рис. 1).

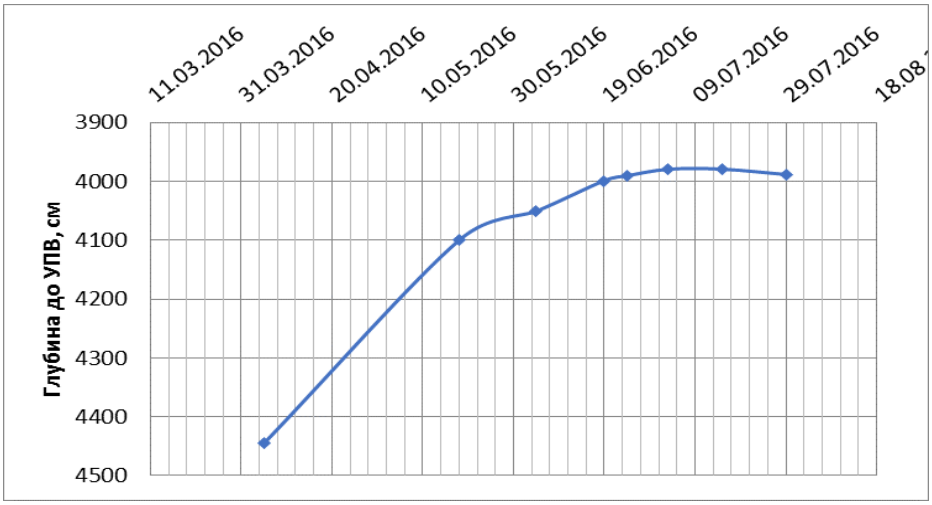


Рис. 1. Режим шахтных вод во вспомогательном стволе шахты им. Кирова (в настоящее время наблюдения прекращены в связи с обрушением клети)

В процессе затопления шахт идет фрагментация водоносного горизонта выработанного пространства за счет разрушения целиков и кровли. Это приводит к затруднению гидродинамической связи между отдельными участками и проявляется в разных скоростях подъема и разных уровнях УПВ при затоплении.

3. Нарушенная вертикальная разность напоров между лежащими выше выработанного пространства водоносными горизонтами приводит к сложному сильно нарушенному типу режима, который можно назвать «компенсационным». Его суть состоит в том, что на стадии отработки шахт и при начале их затопления происходит инверсия перетока в некоторых горизонтах, особенно, в зонах разгрузки около крупных рек. Эта инверсия приводит к тому, что ускоряется процесс затопления шахт. На водоразделах инверсии потока не происходит, но наблюдается интенсификация перетекания вниз за счет увеличения градиентов напора. По окончании затопления шахт будет происходить обратная инверсия, и перетекание будет осуществляться в

естественном направлении, однако, за счет значительно возросших фильтрационных свойств и сформировавшихся за счет обрушения кровли фильтрационных окон расходы перетекания и разгрузки в реку загрязненных шахтных вод будут возрастать. При компенсационном режиме скорость подъема уровня меняется нелинейно. Это связано с задействованием все новых объемов выработанного пространства, обладающих разной емкостью. Особо сильно это сказывается при перетоке на определенных уровнях в выработанное пространство соседних шахт.

4. Стадию режима подземных вод, протекающую во время заполнения шахт водой, будем называть «реактивной». Это стадия, когда техногенез в составе ПТС больше не является фактором происходящих изменений, но причиненные геологической среде деформации бесследно не проходят. Природная среда пытается компенсировать нарушения сложившегося баланса.

5. В реактивной фазе поднимающийся уровень подземных вод приводит к активизации негативных экзогенных процессов. Замачивание целиков между лавами приводит к их разрушению и оседанию кровли, которое ведет к вытеснению в выше лежащие водоносные горизонты и в конечном итоге на поверхность рудничных газов, которые могут оказаться смертельными при вдыхании. Активные процессы окисления приводят к удалению свободного кислорода из смеси газов. Эти процессы можно зафиксировать при газовом мониторинге. При их концентрации в понижениях рельефа и подвалах может наступить удушье. Разрушение целостности горных пород при замачивании может приводить к провалам и оседаниям поверхности земли.

Выход подземных вод на поверхность говорит не только о заполнении водой всего шахтного поля, но и о формировании значительного избыточного напора над кровлей выработанного пространства. Так как уровни подземных вод первых от поверхности водоносных горизонтов имеют напор ниже поверхности земли, то формируется обратная вертикальная зональность напоров, т.е. вода из шахтного пространства за счет разности гидравлических градиентов перетекает в выше лежащие водоносные горизонты. В местах обрушения кровли шахт это перетекание идет наиболее интенсивно. Смешение подземных вод горизонтов, из которых осуществляется питьевое.

Филимонова Е.А.[1,2], Погудин М.Д.[2], Атаманец Л.В.[2]

[1]МГУим. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, г. Москва, hydro@geol.msu.ru
[2]АО «МОСГИПРОТРАНС», отдел гидрогеологии, г. Москва, mosgiprotrans@bk.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ МОСКВА–КАЗАНЬ

Актуальность развития высокоскоростного железнодорожного сообщения бесспорна, поскольку экономико-географическое взаимодействие регионов Российской Федерации требует быстрого и качественного сообщения между городами, расположенными на расстояниях средней дальности. Мировой опыт свидетельствует, что скоростные поезда успешно конкурируют с авиаперевозчиками на расстоянии 300–1000 км и продолжительности пути не более 5 часов, именно в такой диапазон расстояний была запроектирована первая в РФ высокоскоростная железнодорожная магистраль (ВСМ) Москва-Казань.

Высокоскоростным называется железнодорожный транспорт, обеспечивающий маршрутную скорость свыше 250 км/ч по международной классификации, и свыше 200 км/ч – по российским стандартам [1]. Движение таких поездов, как правило, осуществляется по специально сооруженной высокоскоростной железнодорожной магистрали.

Первое регулярное движение высокоскоростных поездов началось в 1964 г. в Японии, соединив города Токио и Осака. Протяжённость трассы составляла 515,4 км, а максимальная допустимая скорость поездов 210 км/ч. В 1981 г. ВСМ была создана во Франции между Парижем и Лионом, с 1984 года в Италии стало возможным проехать 254 км от Рима до Флоренции за полтора часа [2]. Вскоре и большая часть западной Европы, включая Великобританию, оказалась объединена в единую высокоскоростную железнодорожную сеть. Бурное развитие проекты ВСМ получили и в Азии – в Китае, Южной Корее, Японии. На сегодняшний день в Китае, например, уже построено свыше 16,5 тыс. км высокоскоростных магистралей (это более половины от общей протяженности ВСМ в мире (табл. 1)). Современные высокоскоростные поезда в эксплуатации развивают скорости 200–400 км/ч (в 1990 году во Франции поезд серии TGV поставил мировой рекорд скорости – 515 км/ч) [5].

В Советском союзе впервые идея проектирования ВСМ между Москвой и Крымом обсуждалась в 1987 г. В 1989 году Совет Министров СССР постановил построить ВСМ из Москвы в Сочи к 2005 году с расчетным временем в пути семь часов три минуты [2]. Однако эти проекты не были реализованы.

В 2009 г. ОАО «РЖД» запустило на линии Санкт-Петербург–Москва и Москва–Нижний Новгород скоростные поезда «Сапсан», а чуть позже – скоростной поезд Allegro, связывающий Санкт-Петербург с Хельсинки. «Сапсан», хоть и развивает на ряде участков максимальную скорость в 250

км/ч, но в целом маршрутная скорость оказывается ниже 200 км/ч, что связано с движением по существующим железнодорожным линиям.

Таблица 1

Протяженность высокоскоростных железнодорожных магистралей в мире

Страна	В эксплуатации (км)	На стадии строительства (км)	Общая (км)
Китай	19366,8	16280	35269,8
Испания	3100	1800	4900
Япония	2664	782	3446
Франция	2036	757	2793
Германия	1334	428	1762
Италия	923	125	1048
США	362	483	845

В 2007 г ОАО «РЖД» разработало «Стратегию развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» [3], в которой первоочередная роль отводится развитию скоростного и высокоскоростного сообщения. В рамках организации высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации предусмотрена реализация 20-ти проектов, включающие 50 скоростных маршрутов общей протяженностью более 7 тыс. км.

27 мая 2013 года на совещании о перспективах развития высокоскоростного железнодорожного сообщения в Сочи Президент РФ В.В. Путин объявил о решении построить первую в России ВСМ Москва-Казань с возможностью продления до Екатеринбурга.

В 2014 году выполнены работы по подготовке обоснований инвестиций в строительство высокоскоростных железнодорожных магистралей «Москва-Ростов-на-Дону-Адлер» (ВСМ 1), «Москва-Казань-Екатеринбург» (ВСМ 2). В ходе работ, выполнен сбор и анализ фондовых материалов, получены экспертные заключения на проектируемые объекты.

В июне 2015 года на Петербургском международном экономическом форуме ОАО «Скоростные магистрали» и консорциум проектировщиков во главе с АО «Мосгипротранс» при участии ОАО «Нижегородметропроект» и China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd подписали договор на разработку проектной документации.

Первым этапом в реализации проекта является проектирование участка Москва-Казань, который пройдет по территории 7 субъектов Российской Федерации: Москва и Московская область, Владимирская и Нижегородская области, Чувашская Республика, Республика Марий Эл и Республика Татарстан. Протяженность ВСМ Москва-Казань составляет 790 км с остановками в 16-ти населенных пунктах разной величины. Эксплуатационная скорость движения поездов по трассе составит до 360 км/ч.

В июне 2015 г. отдел гидрогеологии АО «Мосгипротранс» под руководством Л.В. Атаманца приступил к выполнению гидрогеологических работ в составе инженерных изысканий для целей водоснабжения проектируемых станций участка строительства ВСМ Москва–Казань. Работы по поиску и разведке с оценкой запасов подземных вод были проведены АО «Мосгипротранс» для двенадцати проектируемых станций: Ногинск, Орехово-Зуево, Петушки, Владимир, Ковров, Гороховец, Дзержинск, Кстово, Нива, Полянки, Чебоксары и Помары.

Заявленная потребность в воде составляет 510 $м^3$/сут для хозяйственно-питьевого и технологического водоснабжения каждой из проектируемых железнодорожных станций.

Основными задачами при гидрогеологических исследованиях были:

– уточнение геологического строения и гидрогеологических условий района и участка работ;

– определение гидрогеологических параметров целевых водоносных горизонтов по результатам опытно-фильтрационных работ;

– оценка санитарного состояния участка недр водозабора и прилегающей территории и возможности организации зоны санитарной охраны;

– изучение и оценка качества подземных вод, определение необходимости водоподготовки;

– оценка запасов подземных вод;

– разработка рекомендаций по эксплуатации водозабора и ведению мониторинга подземных вод.

Выполнение поставленных задач проводилось в несколько этапов, включающих проведение комплекса полевых, лабораторных и камеральных работ, а также получение необходимой разрешительной документации. На первом (предполевом) этапе проводился сбор и анализ фондовых и архивных материалов по геологическому строению, гидрогеологическим и геоэкологическим условиям района проектируемой станции ВСМ, оформлялась лицензия на геологическое изучение недр, разрабатывался проект на поисково-оценочные работы на подземные воды, который затем согласовывался в ФБУ «Росгеолэкспертиза». На следующем этапе проводился стандартный комплекс полевых работ при геологическом изучении недр для целей водоснабжения, который включал в себя рекогносцировочное гидрогеологическое и санитарное обследование территории, бурение разведочных скважин, геофизические исследования и опытно-фильтрационные работы (ОФР) в разведочных скважинах, гидрогеохимическое опробование подземных вод целевых водоносных комплексов, режимные наблюдения.

Следующим этапом гидрогеологических исследований была камеральная обработка материалов полевых работ: составление журналов обследования, геологического описания скважин, составление колонок и паспортов скважин, гидрогеологических разрезов, обработка ОФР, построение графиков откачек, расчет фильтрационных параметров, составление сводных таблиц анализов,

построение графиков режимных наблюдений и т.д. Кроме этого получались экспертные заключения органов санитарного надзора на качество воды из разведочных скважин на соответствие СанПиН 2.1.4.1074-01 [3], решался вопрос о необходимости водоподготовки.

Далее производился расчет зон санитарной охраны (ЗСО) и получение экспертных заключений на ЗСО. По результатам камеральных работ с учетом проектных решений строительства и заключений Роспотребнадзора составляется Отчет с подсчетом запасов по данному участку недр. Подсчитанные запасы подземных вод рассматривались в государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) и утверждались в Федеральном агентстве по недропользованию «Роснедра».

Объективная сложность проведения гидрогеологических изысканий обусловлена следующими факторами:

1. Сжатые сроки выполнения изысканий и проектирования, на все работы выделено 2,5 года.

2. Получение лицензий, согласование проектов и выдача разрешительной документации растягивается во времени с учётом существующих регламентов госучереждений, среднее время согласования на один объект составляет 1–1,5 года.

3. Положение трассы со станциями корректировалось в процессе проектирования, при этом учитывая первые два фактора, работы по получению разрешений и проведению изысканий не откладываются до момента окончательного закрепления объектов. Изменение положения станции ведет к изменению положения водозабора, соответственно к оформлению новой разрешительной документации и новым изысканиям.

4. Протяженность проектируемой трассы составляет 790 км, 12 площадок геологического изучения расположены на значительном удалении друг от друга и имеют индивидуальные гидрогеологические условия, соответственно каждый раз требуется отдельный подход к проведению изысканий.

5. В территорию изучения попадает 3 артезианских бассейна: Московский артезианский, Волго-Сурский, Камско-Вятский. Опробованы гидрогеологические горизонты возрастом от нижнепермских до верхнего карбона и неоген-четвертичных отложений.

6. При удалении от Центрального региона отчетливо наблюдается уменьшение объёмов и качества геологической изученности территории.

Бурение проектных скважин проводилось вращательно-роторным способом с прямой промывкой ствола скважины буровыми станками УРБ-2А-2 и БА-15-В. При бурении максимальная глубина скважин составила 133 м (ст. Владимир ВСМ).

При необходимости проводилась доразведка подземных вод на дополнительных площадках. В результате для каждой проектируемой станции было пробурено от 3 до 6 разведочных скважин. Различное количество разведочных скважин обусловлено техническими или природными причинами.

Например, для станции Полянки ВСМ необходимость геологического доизучения обусловлена переносом проектируемой станции из Воротынского района Нижегородской области в Чувашскую Республику на 16 км. В другом случае, увеличение числа площадок связано с низкой водообильностью отложений или неудовлетворительным качеством подземных вод. В случае поисково-оценочных работ для станции Кстово ВСМ и Владимир ВСМ, возникла необходимость проектирования двух ВЗУ - раздельно для технических и хозяйственно-питьевых нужд. Данное проектное решение обусловлено ограниченностью распространения пресных подземных вод только на водораздельных участках и близким расположением к поверхности минерализованных подземных.

Комплекс геофизических исследований (ГИС) выполнялся компанией ООО «Эковод» во всех разведочных скважинах с целью уточнения геологического разреза, изменения минерализации по глубине и определения наиболее водообильных зон. Комплекс ГИС включал в себя следующие виды каротажа: гамма-каротаж, кавернометрия, электрокаротаж КС, резистивиметрия.

Опытно-фильтрационные работы являются основным видом гидрогеологических исследований при выполнении поисковых работ на подземные воды. Они проводятся для предварительной оценки водообильности изучаемых водоносных горизонтов, прогнозной производительности скважин, установления качественного состава воды из скважин. Результаты ОФР используются для оценки запасов подземных вод.

Опытно-фильтрационные работы включали опытные откачки с последующим восстановлением уровня. Для проведения откачки использовался насос марки SAERNS-96-C/20, замер динамического уровня производился уровнемером тензометрическим УрТ-06 компании ООО «НТЦ Гидромет», дебит откачки измерялся мерным способом. Оценка гидрогеодинамических параметров выполнялась с использованием вычислительного программного комплекса TEIS_3 (Р.С. Штенгелов, МГУ им. М.В. Ломоносова, гос. регистрация в федеральном Реестре программ для ЭВМ № 2009611413 12.03.2009 г.).

По результатам опытно-фильтрационных работ выбиралась перспективная площадка для размещения проектируемого ВЗУ и обосновывался выбор целевого водоносного горизонта. Например, при проведении изысканий для водоснабжения станции Помары ВСМ получено, что водовмещающие отложения неоген-четвертичного комплекса имеют пестрый литологический состав, коэффициент фильтрации существенно изменяется в пределах изысканий от 1,0 до 12,6 м/сут, удельный дебит скважин варьирует от 0,08 л/с·м до 0,65 л/с·м.

В конце опытно-фильтрационных работ отбирались пробы воды на соответствие гигиеническим нормативам по органолептическим, микробиологическим, радиационным показателям и химическому составу.

Лабораторные работы по определению качества воды проводились лабораторией филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Московской области г. Мытищи», лабораторией «Аккредитованный Главный контрольно-испытательный центр питьевой воды (ЗАО «ГИЦ ПВ»)» и производственной грунтово-химической лабораторией АО «Мосгипротранс».

Некоторые проектируемые станции расположены в условиях сложной геохимической зональности, имеющую и плановую и вертикальную составляющие, например, Кстово ВСМ, Полянки ВСМ, Нива ВСМ. Так, при геохимическом опробовании территории расположения проектируемой станции Кстово ВСМ было отобрано 36 проб для изучения химического состава подземных и поверхностных вод. Единственным вариантом удовлетворения заявленной потребности стало разделения технического и питьевого водозаборов, как указывалось выше.

В районе станции Нива ВСМ выявлена разгрузка минерализованных вод нижнепермских отложений, что потребовало изучения распространения границы пресных и минерализованных подземных вод района работ для выбора оптимального положения, и структуры водозабора.

Станция Полянка ВСМ расположена также в сложных гидрогеохимических условиях, в 2 км от русла р. Суры, в долине которой происходит разгрузка высокоминерализованных подземных вод казанского водоносного комплекса. Результаты химического опробования подземных вод из целевого водоносного горизонта вовремя и после опытных работ показали постоянство химического состава, однако, при длительной эксплуатации возможно подтягивание нижележащих минерализованных вод. Вследствие данного прогноза в проект водозабора заложено устройство водоподготовки.

По результатам проведения гидрогеологических изысканий запроектированы водозаборы на 12 станциях высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва-Казань». Изыскания выполнены собственными силами сотрудников АО «Мосгипротранс» в беспрерывном режиме на протяжении 18 месяцев. Проектная документация в настоящее время проходит экспертизу в ФАУ «Главгосэкспертиза России». По этапу ст. Железнодорожная–ст. Владимир ВСМ, в который входят ст. Ногинск ВСМ, ст. Орехово-Зуево ВСМ, ст. Петушки ВСМ, ст. Владимир ВСМ, получено положительное заключение.

Список литературы

1. Карасёва А.А., Васильева М.А. Анализ мирового опыта развития высокоскоростного железнодорожного транспорта // Молодой ученый. 2016. № 6. С. 114–117.
2. Ленский И. Железные дороги: будущее за скоростями // Большая Москва. 2015. № 28 (59).

3. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения».
4. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. М., 2007. 70 с. прил.
5. АО «Скоростные магистрали»: официальный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hsrail.ru.

Царев М.А.

г. Москва, domikes@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ ОДИНОЧНОЙ ОТКАЧКИ ЧЕРЕЗ ЗАБОЙ СКВАЖИНЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Введение

Изучение проницаемости водоносных отложений при инженерно-геологических изысканиях часто сводится к предварительной оценке проводимости и коэффициента фильтрации. Изучение проводимости чаще всего производят методом одиночной откачки из скважины, оборудованной фильтровой колонной. Такие опыты при должном техническом оснащении (качество и идентичность используемых фильтров в скважинах, устройство обсыпки фильтра) и надлежащей профессиональной подготовке исполнителей, дают вполне приемлемые результаты. Опытные данные пригодные для оценки параметров встречаются крайне редко. Основной недостаток одиночных откачек – кольматация прифильтровой зоны, способная сильно затруднить интерпретацию результатов. Благодаря дешевизне популярен метод экспресс-откачки (экспресс-налива). Известно [4], что кольматация при экспресс-опытах приводит к нарушению предпосылки линейной связи между притоком к скважине и понижением, что делает невозможным применение простых методов расчета.

Автор заинтересован в использовании методически и экономически выверенного подхода к изучению проницаемости на типовых участках строительства. Опубликованный метод оценки коэффициента фильтрации откачкой через забой скважины [1] прост в производстве и предполагает использование для обработки начального периода, который ранее воспринимался осложненным влиянием ёмкости скважины. Откачка в скважине без фильтра, является недавно разработанным методом, поэтому автор ставит целью его испытание.

В этой статье изложены результаты оценки коэффициента фильтрации методом откачки через забой скважины. Параллельно с этим изучена проницаемость по данным откачки из скважины с фильтром, выполнена попытка охарактеризовать вертикальное распределение коэффициента фильтрации с привлечением лабораторных данных. С помощью численного моделирования выполнен анализ опытов, затронут вопрос − может ли быть полезным использование проводимости и коэффициента фильтрации по одиночным откачкам из скважины при проектировании.

Оценка проницаемости методом одиночной откачки из скважины с фильтром

Исследуемый участок расположен в городе Москве и является территорией объекта проектируемого строительства. Водовмещающие отложения водоносного горизонта представлены тремя слоями с различной проницаемостью (рис. 1). Значения коэффициента фильтрации оценены лабораторным способом [4] для грубой оценки вертикальной изменчивости проницаемости. На изучаемой территории, разрез является относительно выдержанным и не характеризуется неоднородностью, способной значительно повлиять на ход опыта. Одиночная откачка с постоянным расходом длительностью 360 минут и восстановление длительностью 66 минут проведены в скважине с фильтровой колонной. диаметра 108 мм, имеющий двухметровый сетчатый фильтр (рис. 1).

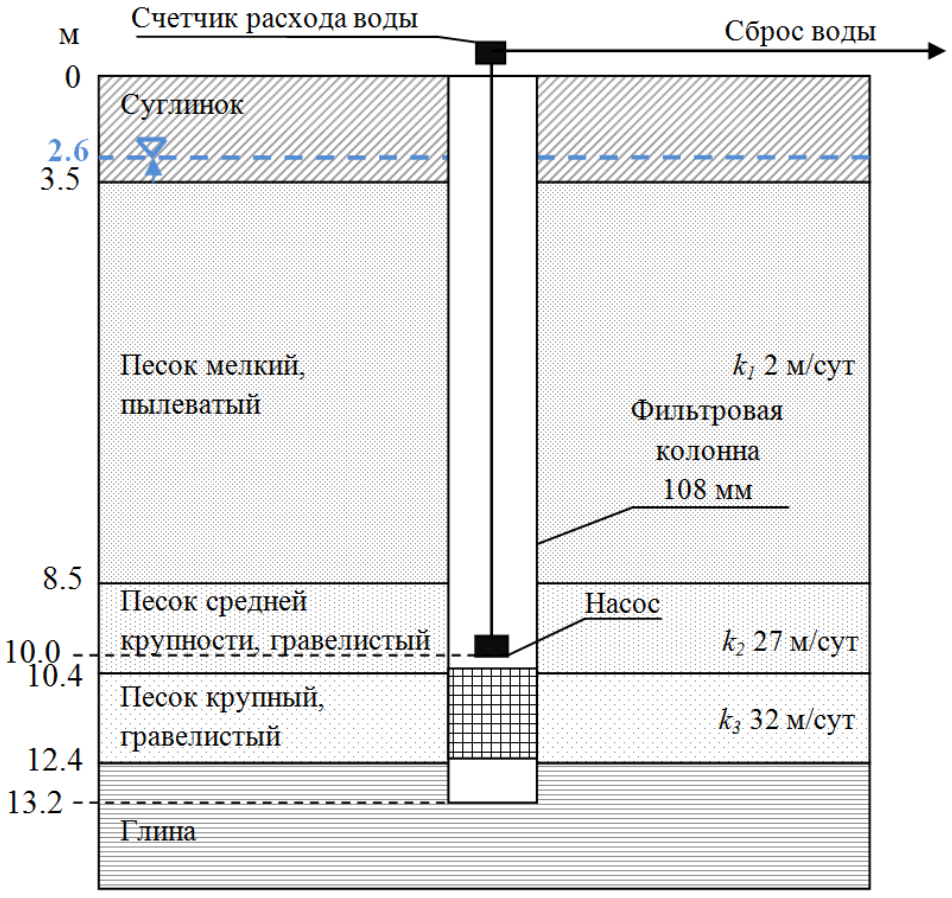


Рис. 1. Схематическая колонка с конструкцией скважины (значения *k* первично оценены трубкой СПЕЦГЕО [4])

Графики временного прослеживания откачки и восстановления (рис. 2, 3) показали хорошо диагностируемый выход на квазистационарный режим. Хорошая реакция скважины достигнута благодаря бурению ударно-канатным способом (глинистые растворы не применялись), прочистке скважины желонированием и прокачке перед опытом. Обработка данных откачки и

восстановления методом Джейкоба [7], дала значения проводимости 143 и 161 м^2/сут соответственно (рис. 2, 3). Обработка данных восстановления выполнена с использованием графика в координатах «*s* − *t/tв*» (*t* – время от начала откачки, *tв* – время от начала восстановления), который позволил выполнить коррекцию начального положения уровня (рис. 3).

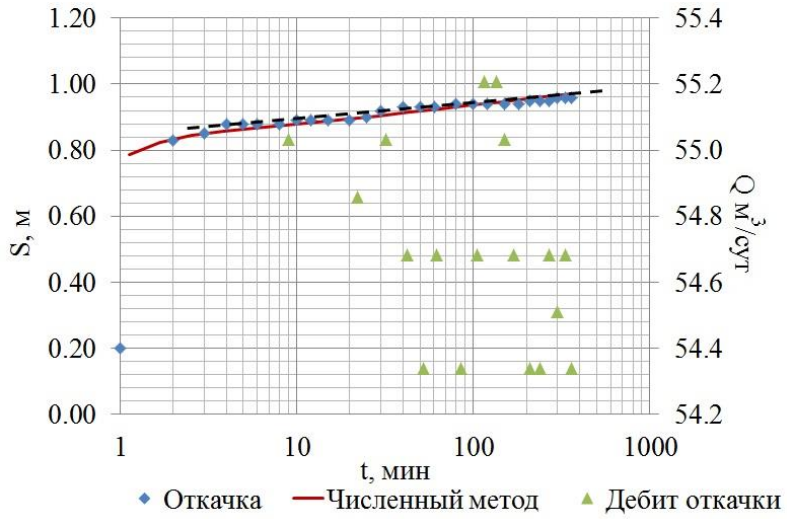


Рис. 2. Одиночная откачка из скважины (черный пунктир – аппроксимирующая прямая расчета проводимости методом Джейкоба)

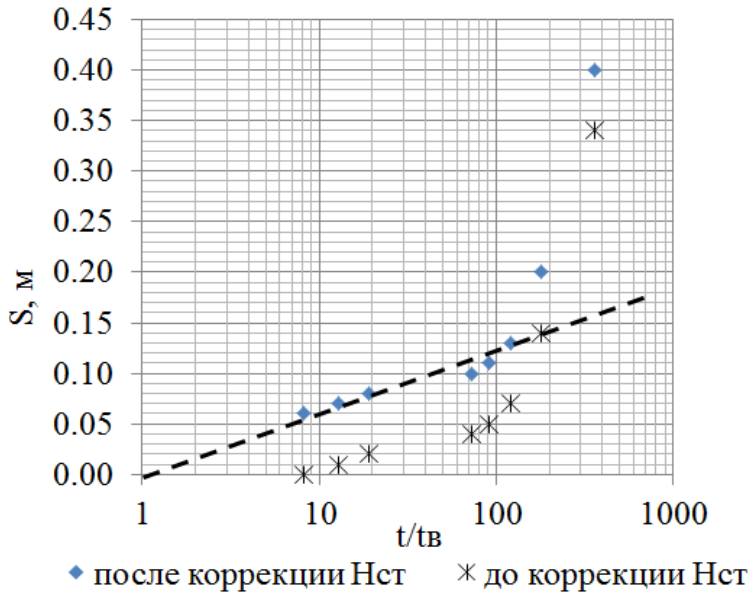


Рис. 3. Аппроксимация данных восстановления после коррекции начального уровня (Нст) прямой расчета проводимости методом Джейкоба (черный пунктир)

Проводимость, оцениваемая по откачке и восстановлению, является суммарной, поэтому равна сумме произведений коэффициентов фильтрации

водоносных слоев и их мощностей [6]. Мощности водоносных слоев вниз по разрезу составляют 5, 1.9, и 2 м (рис.1), тогда:

$$5k_1+1.9k_2+2k_3=161, \quad (1)$$

где k_1, k_2 *и* k_3 – коэффициенты фильтрации водоносных слоев.

Коэффициент фильтрации по лабораторным данным (рис. 1) доверия традиционно не вызывает, но дает представление об относительной изменчивости проницаемости в разрезе. По лабораторной оценке приняты отношения проницаемости водоносных слоев друг к другу (k_2/k_1 = 13.5 и k_3/k_1 = 16). Решение уравнения (1) дает значения k_1, k_2 и k_3 соответственно 2.5 и 34 и 40 м/сут.

Для анализа результатов одиночной откачки и восстановления также использовано численное решение методом конечных элементов (МКЭ) уравнения фильтрации в цилиндрических координатах, реализованное в программе моделирования 1WELL [2]. Используемая программа позволяет планировать ОФР, проводить их интерпретацию, а также исследовать влияние проводимости, скин-эффекта, анизотропии, перетекания и ёмкостных параметров на реакцию в скважине с различной конструкцией.

Значения коэффициента фильтрации заданы согласно ранее выполненной оценке (1). Численные расчеты МКЭ показали, что конечный период восстановления позволяет оценить проводимость при различном скин-эффекте (рис. 4), последний при этом определяет ход начального периода восстановления. Для максимального сходства результатов расчета с опытными данными, на модели подобран опыт при заданном отношении проницаемости прискважинной зоны к её толщине (ks/ds) 72 м/сут/м. Коэффициент упругоемкости и гравитационная ёмкость заданы исходя из типовых значений для отложений с подобной проницаемостью.

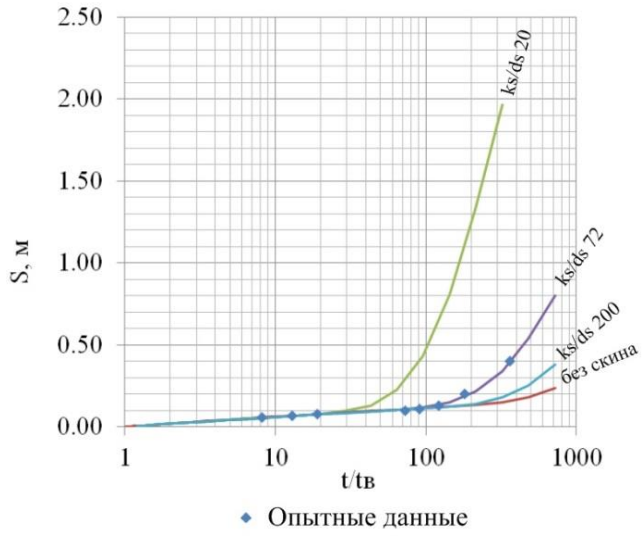


Рис. 4. График восстановления и численное решение при различном скин-эффекте

Численный расчет откачки МКЭ дал схожую с опытными данными кривую (рис. 2) при сопротивлении прискважинной зоны ks/ds 205 м/сут/м. Меньшее значение ks/ds при восстановлении, по-видимому, связано с возрастанием скин-эффекта в процессе откачки.

Оценка проницаемости методом одиночной откачки через забой скважины

Одиночная откачка через забой скважины была проведена перед посадкой фильтровой колонны. Конструкция скважины состояла из обсадной колонны диаметром 146 мм, установленной до глубины 11.9 м. Забой скважины располагался в нижнем водоносном слое (рис. 1).

Откачка проводилась в течение 240 минут, а длительность восстановления составила 170 минут. Глубина положения забоя на конец откачки составила 11.7 м. Учитывая небольшой скачек дебита после сотой минуты (рис. 5), данные всей откачки на графике временного прослеживания можно воспринимать как период влияния емкости скважины.

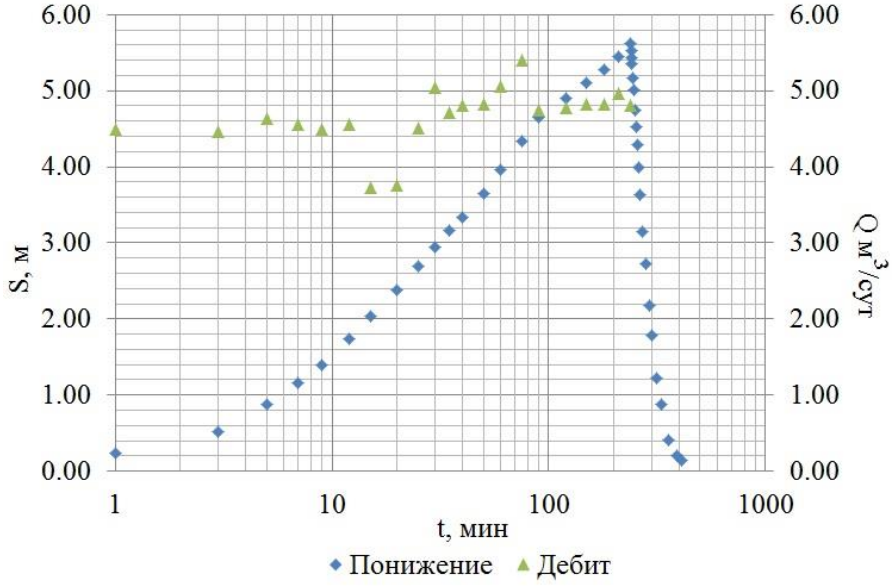


Рис. 5. Откачка через забой скважины

В работе [1] указано, что в начальный период приток к забою Q зависит от темпа снижения уровня воды, тогда как дебит на устье Q*w* постоянный:

$$Q = Q_w - \omega \frac{ds}{dt} \approx Q_w - \omega \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad \omega = \pi r_T^2,$$

где r_T – радиус труб с площадью поперечного сечения ω; Δs – разница между двумя последовательными измерениями s; Δt – то же для t.

Период влияния емкости скважины сопровождается линейной связью между притоком из пласта и понижением, а зависимость «*Q*–*s*» является квазистационарной, с постоянным коэффициентом пропорциональности [1]:

$$Q = kFs,\ F = ad \quad (3)$$

где k – коэффициент фильтрации; d – внутренний диаметр обсадной трубы (диаметр открытого дна); a – коэффициент равный 2.75, если забой удален от границ, и равный 2, если забой расположен на кровле пласта [1].

Коэффициент a, зависящий от положения забоя в пласте, при первичной обработке данных принят с допущением, что влияние нижней границы водоносного горизонта на ход откачки в течение опыта отсутствует. Значение a принимается равным 2.8, что должно соответствовать скважине без фильтра с плоским забоем в неограниченном по мощности пласте [3].

Из балансового равенства выражений (1) и (2) находится уравнение прямой линии в координатах «*v*–*s*» [1]:

$$v = \frac{Q_w}{\omega} - \frac{kF}{\omega}s \quad (4)$$

где v – скорость изменения уровня воды; s – понижение (повышение) уровня воды в скважине.

Расчет по наклону прямой на совмещенном графике откачки и восстановления «*v*–*s*» [1], дал значение k 1.4 м/сут (рис. 6):

$$k = \frac{\omega}{F}\frac{v_1 - v_2}{S_2 - S_1} = \frac{3.14 \cdot 0.073^2}{2.8 \cdot 0.146}\frac{(0.1-0)\cdot 60 \cdot 24}{5.4-1.2} = 1.4\frac{м}{сут} \quad (5)$$

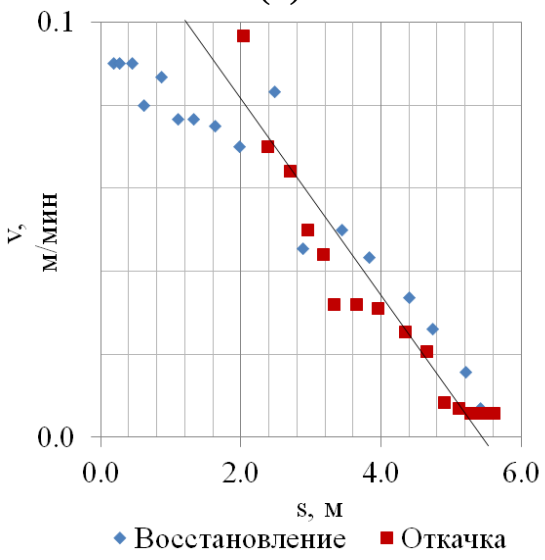


Рис. 6. Аппроксимация прямой линией графика зависимости скорости изменения уровня воды при откачке (восстановлении) от понижения (повышения) уровня воды в скважине

После подстановки уравнения (3) в уравнение (2) и интегрирования с условием $t = 0$, $s = 0$ автором метода получена зависимость [1]:

$$\ln H = k\frac{F}{\omega}t, \quad (5)$$

где H – приведенный напор, рассчитываемый для откачки и восстановления по формулам (6) и (7) соответственно.

$$H = \frac{s_w - s}{s_w}, \quad (6)$$

где s_w – предельное понижение, определяемое по методу «v – s».

$$s = \frac{s}{s(t_w)}, \quad (7)$$

где $s(t_w)$ – конечное понижение на момент остановки откачки t_w.

Расчет по наклону прямой на совмещенном графике откачки и восстановления «lg$H$ – t» [1] дал значение k 1.2 м/сут (рис. 7).

$$k = \frac{\omega}{F(t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2} = \frac{3.14 \cdot 0.073^2 \cdot 60 \cdot 24}{2.8 \cdot 0.146 \cdot (65 - 40)} \ln \frac{0.5}{0.3} = 1.2 \frac{м}{сут} \quad (8)$$

где t_1, H_1 и t_2, H_2 – координаты двух точек на аппроксимирующей прямой линии.

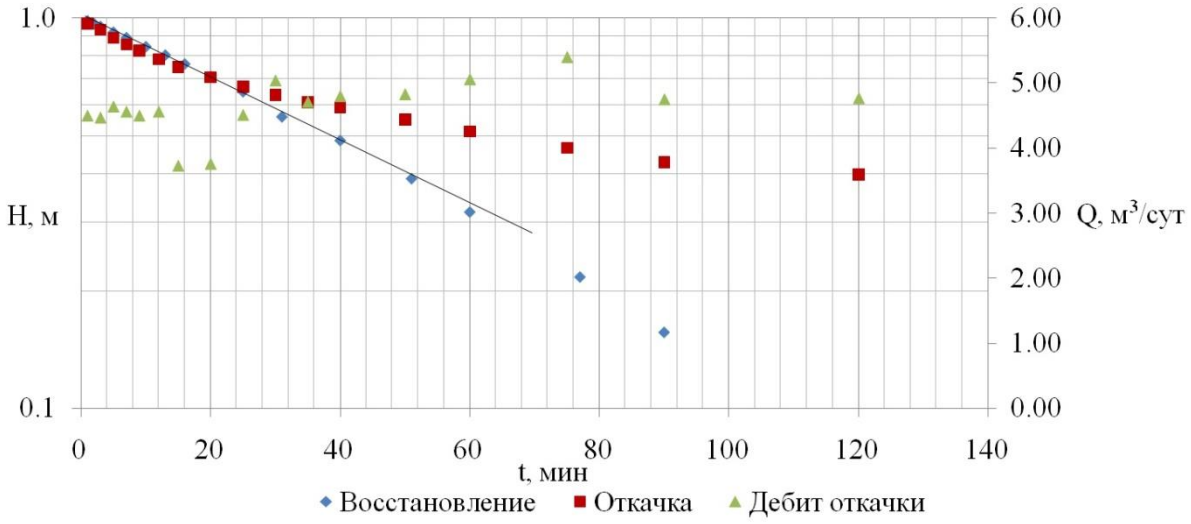


Рис. 7. Аппроксимация прямой линией совмещенного графика зависимости напора (в логарифмическом масштабе) от времени при откачке и восстановлении

Значения коэффициента фильтрации по откачке через забой скважины значительно меньше полученных при оценке с использованием результатов одиночной откачки и k, определенных лабораторным способом (1).

Исследование влияния скин-эффекта на ход откачки через забой скважины

Изучение результатов откачки через забой скважины, выполнено на модели в программе 1WELL, построенной по результатам оценки с использованием результатов одиночной откачки и *k* определенных лабораторным способом (1). Конструкция скважины на модели соответствует опытной. Без учета кольматации получено значение понижения, значительно меньшее опытного (рис. 8).

Вероятно, что влияние кольматации на расчетное значение *k* могло оказаться более значительным по сравнению с откачкой в скважине с фильтром из-за меньшей площади водоприемной части. Имитация различного сопротивления призабойной зоны МКЭ показывает, что процесс кольматации способен оказать существенное занижение величины проницаемости при обработке (рис. 8). На графиках видно, что с ходом откачки величина скин-эффекта может возрастать, вызывая большее понижение в скважине. Рассмотрение участка графиков после остановки откачки позволяет судить об относительном росте влияния кольматации в течение откачки и восстановления. Численный расчет позволил получить лишь набор кривых «*s* − lg*t*», схожих с опытными данными в разные временные промежутки откачки и восстановления, что возможно связано с непостоянным во времени скин-эффектом.

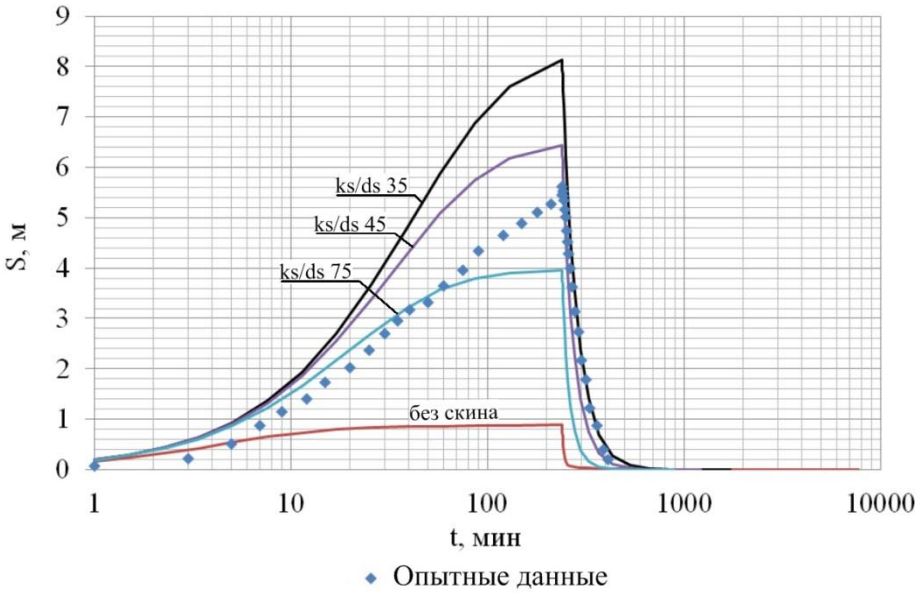


Рис. 8. Сравнение данных откачки и восстановления с численными решениями при различных значениях отношения проницаемости прискважинной зоны к её толщине (ks/ds м/сут/м)

В ходе ОФР в скважине без фильтра забой был расположен весьма близко к подошве водоносного горизонта, что могло вызвать необходимость учета влияния нижней границы. Однако, по данным моделирования (рис. 8)

кольматация призабойной зоны уменьшает воздействие на пласт, вследствие чего влияние нижней границы не отражается на расчетных кривых (рис. 9). Таким образом, используемые для интерпретации схемы при назначении параметра *a* могли быть применимы только для скважин, не осложненных влиянием скин-эффекта.

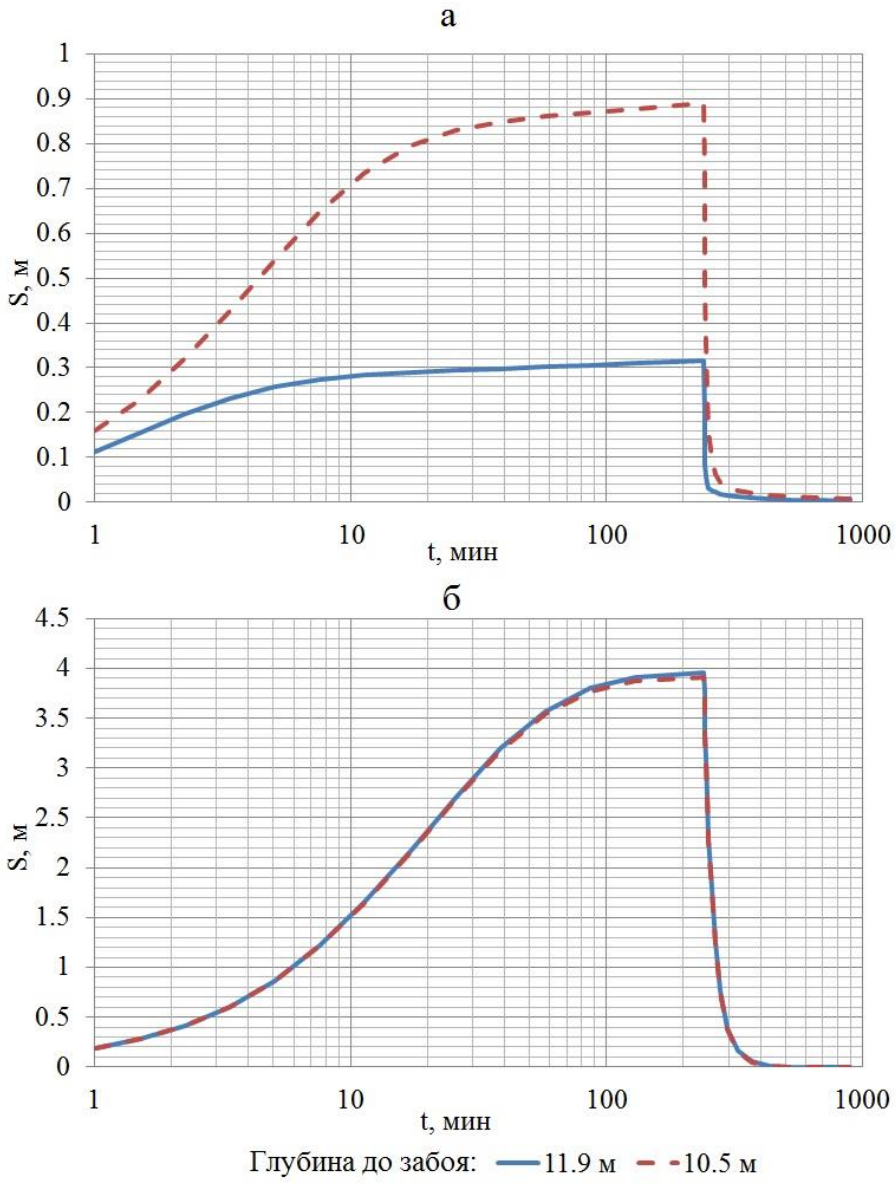


Рис. 9. Влияние расположения забоя в водоносном слое относительно нижней границы пласта при отсутствии скин-эффекта (а) и при ks/ds = 75 м/сут/м (б) по результатам моделирования

Заключение

Оценка проницаемости методом откачки через забой на сегодняшний день является самым недорогим способом ОФР в скважине. Предпосылка о линейной связи «*Q*–*s*» в период влияния ёмкости скважины, заложенная

автором метода, нашла свое подтверждение при обработке данных опыта. Метод заметно дешевле экспресс-опытов в производстве, более прост в обработке и может быть применим для оценки коэффициента фильтрации водовмещающих отложений при минимизации проявления скин-эффекта. Однако, как показывают выполненные исследования, кольматирование прискважинной зоны происходит независимо от первоначального качества скважины.

Одиночная откачка в скважине с фильтром при достижении квазистационарного режима позволяет оценить суммарную проводимость водоносных отложений независимо от скин-эффекта. Наличие значений коэффициента фильтрации, корректно оцененных лабораторным способом, дает представление о вертикальной неоднородности k.

Исходя из теоретических предпосылок, автором метода отмечены необходимые особенности проведения откачки через забой скважины. Необходимо отметить, что поддержание постоянного дебита при откачке (наливе) через забой является обязательным условием. Рекомендуется задавать минимально возможный дебит, позволяющий регистрировать повышение уровня воды в скважине в течение опыта. Малый расход откачки может быть обеспечен применением насосов небольшой производительности или использованием тройников на сливе, сбрасывающих часть воды обратно в скважину. Забой должен быть тщательно очищен желонкой на всю глубину обсадной колонны, а после опыта необходимо произвести контроль положения забоя.

Одиночные опыты не позволяют оценить ёмкостные параметры необходимые для нестационарных прогнозных геофильтрационных расчетов. Одиночные откачка с постоянным расходом зачастую осложнена влиянием скин-эффекта из-за неудовлетворительного качества скважин. Экспресс-опыты и метод откачки через забой скважины дают коэффициент фильтрации прискважинной зоны. При одиночных опытах приходится надеется только на достоверную оценку проводимости и коэффициента фильтрации. Изложенный материал показывает, что словосочетание «ориентировочная оценка проницаемости» в используемой изыскателями нормативной документации лишено практического смысла, так как предполагает повторный опыт для оценки проницаемости. Допущение незавершенных оценок фильтрационных параметров является причиной использования значений проницаемости прискважинной зоны кольматации при проектировании инженерной защиты от подтопления.

Список литературы

1. Лехов М.В. Оценка коэффициента фильтрации методом откачки через забой скважины // Инженерные изыскания. 2017. № 3. С. 12–16.

2. Лехов М.В. Профильное моделирование скважин в безнапорном водоносном горизонте // Инженерная геология. 2015. № 3. С. 52–64.
3. Лехов М.В., Поздняков С.П. Определение проницаемости донных отложений водоема по данным налива в пьезометр // Инженерная геология. 2015. № 6. С. 21–28.
4. Лехов С.М., Лехов М.В. Методы расчета и причины ошибочных результатов экспресс-откачек из скважин // Инженерные изыскания. 2017. № 2. С. 38–50.
5. Максимов В.М. Справочник гидрогеолога. Часть II // М.: Изд-во «Горное дело», 2013. С. 112–117.
6. Шестаков В.М. Динамика подземных вод // М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. С. 59–66.
7. Cooper H.H., Jacob C.E. A generalized graphical method of evaluating formation constants and summarizing well-field history // Ground water notes hydraulics. 1953. Vol. 25. № 7. P. 96–102.

Потапова Е.Ю.[1], Громов В.Е.[2]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии,
г. Москва, potapova081962@mail.ru
[2]ЗАО «Геолинк-Консалтинг», г. Москва

К ВОПРОСУ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОБЪЕКТАХ СТРОИТЕЛЬСТВА

В докладе рассматривается объект строительства в г. Москве, где в результате ливня выпало более месячной нормы осадков (порядка 48 мм), по данным режимных наблюдений произошел подъем уровня грунтовых вод вне контура «стены в грунте» на 20 см. Произошло затопление поверхностными водами пазухов на контакте между стенами подземной части и ограждающей «стеной в грунте» вследствие чего и *произошло поднятие части конструкций стилобата*.

В зоне малоэтажной части, гидростатическое давление превысило величину давления сооружения и произошло всплытие сооружения. Согласно данным для двухэтажной части стилобата давление составляет 4,5 т/м^2, для четырехэтажной части – 8,5 т/м^2.

Гидростатическое давление под днищем стилобата при заполненных водой пазухах между стеной здания и «стеной в грунте» составляет 5,8 т/м^2, т.е. *устойчивость сооружения на всплытие не была обеспечена*.

В результате всплытия стилобата С-4 произошел подъем конструкций двухэтажной части стилобата на 32÷407 мм, в четырехэтажной части произошли деформации от 1 до 18 мм. Через 10 дней подъем конструкций стилобата по всей высоте составили по 3 до 86 мм. Отмечался временный подъем конструкции до 190 мм в результате дождя 20 августа и поступлением ливней в котлован.

Основной задачей работы было рассмотрение возникшей геотехнической ситуации с позиций гидрогеологических условий территории; оценка результатов работ по геофильтрационному моделированию участка и данных гидрогеологического мониторинга уровней подземных вод.

В процессе анализа гидрогеологических исследований, проведенных на объекте, установлено, что расположение скважин наблюдательной сети не соответствует задаче, которую они должны были решать. Основное воздействие от строительства зданий на подземные воды проявляется в виде подпора подземных вод, образующегося вверх по потоку от сооружений. В таких условиях часть наблюдательных скважин необходимо было оборудовать не вниз и вбок по потоку от сооружений, а вверх.

По результатам анализа гидродинамичекского моделирования установлено следующее:

- Отсутствует анализ режимных наблюдений после начала строительства объекта и сооружения «стены в грунте».

- Использование огромное количество скважин, расположенных на такой небольшой площади, абсурдно. Необходимо было анализировать фактический материал и выбрать 10–15 представительных скважин, адекватно отображающих ситуацию.
- Прогноз катастрофического выпадения осадков выполнен неправомерно, так как при задании питания в данном случае следует учитывать емкостные параметры горизонта. Инфильтрационное питание не является прямой функцией от ливневых атмосферных осадков, прежде всего ливневые осадки формируют поверхностный сток, что необходимо учитывать и подвергать анализу.
- Не ясны условия, сложившиеся на момент выпадения аномальных атмосферных осадков, неизвестно, в каком состоянии находятся строительные работы, где на этот момент существуют котлованы и какие дренажные сооружения введены в действие.
- Надъюрский водоносный горизонт в пределах части объекта 1 очереди отсутствует. В схематизации на данном участке горизонт есть.
- Размер области моделирования не обоснован, по периметру задано граничное условие 1 рода, отсутствие такого обоснования может сказываться на результатах моделирования.
- В соответствии с тем, что по направлению к реке происходит резкое снижение мощностей всех водоносных четвертичных горизонтов, при моделировании снижены значения горизонтальных коэффициентов фильтрации и соответственно получены очень большие величины градиентов.
- Неясно, как вообще на модели заданы реки, какие параметры характеризуют сопротивления подрусловых отложений.
- Уровни перхуровского водоносного горизонта в восточной и северо-восточной части области фильтрации по результатам моделирования естественных условий превышают значения 134 м (практически равны уровням надъюрского горизонта), что совершенно неправомерно, так как это не подтверждается никакими фактическими данными. Именно вследствие таких неправомерных уровней авторами пришлось задать в перхуровских известняках ничем не обоснованное значение коэффициента фильтрации 0,0001 м/сут.
- Положение уровней перхуровского водоносного горизонта не соответствует действительности, на модели явно заданы неверные граничные условия.
- Поток в ратмировком водоносном горизонте направлен в другую сторону, что не согласуются ни с разрезами, ни с архивными данными.
- Именно для предупреждения ошибок на модельные карты необходимо наносить скважины с уровнями для подтверждения обоснованности моделирования.

- В формуле, которой авторы обосновывают качество и точность моделирования, нельзя использовать уровни разных расчетных слоев. При локальном моделировании с шагом сетки 10 м невязка порядка 4 м очень велика. Низкое качество решения обратной задачи не могло не сказаться на прогнозных расчетах.

Также видится весьма целесообразным разработка методики гидрогеологических исследований, как минимум в части гидродинамического мониторинга, учитывающей специфику и сложность инженерно-гидрогеологических условий.

Строительные нормы (СП) должны претерпеть изменения и учитывать (обозначать) необходимость создания инженерно-гидрогеологического мониторинга.

Наличие инженерно-гидрогеологического мониторинга может служить надежной основой для расчетов рисков строительства.

Лехов М.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва, mvlekhov@geol.msu.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ СТИХИЙНЫХ МУСОРНЫХ СВАЛОК

Введение к докладу на секции гидрогеологических исследований

Влияние и концепция защиты

Живой интерес к свалкам пробудился весной семнадцатого года и породил авральный запрос на проекты защиты. Как обычно, авральный и взвешенный подходы к выбору инженерного решения трудно совместимы.

Крупная свалка неизбежно вызывает опасения ее негативного влияния на природные воды, а через них на окружающую среду. Впечатление обывателя складывается из наблюдаемой или воображаемой картины – гора гниющего мусора, создающая угрозу здоровью. Оно усиливается высачиванием грязного фильтрата и неприглядным видом вороньих стай над мусорной кучей.

Оба фактора, тем не менее, не так страшны. После перекрытия (называемого рекультивацией для придания веса инженерному решению в глазах администрации и общественности) гора может стать привлекательным элементом ландшафта, особенно в равнинном регионе. Воду бокового отжима из массива можно собрать в закрытый дренаж и направить на очистку. Но можно и не отправлять, а сбросить через поглощающие колодцы в поток подземных (не грунтовых) вод. Конечно, – при условии возможности сорбционной способности водоносного горизонта и разбавления фильтрата потоком подземных вод.

Преобладающей статьей расходования атмосферной влаги является сток по склонам горы свалки и высачивание у их подошвы.

Дождевой и талый сток со склонов после удачного перекрытия по составу соответствует фоновому содержанию компонентов. Эту воду не следует очищать. Поверхностный сток может быть собран в экранированные дренажные коллекторы и направлен для пополнения местных водотоков.

Откосы стихийных свалок всегда неизбежно приближаются к предельному, весьма большому углу устойчивости. Поэтому, как и должно быть на крутых склонах, поверхностный сток играет преобладающую роль в расходе атмосферных осадков – дождей и снеготаяния.

Атмосферные осадки, талая вода и влагосодержание перекрытия подвержены повышенному испарению вследствие повышенной температуры свалочного мусора. Это – также значительная часть баланса расхода атмосферных осадков.

Таким образом, рассматривая водный баланс массива, следует дать непредвзятую оценку значимости следующих процессов:

1. Инфильтрация атмосферных осадков на поверхности и склонах свалочной горы (расход просачивания несравнимо меньший, чем окружающей территории).
2. Перенос влаги в теле свалки (насыщение, испарение, вертикальная инфильтрация и инфлюация).
3. Формирование линз, горизонта гравитационной воды в ее основании (выдержанный горизонт маловероятен из-за слабого питания сверху, перетекания вниз и бокового оттока к близкорасположенному дренирующему склону).
4. Отжим фильтрата при уплотнении мусора (консолидация - в ненасыщенной среде; она не дает гравитационную воду и вертикального потока фильтрата; отжима хватает на перераспределение влажности свалочного мусора).
5. Перетекание фильтрата через основание свалки в грунтовые воды по площади (крайне низкое ввиду слабой природной проницаемости покровных отложений, скудной инфильтрации атмосферных осадков, растраченной на сток по откосам и испарение).
6. Выход грязного фильтрата по контуру (формирование происходит в присклоновой зоне и обусловлено локальным разуплотнением откосов и повышенной инфильтрацией стока).

Из перечня важным в отношении оценки опасности или безопасности свалки представляются пункты 1 - инфильтрация атмосферных осадков, 5 - перетекание из свалки вниз и 6 - боковое высачивание в подошве откосов.

Краткая оценка балансовым составляющим дана в перечне.

Неопределенность в оценке имеет фильтрация через грунты основания и локальное изменение инфильтрационного питания грунтовых вод. Адекватные меры защиты подземных вод должны исходить из их эффективности. Наиболее традиционными являются завесы, экраны и дренажа. Но необоснованное гидрогеологическим анализом конструктивное решение может само по себе ухудшить природные условия, вызвав подпор подземных вод, локальную аккумуляцию фильтрата, привести к подтоплению и загрязнению почв прилегающих площадей. Может произойти подтопление тела самой свалки, что повлечет замедление процессов консолидации массива и упрочения склонов, а также усиление выхода фильтрата по контуру массива и процессов гниения отходов. Возможно также влияние на региональный поток грунтовых вод, ущерб питанию водотоков и прудов, загрязнение нижележащего водоносного горизонта и т.д.

Вопросы изысканий

К сожалению, оценка опасности и выбор мер защиты для новых свалок и для рекультивации старых не опираются на системный гидрогеологический анализ. Штатные гидрогеологические исследования в составе изысканий, как и

в других проектах строительства, сводятся к формальному расчету уровней потока подземных вод и конвективной миграции нейтрального загрязняющего компонента. Обоснованность расчетов крайне низкая, так как базируется на материалах нецелевого назначения, без меженных гидродинамических съемок, без водного баланса, без кустовых откачек. Уровни подземных вод берутся из материалов разновременных изысканий. Инструмент численного моделирования, применение которого требует норматив и экспертиза, придает мнимую убедительность и достоверность прогнозированию.

Два момента представляются понятными каждому участнику изыскательской деятельности. Первый – некорректная постановка обратной задачи, исходя из уровней воды в изыскательских нецелевых скважинах, если отсутствуют кустовые откачки и данные по балансу. Причины - множественное решение дифференциального уравнения фильтрации при одних и тех же исходных данных и граничных условиях. Баланс никогда не исследуется в инженерных изысканиях, равно как не производятся меженные единовременные съемки уровней воды, и достаточные по объему, конструкции и времени кустовые откачки. Площадь исследований должна превышать размер объекта в несколько раз. Не определяются параметры перетекания, инфильтрационного питания и сопротивления ложа водотоков. О решении обратной задачи не может быть речи, если отсутствует карта гидроизогипс, если для измерений уровней воды используются инженерно-геологические скважины в пределах выделенной площадки, уровни измерены без наблюдений за их установлением, не проведены кустовые откачки и не выполнены оценки водного баланса (гидрометрические и гидрометеорологические). На эту ситуацию смотрит экспертиза изысканий и прогнозного моделирования, видимо, без понимания перечисленных условий, а возможно и без желания заниматься этими довольно сложными вопросами.

Второй момент – практика прогнозных расчетов не предусматривает анализ влияния изменения гидрогеологических условий на процессы и явления, на выбор инженерного решения. Проще говоря, – хорошо или плохо, что уровень поднимется до какой-то глубины, а фронт продвижения потока с определенной относительной концентрацией продвинется на один или десять километров. Этот вопрос так же выпадает из задач производителя изысканий и из экспертной деятельности. Для чего выполняется прогноз, – ни одну из сторон этот вопрос не интересует. Главное, чтобы был приложен к отчету.

Другая сторона – отношение к количественному прогнозу. Нужен ли он с такой достоверностью, которую ему пытаются придать сложные методы трёхмерного математического моделирования (без единого корректно полученного в поле параметра). Карта гидроизогипс и карта глубин залегания и без моделирования уже дают возможность анализа. Для большинства объектов строительства вполне достаточна качественная оценка, аналитические расчеты или простые модели с ориентировочными параметрами. Оценка должна давать принципиальный характер воздействия на процессы и на сооружение с

разумным отношением к точности расчета напоров, скоростей, расходов, концентраций. Точный расчет при ошибочных параметрах влечет за собой несерьезное отношение к гидрогеологическим исследованиям в целом.

Примеры гидрогеологических проблем свалок Саларьево, Печатники, Малинки рассмотрены в докладе на секции гидрогеологических исследований.

Лехов С.М.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, г. Москва, trakky@mail.ru

О техническом регулировании лицензирования и сертификации программного обеспечения в нормативной технической документации и законодательстве Российской Федерации. Гидрогеологические расчеты

Прочно укрепилось и стало регулярным требование эксперта технических отчетов по инженерно-геологическим изысканиям предоставить сертификат соответствия на используемое программное обеспечение (ПО). Требование было закреплено в п.4.22 СП 47.13330.2012, несмотря на то, что программное обеспечение не входит в перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации, утвержденный постановлением Правительства РФ № 982 от 01.12.2009 г. При этом не ясно, чему должна соответствовать программа, каким нормативным документом должны быть регламентированы требования, предъявляемые к ней. Абсурдным является и то, что программное обеспечение, особенно авторское, находится в стадии постоянной разработки и совершенствования, а вышеупомянутые сертификаты выдаются на конкретную версию программы. Особенно эта проблема актуальна в гидрогеологических исследованиях, которые практически полностью представляют собой те или иные расчеты с целью оценки параметров и обоснования проектного решения. Гидрогеолог решает такие задачи, как прогноз изменения гидрогеологических условий, оценка притоков в котлован, расчет дренажа, обработка опытной откачки, оценка производительности водозабора, миграционные задачи и другие. Большинство этих задач требуют специализированного ПО. При этом использование таких широко распространенных программ, как Modflow, Surfer, Plaxis не вызывает вопросов. Хотя эти программы не обладают вышеупомянутым сертификатом соответствия. Громкие наименования подобных программ привлекают пользователей, оказывая негативное влияние на развитие отечественной продукции.

В случае использования незнакомого ПО экспертиза требует предоставить сертификат соответствия (соответствия чему?). Для упрощения расчетов многие специалисты составляют простые программы, объединяющие несколько операций по аналогии с макросами стандартных средств Microsoft Excel, тем самым упрощая работу. Создаются и более сложные программные комплексы, объектно ориентированные на профессиональные задачи, что позволяет избежать покупки дорогостоящего ПО иностранного производства. Разрабатывая программу для себя, специалист получает алгоритмически понятную программу, которую можно проверить. Кроме того, он развивает свои знания и формирует углубленное понимание проблемы, состояние научной разработанности изучаемых вопросов, приобретает навыки логического мышления, необходимые при разработке программ.

Постановлением Правительства РФ № 1521 от 26.12.2014 г. с изменениями от 07.12.2016 г. требование о сертификации программного обеспечения было отменено (п. 34). Затем, Приказом Министерства строительства РФ № 1033/пр от 30.12.2016 г. введен в действие новый СП 47.13330.2016, в котором такой пункт вообще отсутствует. И, тем не менее, экспертиза продолжает требовать сертификаты соответствия на программное обеспечение, предъявляя такое требование исключительно на авторское или незнакомое им ПО. При этом, эксперт не просит представить сертификат соответствия на средства Microsoft Office.

Такие же вопросы могут быть заданы в случае требования лицензии на ПО. Подразумевается законность использования программы исполнителем. Требование такого рода направлено на соблюдение прав разработчика программы. Действительно, в условиях, когда пиратское пользование цифровой информацией, программой и контентом стало негласной нормой эта проблема актуальна. Однако этот вопрос находится вне компетенции эксперта технических отчетов по инженерно-геологическим изысканиям. Качество расчета не зависит от того, приобрел ли исполнитель программу, получил в подарок или во временное пользование. Охраной авторских прав должны заниматься соответствующие правоохранительные органы. Изыскатель же должен исполнять требования нормативных документов, качественно выполнять инженерно-геологические изыскания, объемы работ и обеспечивать проектирование необходимыми данными.

Каждый должен заниматься своим своим делом!

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРЫ»

Персова С.Г.

Министерство культуры Республики Татарстан, КГАСУ, Институт архитектуры и дизайна, кафедра реконструкции, реставрации архитектурного наследия и основ архитектуры, г. Казань

Междисциплинарные исследования объектов культурного наследия Республики Татарстан

С 2010 г. в Республике Татарстан реализуется Комплексный проект «Культурное наследие: остров-град Свияжск и древний Болгар», направленный на изучение, сохранение и музеефикацию выдающихся историко-архитектурных, археологических и ландшафтных комплексов, расположенных на территории региона. Проект позволил решить многоаспектные социо-культурные задачи: сохранение и реставрация объектов культурного наследия, комплексные научные исследования памятников и создание новых технологий и методов их изучения и консервации (в том числе инновационных неразрушающих методов исследования), выявление ранее неизвестных археологических и архитектурных объектов, создание новых музейных объектов и форм музейной деятельности, развитие научно-образовательных центров на базе музеев-заповедников, обеспечение инженерной, транспортной и туристической инфраструктурой Болгара и Свияжска. Достигнутые результаты позволили включить в 2014 г. Болгарский историко-археологический комплекс, в 2017 г. – Успенский собор и монастырь острова-града Свияжска в Список Всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО.

Основой работ стали «Программа комплексных научных исследований Успенского собора, Троицкой церкви и культурного наследия Свияжска» и программа «Изучение и популяризация историко-культурного наследия Болгарского историко-археологического комплекса».

Данные программы являются первыми в истории изучения Свияжска и Болгара масштабными комплексными и междисциплинарными проектами, целью которых является специальное исследование культурного наследия музеев-заповедников.

Направления программ определены с учетом требований подготовки номинаций объектов Болгара и Свияжска в Список всемирного наследия, Планов управления и предполагают проведение исследований в краткосрочной и долгосрочной перспективах.

Направления исследований:

- комплексные исторические исследования. Выявление и изучение новых архивных материалов и источников. Комплексные историко-архивные,

архитектурные, источниковедческие, историографические, искусствоведческие, культурологические исследования и сравнительный анализ;

- разработка и утверждение Планов управления объектами культурного наследия и Концепций развития музеев-заповедников;

- осуществление научных архитектурно-археологических исследований Свияжска, Болгара, их округи с музеефикацией выявленных объектов;

- подготовка и издание научных и научно-популярных работ по историко-культурному наследию;

- проведение регулярных научных конференций, семинаров, круглых столов по проблемам историко-культурного наследия Свияжска и Болгара;

- оценка современного состояния и выработка мер по сохранению памятников на основе комплексных междисциплинарных историко-археологических и естественнонаучных исследований с получением новых данных по времени строительства, материалам, технологиям, используемым при их создании.

Междисциплинарные комплексные научно-исследовательские работы включают исследования состояния грунтов, конструкций, температурно-влажностного режима памятников, левкасного и красочного слоя росписей, а также степени разновременных вмешательств в авторскую живопись, постоянный мониторинг природной среды, уровня грунтовых вод, температурно-влажностного режима, состояния оснований, фундаментов, ограждающих конструкций и стенописи. Научно-исследовательские работы содержат в том числе технологические исследования неразрушающими методами с помощью высокотехнологичного оборудования.

В рамках исследований применяются методы радиоуглеродного анализа, дендрохронологии, ксилотомического анализа, резистографии, палинологического анализа, фитолитного анализа, микроскопирования микробиологического анализа, рентгенофлуоресцентного анализа, изотопного анализа, геофизических исследований, геологических исследований, 3D-сканирования и 3D-моделирования, мониторинг инженерно-технического состояния конструкций.

Результаты исследований направлены на комплексный анализ, объективную оценку и выработку стратегии сохранения объектов.

Заказчики программ - Министерство культуры РТ, Республиканский Фонд «Возрождение».

Основные разработчики программ - Институт археологии им. А.Х. Халикова Академии наук Республики Татарстан; Казанский (Поволжский) федеральный университет; Казанский государственный университет культуры и искусств.

Пашкин Е.М.

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии,
г. Москва, empashkin@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СОХРАННОСТЬ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

Большинство объектов культурного наследия на территории Российской Федерации не защищены от воздействия природных факторов внешней среды, приводящих их в деформированное состояние. Расшифровывание причинно-следственных связей условий деформирования объектов культурного наследия предусматривает выверенный подход для правильной оценки того, что предшествует развитию следствия. Следствием чаще всего служат трещины, отражающие различные причины их образования в стенах сооружений памятников архитектуры, обусловленные проявлением воздействий различных факторов на грунты основания и несущие конструкции объектов культурного наследия. Такими факторами, например, могут быть температурные воздействия, отличающиеся значительными градиентами и цикличностью для природно-климатических условий России, или возникновение дефицита несущей способности грунтов основания, приводящего к развитию осадочных трещин. С позиции инженерной геологии это позволяет исключать ошибочную интерпретацию генезиса трещин, профессональное истолкование которого является залогом принятия правильных решений по сохранению объектов культурного наследия.

Принято считать, что между передаваемыми нагрузками от элементов подсистемы «памятник» на грунты основания подсистемы «сфера взаимодействия», проявляются функциональные связи. Однако следует обратить внимание на то, что в инженерной геологии рассчитанные нагрузки в определенной степени идеализируются, поскольку они не могут быть постоянными во времени и эта форма взаимодействия является простейшей и достаточно условной формой механического воздействия [3].

Для рассматриваемых исторических природно-технических систем (ИПТС) характерно то, что перемещение одного элемента при взаимодействии с другим передается не линейно, а в соответствии с природной динамикой развития либо циклических событий, либо при многократном случайном повторении одних и тех же воздействий внешней среды. Это приводит к тому, что в процессе взаимодействия существенно меняется структура массива основания, особенно после деструкции деревянных свай или суффозионного процесса, становятся иными его свойства при проявлении динамических воздействий, увеличиваются нагрузки, в результате чего формируется область с непостоянной структурой. При этом существенную роль оказывают факторы циклического воздействия – температурные, воздействия от криогенного пучения и факторы случайных воздействий – ветровые, сейсмические. Поэтому

элементы ИПТС за длительный период эксплуатации обретают иную связь, поскольку за время своего существования они принимали на себя воздействия различных факторов окружающей среды в рамках самоорганизации.

В этих условиях в результате реализации многих циклических и случайных воздействий возникает необходимость в уточнении нагрузок от результатов проявляемых воздействий – это одна из производных меняющейся структуры взаимодействия ИПТС [2]. При решении проблемы влияния воздействий окружающей среды на объекты культурного наследия со значительным периодом существования памятники архитектуры становятся предметной моделью исследования, поскольку они подвергались серьезным физическим эффектам окружающей среды в течение всего периода их существования.

Поскольку с точки зрения стилистики памятников архитектуры, их конструктивных схем, эксплуатационного режима они по-разному воспринимали на себя воздействия различных факторов окружающей среды, логично рассматривать результаты подобных воздействий применительно к определенному типу памятников архитектуры. Такими объектами исследования были выбраны стены крепостных и культовых сооружений, наиболее уязвимых, например, от атмосферных, температурных воздействий, значения которых характеризуются разными периодами повторяемости, от кратковременных ветровых воздействий, а также эпизодических сейсмических волн.

Анализ событий, происходивших в прошлом с этими сооружениями, показывает сложную историю их выживания в сложных природно-климатических условиях России. Достаточно отметить, например, что до наших дней не сохранилось ни одного из прясел стен постройки XIV–XV веков Новгородского детинца, которые в разные годы из-за обрушения перестраивались. Последним из сохранившихся первоначальных прясел обрушился 37-метровый участок между башнями Спасской и Княжей в 1991 году. До этого прясло долгое время находилось в аварийном состоянии, которое в средней части имело значительный крен, поперечные вертикальные трещины и после прохождения через Новгород сейсмической волны от Джварского землетрясения оно упало [4]. Многие утраты понесли кирпичные стены Михайло-Архангельского монастыря в городе Юрьев-Польский, начиная с 30-х годов XVIII века, после чего на протяжении всего XIX в. постоянно проводились работы по ремонту и восстановлению стен, для предотвращения развития кренов (отклонения от вертикали достигали 0,7 м) к ним пристраивали контрфорсы, которые оказались крайне неэффективными. Поэтому уже в 1926 году П.Д. Барановский вынужден был укреплять цоколь и выпрямлять прясло западной стены монастыря [1].

Стены оборонительных и монастырских сооружений являются основными ограждающими конструкциями. В процессе их возведения прясла встраивались между заранее построенными башнями квадратной, круглой или многоугольной формы. Как оборонительные сооружения они имели с внешней

стороны ровную без каких-либо выступов поверхность и сложную конфигурацию внутренней поверхности, включающую сверху гульбище боевого хода, примыкающую к стене аркаду с арками пролетом от 3 до 4 м, опирающимися на пилоны шириной от 1 до 2 м. Углубление арок вглубь стены составляет 0,2–0,6 от ее ширины.

Подобная морфометрия внутренней поверхности стен в соответствии с принципом сопротивляемости по форме обеспечивала стенам повышенную жесткость и создавала условия для снижения деформаций сооружениям при внешних воздействиях.

Основная масса кладки стены приурочена к верхней ее балочной части, к тому же она со всех сторон: от гульбища сверху и сводов арочных проемов снизу и с боковых граней стены подвергается наибольшим температурным воздействиям. А это означает, что верхняя часть стен обладает максимальной объемной теплоемкостью и при естественном влиянии солнечной радиации может приводить к значительному изменению температурного режима кладки и к развитию значительных температурных деформаций.

При этом формируются «бегущие трещины», приводящие к образованию разрыва прясла по вертикальным швам элементов кладки без разрушения самих элементов, что отличает их от осадочных трещин, разрушающих сплошь кладку прясла с образованием разрывов горизонтальных швов.

Различные строительные материалы, используемые при строительстве этих сооружений, при перепадах температуры в течение года (60–70°), различного нагревания в зависимости от альбедо поверхности стен, их ориентировки к направлению солнечной радиации, различных значений температурных коэффициентов объемного расширения материалов кладки создают условия для неоднородного температурного воздействия. При максимальном влиянии на верхние части стен положительных или отрицательных температурных воздействий, при обладании там кладки со значительной объемной теплоемкостью одни части стен расширяются или сжимаются значительнее, чем другие. При предельных температурных градиентах в результате процесса сжатие-растяжение будут образовываться по отношению к стенам вертикальные поперечные трещины, впоследствии выполняющие функции температурных швов.

Поэтому при нагревании прясла удлиняются от середины в обе стороны до упора в стены башен, играющих роль контрфорсов, на границе с которыми в пряслах накапливаются максимальные напряжения сжатия, и где при охлаждении они подвергаются их релаксации с образованием трещин отрыва.

Формирование температурного режима кладки стен приводило к началу образования «бегущей трещины» в верхней части прясла, откуда она «сбегала» в низ стены, не доходя до фундамента. Поэтому эти трещины не разрушали всю конструкцию стены, а только ее верхнюю и среднюю части, и получили название несовершенных трещин. Появление таких трещин с суммарным раскрытием до нескольких десятков сантиметров приводило к удлинению

верхней части прясел и при невозможности раздвинуть башни и прогиба вовнутрь из-за жесткости аркады, вызывали их искривление во внешнюю сторону с образованием больших кренов, угрожающих падением. Наиболее распространенным методом борьбы с подобными последствиями температурных воздействий использовались кирпичные контрфорсы. Их появление, очевидно, относится к началу XVIII века, когда стены многих оборонительных и монастырских сооружений стали ветшать. Но вскоре стала очевидным неэффективность этого технического решения. Со временем от них стали отказываться, и уже в конце XVIII века при возведении подпорной стены нижней террасы перед дворцом Юсупова в Архангельском длиной 150 м по торцам стены вместо контрфорсов впервые были использованы аркбутаны из крупных блоков известняка, которые смягчали температурные деформации за счет создания упругого противодавления от полуарок аркбутанов. В дополнении к ним в середине стены был устроен грот с лестницами, который наряду с архитектурным приемом выполнял функцию продольного компенсатора напряжений для снижения температурных деформаций.

Вообще результаты температурных воздействий на деформацию стен довольно специфичны и непохожи на условия воздействия других факторов. В частности, они зависят от заложенной кривизны прясел в период строительства, от взаимосвязи их со стенами башен и их конфигурацией. Наблюдения показывают, что на пряслах с прямолинейной ориентировкой их деформации приурочены к местам сопряжений с башнями, где концентрируются максимальные напряжения сжатия при нагревании прясел и усиленно наблюдается их релаксация при охлаждении.

Наименьшее сопротивление растяжению прясел оказывают стены башен квадратной и круглой формы в случае их примыкания посредине башни. Так, была зафиксирована вертикальная впадина глубиной около 0,3 м в южной стене квадратной Входной башни Пафнутьев Боровского монастыря, образовавшаяся в результате удлинения прясла стены при его нагревании и трещина отрыва, возникшая в результате релаксации напряжений в месте примыкания прясла к стене башни, ставшая своеобразным температурным швом. В стене круглой башни Михайло-Архангельского монастыря в г. Юрьев-Польский образовались вертикальные трещины раскрытием до 1–2 см [1].

Иной характер образования трещин в стенах при температурных деформациях связан с заложенной кривизной прясел, обусловленной морфологией примыкающей территории и когда их излом направлен во внешнюю сторону монастырских и оборонительных сооружений. При этом смежные участки прясел располагаются под тупым углом друг к другу. В этом случае локализация напряжений при температурных деформациях отличается от напряжений прямолинейных прясел. Их максимальная концентрация приурочена к внешней поверхности прясел с наибольшей кривизной, где у них появляется степень свободы при деформации и возникают трещины разрыва. Именно к таким участкам приурочивалась прикладка контрфорсов.

Но что объединяет некоторые особенности воздействий на деформирование различных по конфигурации прясел – это условия формирования латентных продольных трещин, которые развивались внутри прясел на границе лицевой кладки и забутовки или внутри забутовки. Объясняется эта особенность тем, что эти части стен имеют разную структуру и сложены материалами с различными теплофизическими свойствами, обусловливающими на их границе формирование влаги в результате конденсации водяных паров, при замораживании которой образуются продольные трещины.

Особую группу нарушений сохранности прясел при воздействии температурных деформаций составляют случаи, связанные с заложенными при строительстве ошибочными техническими решениями на участках стыковки прясел с поверхностью круглых и многогранных башен не под прямым, а под острым углом. В этих случаях при удлинении прясло скользит по поверхности башни, отклоняясь в сторону и образуя в кладке прясла и башни при сжатии повышенные напряжения, которые при их релаксации в процессе охлаждения приводят к образованию трещин отрыва. Подобное температурные воздействия были зафиксированы на участке примыкания прясла к круглой угловой юго-восточной башне Рождественского монастыря в г. Москве и на участке примыкания прясла к грани шестиугольной башни Митрополичьего сада Ростовского кремля под углом 45 градусов, когда надвигающееся прясло скользит по касательной и, отклоняясь во внешнюю сторону, создает аварийную обстановку.

Также редко встречающийся случай температурных воздействий на результат деформирования прямолинейных прясел был отмечен на южном участке Горицкого монастыря в Переславле-Залесском. Сравнительно невысокое прясло постройки XVII-XVIII вв. высотой 5,5 м, толщиной 2,5 м, неглубокой аркадой с внутренней стороны и длиной около 80 м имеет в средней части вертикальный прогиб на 0,3–0,4 м. Причиной этого могла стать фильтрация воды из расположенного рядом пруда, которая привела к замачиванию грунтов основания монастыря и к деструкции деревянных свай. Снижение несущей способности грунтов основания при взаимодействии фундамента стены и грунтов основания могло притягивать удлинение прясла при проявлении температурных деформаций «поглощением» его осадкой [4].

Наиболее распространенными и опасными для сохранности памятников русской архитектуры являются осадочные трещины, отражающие в стенах эволюционные преобразования в структуре оснований и фундаментов, как итог сложно протекающих парагенетически связанных процессов. Поэтому правильное дешифрирование трещин, кренов и других дефектов кладки стен позволит находить причины их развития.

В зависимости от используемого материала, формы и размера его отдельности, наличия связующего раствора кладка стен может иметь различную степень структуризации. Поэтому одни и те же силовые поля,

возникающие в стенах при наличии дефицита несущей способности в основании, по-разному будут взаимодействовать с разными структурами стен.

Особую группу трещин в стенах определяют так называемые сводчатые трещины, образующиеся в результате осадочных процессов в основаниях и подчиняющиеся синергетическому принципу самоконструирования в результате перераспределения напряжений в сохранившейся части стены после отрыва и в результате этого образуется несущий свод. Особенность этих трещин заключается в том, что геометрия этих трещин (отношение высоты сводов к их пролету) подчиняется золотому сечению. Трещины подобного генезиса встречаются не так часто, но представляют собой значительную опасность для сохранности стен памятников [3].

Подобные трещины выявлены в стенах Ивановской части Кирилло-Белозерского монастыря, на южной стене храма Рождества Богородицы в Ростове Великом, в ряде зданий исторической застройки Москвы, в соборе Авраамиева монастыря в Костромской области.

На стенах ортогональных несущих конструкций, определяющих более жесткие пространственные элементы зданий, развиваются сложные деформации, сопровождающиеся раскрытием нескольких систем различно ориентированных трещин, раскрывающих порой многофакторный процесс деформации памятника. К их числу относятся трещины, образующиеся под воздействием сил морозного пучения. По материалам наблюдений около 60% памятников архитектуры на территории Русского севера испытывают воздействия сил морозного пучения.

Таким образом, структура ИПТС становится важнейшим диагностическим признаком, позволяющим выявить слабые звенья, как продукты длительных циклических или многократных случайно повторяющихся воздействий факторов внешней среды. Поэтому в ряде случаев возникает необходимость оценивать сохранность и несущую способность сохранившихся фрагментов более древних сооружений. Они как реликты, позволяют выяснить причины развития деформаций, возведенных на этом месте новых сооружений. Подобные причинные зависимости могут быть проиллюстрированы рядом примеров.

Вошедшая в стену Нового города Кирилло-Белозерского монастыря башня старого Ивановского монастыря послужила причиной образования крупной осадочной трещины. Вскрытый фундамент башни был сохранен в качестве усиливающего элемента в основании стены Нового города, поскольку его фундаменты опираются на фундаменты башни и грунты, уплотненные сохранившимися деревянными сваями. Это и стало причиной развития осадочной трещины из-за дополнительной осадки той части стены Нового города, которая опиралась на неуплотненные ранними постройками грунты основания.

Вторым примером может служить история развития серьезных деформаций Успенского собора Рязанского кремля, построенного в конце

XVII века. Но уже в начале следующего века, после двух сильнейших ураганов, были сорваны барабаны собора и образовалась крупная трещина, разделившая собор на две части. На протяжении последующих столетий объяснение этой деформации связывали с якобы слабыми грунтами в основании, что не подтвердилось материалами последующих инженерно-геологических изысканий. К тому же никто не обращал внимание на то, что собор был построен на месте разобранных строений старого Успенского собора и бывшей Зелейной палаты, приуроченных к центральной и северной части нового Успенского собора. Южная часть собора была включена в работу с грунтами под нагрузкой до 0,5 МПа, которые до этого не испытывали никаких нагрузок. Это привело уже в первые годы к десинхронизации осадок собора и появлению осадочной трещины, которая резко увеличилась после ураганов. В результате воздействия ветровой нагрузки под фундаментами южной стены создавалась кратковременная нагрузка, превышающая допустимую нагрузку в 1,5–2,0 раза, что привело здание собора в аварийное состояние.

Приведенные примеры свидетельствуют о проявлении уникальных причинно-следственных отношениях в организации условий сохранности объектов культурного наследия. Поэтому совершенствование инженерно-геологического диагноза деформирования памятников, позволит найти объяснение тем проявлениям деформаций, причина которых связана с развивающимися в грунтах оснований памятников процессами и явлениями. Подобный подход помимо выявления причин позволяет выйти на принятие адекватных мер по предотвращению развития деформаций. При этом, чем надежнее будут выявлены причины деструкции памятника, тем более действенные меры могут быть найдены для его защиты.

Список литературы

1. Барановский П.Д. Отчет «О реставрации крепостной стены бывшего Михайло-Архангельского монастыря в г. Юрьев-Польский». М., 1938.
2. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2009. 514 с.
3. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика деформации памятников архитектуры. СПб.: Изд-во ПИ «Георекнструкция», 2013. 333 с.
4. Пашкин Е.М. Концепция инженерно-геологической диагностики деформации памятников истории и культуры // Инженерная геология. 2017. № 2. С. 22–27.

Морозов В.Н.

Геофизический центр РАН, лаборатория геодинамики, г. Москва, v.morozov@gcras.ru

СОХРАНИТЬ ПАМЯТНИКИ ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ

«Каждый обязан заботиться о сохранении
исторического и культурного наследия,
беречь памятники истории и культуры»
Статья 44 Конституции Российской Федерации

Исторические памятники России от Александровской колонны в Санкт-Петербурге до Памятника затопленным кораблям в Севастополе, и сотни других, изготовлены из «природного камня» - горных пород разного генезиса и физико-механических свойств. Извлеченные из массива и после последующей обработки, они используются в качестве архитектурных фрагментов в условиях активного воздействия окружающей среды. Перепады температур, поровое насыщение влагой, воздействие агрессивных кислотных осадков, в сочетании с техногенным воздействием и реализацией внутренних (генетически «остаточных») напряжений приводит к развитию процессов макродеструкции, которые можно наблюдать невооруженным взглядом. Примером таких процессов являются многочисленные трещины в теле Александровской колонны в Санкт-Петербурге, колоннах Исаакиевского Собора, в постаменте «Медного всадника», в постаменте памятника В.В. Маяковскому в Москве и многих других.

В 1841 году на Александровской колонне появились первые заметные трещины, а к 1861 году они значительно увеличились в размерах. Это вызвало первое беспокойство. Александром II был учрежден специальных «Комитет для исследования повреждений Александровской колонны». Комитет пришел к выводу, что они существовали изначально, но число трещин возросло и «может породить обрушение колонны». Трещины замазали мастикой. Следующий этап «реставрации» колонны произведен в 1862 году, – трещины заделаны портландцементом. В начале XX века по рекомендации Д.И. Менделеева трещины Александровской колонны были заполнены специальным клеем, в надежде прекратить их дальнейший рост. В последующие годы (до конца XX века) пять раз производились реставрационные работы, носящие косметический характер.

Реставрация Александровской колонны с использованием лесов была произведена в 1963 году, включая заделку выбоин от осколков снарядов немецкой артиллерии при осаде Ленинграда. Обследование колонны летом 2001 года показало наличие новых трещин: «Количество трещин, конечно увеличилось. В общей сложности было зарегистрировано порядка 27 трещин разной длины, а общая длина около 8 метров». Обнаружены трещины и в основании столба колонны. такого развития событий опасался Монферран,

предлагая заключить основание колонны в бронзовый обод, но это предложение не было реализовано (эти сведения и более детальные можно найти в сети Интернет и в соответствующей литературе).

Трещины можно видеть и в основании памятника Петру I («Медный всадник») – изготовленного из аналогичной разновидности гранитов, но они менее опасны с позиции инженерной защиты основания от разрушения. А вот Порфировая ваза установленна в Летнем саду Санкт-Петербурга в 1939 году (подарок Карла XIV Николаю I) в марте 2008 года «самопроизвольно» раскололась на две части из-за «усталости» камня, вызванной неблагоприятным климатом.

Наиболее существенным негативным фактором, способствующим зарождению и последующему развитию трещин в теле Александровской колонны, является проникновение влаги в поры и микротрещины (генетические и техногенные, образовавшиеся в процессе вырубки колонны из массива и последующей механической обработки). Проникая в поры и микротрещины колонны влага, превращаясь в лед в зимний период, увеличивает свой объем до 10% и вызывает сильный расклинивающий эффект, способствующий интенсивному росту микротрещин. Последующие слияние микротрещин приводит к образованию макротрещин, при этом следует обратить внимание, что процесс зарождения и развития трещины – это интегральный эффект взаимодействия остаточных напряжений и напряжений растяжения [1], вызванных замерзанием влаги в порах и микротрещинах. Минимальная температура в Санкт-Петербурге зарегистрирована в январе 1883 года и составляла –35,9°С. Отрицательные температуры в городе держатся три-четыре месяца, средний сезонный перепад температуры составляет 73°С, при этом среднее количество осадков составляет 661 мм. Таким образом, только с 1832 года по настоящее время Александровская колонна испытала как минимум 183 сезонных циклов замораживания-оттаивания.

Заделка трещин в теле колонны клеевыми составами разумеется снижает возможность проникновения влаги к вершине трещины, но не решает проблемы в целом, дело в том, что при отрицательной температуре воздуха приповерхностный слой колонны имеет отрицательную температуру, в то время как внутренние области имеют положительную. В результате, в приповерхностном слое колонны возникают значительные температурные напряжения растяжения [2-3] (хорошо известная задача Ламе, при наличии радиального температурного градиента), способствующие формированию продольных трещин в Александровской колонне. Этот процесс неотвратим, поскольку клеевой состав, заполняющий трещину, практически не препятствует концентрации напряжений в ее вершине, вызывающей подрастание трещины в радиальном направлении к центру колонны. К сожалению, в таком же положении находятся колонны Исаакиевского собора.

Как спасти Александровскую колонну:

1. Первое, что необходимо сделать, – это собрать и проанализировать имеющиеся архивные данные по изучению состояния колонны за весь исторический период ее существования, включая последние ультразвуковые исследований, оценить их уровень достоверности и информативности.

2. Спланировать и реализовать оптимальный комплекс неразрушающих методов контроля состояния колонны для выявления областей локализации микро- и макротрещин, включая построение 3D модели трещиноватости и генетической неоднородности Александровской колонны. Это позволит определить места расположения металлических бандажных обручей (при расчетных стягивающих усилиях), препятствующих развитию внешней и внутренней деструкции колонны. Эстетический ущерб неизбежен, но пример такого решения имеется, – из-за выраженных пластических свойств мрамора колонны Св. Софии в Константинополе укреплены металлическим бандажными обручами.

Для реализации проекта необходимо заключение Государственной экспертной комиссии об аварийном состоянии Александровской колонны в Санкт-Петербурге, вместе с тем представляется целесообразным предварительная научная дискуссия специалистов и, возможно, научно-практическая конференция, посвященная данной проблеме. Это позволит выяснить весь спектр мнений и определить компетентный состав экспертной комиссии.

Список литературы

1. Морозов В.Н., Беньков В.Н. Исследование разрушения горных пород при воздействиях знакопеременных температур с позиции кинетической теории прочности. Л.: Тр. ВНИИГ, 1981. С. 26–41.
2. Морозов В.Н. Остаточные напряжения в минералах и горных породах // Геология и разведка. 1980. № 12. С. 14–25.
3. Morozov V.N., Tatarinov V.N. Tectonic processes development with time in the areas of HLW disposal from expert assessment to prognosis: Int. Journal of Nuclear Energy Sience and Technology. 2006. Vol. 2. № 1/2. P. 65–74. doi: 10.1504/IJNEST.2006.010648.

Вязкова О.Е.

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии,
г. Москва, Wjask@yandex.ru

ИСТОРИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ КАК НАПРАВЛЕНИЕ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Инженерная геология традиционно занимается изучением геологической среды перед строительством нового современного инженерно-хозяйственного объекта и оценкой его взаимодействия с природным контекстом. Археология исследует по вещественным источникам историческое прошлое человечества.

Археологические памятники по своему значению относятся к общечеловеческому культурно-историческому наследию. Независимо от размера и местонахождения они зачастую являются единственными источниками исторической информации и свидетельствами хода человеческой истории. Длительность существования памятников предопределяет их состояние, отличающееся от первоначального: большинство из них представляют собой руины. Если сопоставлять их стадию существования с этапами проектирования современных сооружений, то это стадия постэксплуатации.

Необходимость изучения и сохранения археологических памятников и декларируется, и обсуждается на разных уровнях давно. У археологов существуют хорошо разработанные методики изучения дошедших до нас артефактов. Комплексное многостороннее изучение археологических памятников с привлечением специалистов разных профессий даёт возможность расширить область исследования – узнать условия хозяйственной и культурной эволюции человечества, пути миграции населения и особенности взаимодействия различных народов в прошлом.

Проектируемое ныне строительство и геологические процессы угрожают сохранности дошедших до наших дней археологических памятников, и это вынуждает археологов активно вести спасательные раскопки, чтобы сберечь хотя бы информацию, хранившуюся памятниками.

Охранять от современных варваров (вспомним ИГИЛ, разрушившее древнюю Пальмиру) и сохранять этот вид культурного наследия чрезвычайно сложно в связи с нахождением памятников часто в малоосвоенных, труднодоступных для контроля местах. А сколько ещё не найденных археологами памятников?

Историческая инженерная геология – это инженерно-геологические исследования (ИГИ) археологических памятников – новое самостоятельное направление инженерной геологии, позволяющее получать максимум информации об их функционировании на всех этапах эволюции природно-археологических систем (ПАС) от создания до музеефикации, даже в тех случаях, когда уничтожение памятника неизбежно (геологическими

процессами или проектируемым строительством) [5]. ПАС формируются одновременно с созданием исторических объектов, ставших впоследствии археологическими памятниками.

Отличие ПАС от современных природно-технических систем заключается в уникальности системообразующих объектов, их возрасте (тысячелетия), пройденных этапах функционирования (создание, эксплуатация, постэксплуатация, музеефикация), характере процессов взаимодействия между подсистемами ПАС и внешними средами [5]. От исторических ПТС (ИПТС) ПАС отличаются невозможностью продолжения функционирования по первоначальному назначению.

Рассмотрение археологических памятников с позиций системного анализа выявляет насущную необходимость использования инженерно-геологической информации при решении археологических проблем. Новый подход, основанный на проведении специальных инженерно-геологических исследований, позволяет решать задачи изучения и сохранения археологического культурно-исторического наследия.

Ну, так что же является особенностями исторической инженерной геологии, отличающими её от традиционных инженерных изысканий?

Памятники археологии рассматриваются как природно-археологические системы, находящиеся под влиянием природных воздействий и антропогенных нагрузок.

Цели и задачи, возникающие при узкоспециализированных исследованиях часто уникальных археологических памятников, очень разные и зависят от дальнейшей судьбы памятника (рисунок, таблица).

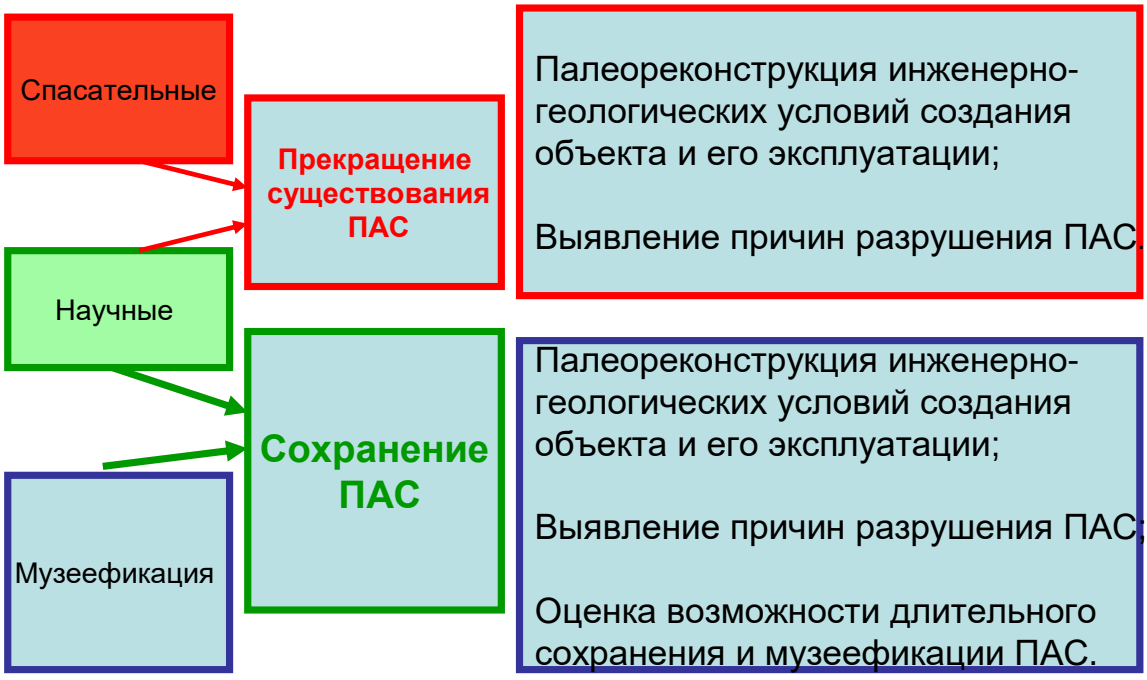


Рис. Зависимость целей инженерно-геологических исследований

от видов археологических работ

Таблица

Цели инженерно-геологических исследований при изучении памятников археологии

Направления работ	**Цели инженерно-геологических исследований**
Охранно-спасательные и аварийно-спасательные работы	Палеореконструкция инженерно-геологических условий – оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий на момент создания объекта и их влияния на характер освоения окружающей его территории и функционирование археологической подсистемы
Научно-исследовательские работы	• Палеореконструкция инженерно-геологических условий – оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий на момент создания объекта и их влияния на характер освоения окружающей его территории и функционирование археологической подсистемы. • Сохранение памятника (ПАС) в естественных условиях. • Изучение инженерно-геологических условий территории, окружающей памятник, поиск мест добычи строительного материала для решения археолого-исторических или реставрационно-реконструкционных вопросов. • Изучение строительных технологий, применявшихся древними людьми, и их взаимодействия с геологической средой
Музеефикация памятников	• Палеореконструкция инженерно-геологических условий – оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий на момент создания объекта и их влияния на характер освоения окружающей его территории и функционирование археологической подсистемы. • Сохранение памятника в естественных условиях. • Решение вопроса о возможности и способе консервации, реставрации или музеефикации памятника. • Сохранение памятника в естественных условиях с элементами инженерно-технической защиты

Компоненты инженерно-геологических условий рассматриваются с учётом их изменений во времени и с точки зрения их влияния на природно-археологические системы на всех этапах функционирования (создание, эксплуатация, постэксплуатация, музеефикация).

В соответствии с целями и задачами исследований выявляются особенности инженерно-геологического изучения археологических памятников при археологических спасательных работах, при музеефикации или региональных научных исследованиях.

Региональные инженерно-геологические исследования археологических памятников уже стали правомерным направлением в исторической инженерной геологии [2, 4]. Эти работы позволяют решать обратную задачу – прогнозировать местонахождения ещё не найденных археологических памятников на основе анализа инженерно-геологических условий расположения известных.

Мониторинг природно-археологических систем целесообразен лишь в том случае, когда на них оказывается направленное интенсивное техногенное или природное воздействие, способное привести к неблагоприятному изменению состояния ПАС или их разрушению [4].

Инженерно-геологические исследования памятников археологии являются важнейшей составной частью археологических исследований. Характер ИГИ и их детальность различны и зависят от вида археологических работ: от самого общего обследования до тщательного микроскопического изучения вещественного состава пород.

Многолетний опыт показал, что включение в комплексное изучение археологических памятников инженерно-геологических исследований повышает полноту, эффективность и информативность археологических работ, даёт возможность обоснованно принимать решение о сохранении памятников в природных условиях для будущих поколений исследователей и культуры в целом на основе прогнозных оценок функционирования ПАС и разрабатывать инженерно-геологические рекомендации при музеефикации археологических памятников.

Инженерно-геологические исследования могут и должны быть обязательной частью археологических исследований, так как они позволяют получить специальную информацию, обеспечивающую решение важнейших вопросов, стоящих перед археологами. Например:

– реконструкция исторического прошлого территории и жизни населения – воссоздание функционирования ПАС на этапах создания и эксплуатации;

– временной прогноз функционирования природно-археологических систем на этапах постэксплуатации и музеефикации;

– пространственный прогноз расположения неизвестных археологических памятников различного типа на базе инженерно-археологического районирования.

Методологические принципы изучения ПАС в рамках исторической инженерной геологии сфокусированы на получении информации, соответствующей уникальности, типу памятника, степени его сохранности, видам археологических работ (спасательных, научных, музеефикации), и требуют индивидуального подхода к комплексированию методов инженерно-геологических исследований каждого конкретного памятника.

Опыт автора по исследованию археологических памятников дал возможность утверждать, что подходы к их изучению с использованием информации о закономерностях длительных изменений в геологической среде позволяют анализировать условия современного строительства сооружений, проектируемых на большой период времени. Кроме того, историческая инженерная геология обосновывает особенности эксплуатации старинных зданий и строительства новых на территориях древних городов с длительной историей формирования локальной ПТС [1, 2, 3].

Список литературы

1. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания: учебник. М.: КДУ, 2007. 424 с.
2. Вязкова О.Е., Курдыш Е.С. Инженерно-геологические условия и прогнозирование мест расположения археологических памятников в Кисловодской котловине // Инженерные изыскания. 2016. № 2. С. 24–29.
3. Вязкова О.Е. Определение возможного нахождения археологических памятников по инженерно-геологическим условиям // Инженерная геология. 2008. № 1. С. 62–65.
4. Вязкова О.Е. Особенности мониторинга и управления природно-археологическими системами // Изв. Вузов. Геология и разведка. 2016. № 2. С. 84–86.
5. Вязкова О.Е. Природно-археологические системы: понятие, структура, этапы формирования и функционирования // Изв. Вузов. Геология и разведка. 2015. № 6. С. 57–59.

Демкин И.А.

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии,
г. Москва, igordemkin@mail.ru

ОПЫТ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ ПО РЕСТАВРАЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ (В ТОМ ЧИСЛЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ), НАХОДЯЩИХСЯ В ПРЕДЕЛАХ АКВАТОРИЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ

Вопросы сохранения объектов культурного наследия (ОКН) – как в нашей стране, так и за рубежом – всегда обладали сложной и многогранной проблематикой. Актуальность этих вопросов даже не подлежит обсуждению: пока существует человечество – существует и его культура в самом широком смысле этого понятия и сохранение материальных ценностей культурного наследия, к которым относятся в т.ч. и памятники монументального зодчества, является одной из важнейших проблем сохранения культуры в целом. В самом начале правильно будет отметить следующий факт: проблемы инженерной защиты и реставрации памятников монументального зодчества являются, пожалуй, наиболее сложными среди всего спектра реставрационных проблем. К примеру, если движимый объект культурного наследия (картина, икона, объект прикладного искусства и т.д.) в случае угрозы его состоянию со стороны окружающей среды можно поместить в искусственно созданный микроклимат и тем обеспечить его безопасность, то недвижимый памятник в подавляющем большинстве случаев находится под воздействием всех негативных факторов как природного, так и техногенного характера. Обеспечение нормальных условий функционирования и эксплуатации ОКН в этом случае требует всестороннего комплексного анализа и учета всех групп факторов влияния. Добавим сюда еще и то, что защите довольно часто подлежат не только несущие конструкции памятника, но и его декор, элементы интерьера, настенная живопись и мн. др., требующее особого реставрационного подхода, и получим самое общее представление о сложности и многогранности вопросов сохранения ОКН.

Период XX столетия в истории человечества охарактеризовался как время великих свершений и великих катастроф, и Россия не только не стала исключением, но, пожалуй, приняла на себя один из тяжелейших «ударов». Промышленная революция второй половины XIX – начала XX столетий, две мировые войны и период индустриализации между ними, послевоенное строительство никак не могли пройти даром для памятников истории и архитектуры. Причем воздействие на ОКН в разное время и в разных местах носило различный характер и могло быть в т.ч. и положительным, но в подавляющем большинстве случаев все же отрицательным, а в ряде случаев – катастрофическим.

В настоящей работе автор предлагает обратить пристальное внимание на ОКН, находящиеся в зоне влияния искусственных и естественных водоемов, а также на вопросы нейтрализации негативного воздействия окружающей среды как на сами памятники архитектуры, так и на исторические гидротехнические сооружения. В основе лежат результаты проектно-изыскательских работ, полученные автором при совместной работе со специализированной реставрационной компанией ООО «ИГИТ».

Для некоторого упрощения проводимого анализа предлагается разделить рассматриваемые в работе объекты на группы:

1. Объекты, изначально находившиеся в зоне влияния объектов гидротехнического строительства и сами являющиеся частью гидротехнических систем.
2. Объекты, не являющиеся частью гидротехнических систем, попавшие в зону влияния последних в результате их строительства.
3. Объекты культурного наследия, находящиеся в зоне влияния естественных водоемов (озер, рек, морей).

Следует отметить, что основное внимание уделяется первым двум группам, в которых объединены как наиболее интересные гидротехнические исторические объекты, сами по себе являющиеся ОКН, так и памятники, испытывающие на себе максимальное негативное техногенное воздействие современных гидротехнических сооружений.

Одним из наиболее интересных объектов с точки зрения поставленных задач является гидротехническая система Соловецкого Спасо-Преображенского монастыря, расположенная на Большом Соловецком острове. Сам монастырь расположен между Святым озером и Бухтой Благополучия на поверхности естественной дамбы. Такое расположение позволило с самого момента основания монастыря использовать для хозяйственной деятельности энергию воды (в настоящее время перепад между зеркалом воды в Святом озере и в бухте составляет около 8 м, на этапе основания обители он был несколько меньше). По мере развития монастыря озеро было превращено, по сути, в водохранилище: по системе каналов в него была собрана вода практически со всех озер Большого Соловецкого острова, что позволило построить целый ряд гидротехнических объектов: гидроэлектростанцию, оборудованную турбиной Френсиса производства Simens, водяную мельницу сначала колесного, а затем турбинного типа, лесопилку. Высокое качество воды в озере позволило монахам организовать систему водоснабжения: Поваренный корпус был оборудован водопроводом, канализационные воды сбрасывались в Бухту Благополучия по системе каналов. Для ремонта кораблей был построен Сухой док с системой каналов, обеспечивающих его эксплуатацию. В качестве водоводов изначально использовались открытые русла естественных водотоков и искусственно прорытых каналов, однако по мере расширения хозяйственной деятельности монастыря они были перекрыты и убраны под землю. В итоге на

территории обители была создана очень интересная и оригинальная гидротехническая система, состоящая из следующих основных элементов:

1. Монастырская ГЭС с системой каналов Вешняк, обеспечивающих одновременно эксплуатацию самой ГЭС (отвод излишних вод от канала ГЭС, аварийный сброс воды), работу установленной на них лесопилки и функционирование Сухого водоналивного дока.

2. Собственно Сухой док с бассейном–водораспределителем, являющимся «пультом управления» доком и направляющим воду из Вешняка либо в бассейн дока, либо через сбросной канал напрямую в бухту.

3. Мельница и мельничный канал, выходящий так же, как и Вешняк, в бассейн–водораспределитель.

Подробное изложение принципа работы системы ранее уже приводилось автором в работе конференции 2014 г. и поэтому в данной работе обходится вниманием. А вот тот факт, что постоянное поднятие уровня воды в Святом озере, связанное с ростом мощностей гидроузла, заставляло служителей и трудников постоянно реконструировать набережную водохранилища с целью защиты стен и сооружений монастыря представляет весьма серьезный интерес.

Набережная Святого озера была расширена и благоустроена в XIX веке (рис. 1, 2).

Рис. 1. Святое озеро (Соловецкий монастырь)

Рис. 2. Набережная Святого озера

Произведена отсыпка грунтом, местным камнем. Лицевая верста набережной выложена гранитными блоками (1 600–1 800 м в длину на 600–700 м в высоту). В связи с реконструкцией набережная была расширена и в настоящий момент отстоит от крепостной стены на 13–20 м. В узких местах у башен ширина набережной 8–14 м.

В настоящее время Набережная святого озера испытывает значительные деформации и крены. Согласно обследованию Государственного проектного института № 1 за 1954 г. Набережная в северной части крепостной стены уже имела просадку до 0,5 м. Кладка из гранитных блоков подверглась в этой части расслоению. Балюстрада набережной сильно накренилась, местами отсутствовала. Металлические скобы корродированны и сильно деформированы. Состояние набережной оценивалось как аварийное. Существует опасность обрушения отдельных элементов облицовочных блоков. Очевидно, что в подобное состояние конструкции набережной привело непосредственное воздействие комплекса процессов, связанных с размещением объекта в акватории Святого озера. В первую очередь это волновое воздействие, коррозия металлических элементов набережной и морозобойное разрушение ее конструкций. Особо следует выделить деструкцию (гниение) скрытых деревянных конструкций набережной.

Анализ сложившейся ситуации позволил разработать комплекс проектных решений по восстановлению геометрии набережной и возврату ее эксплуатационных характеристик:

1. Произвести снижение уровня Святого озера приблизительно на 1,5 м через систему каналов Вешняк в Белое море.

2. После частичного спуска Святого озера провести обследование основания набережной на предмет сохранности исторических деревянных свайных фундаментов.

3. В местах, где фундаменты набережной после частичного спуска озера остаются под водой, обследование и работы по восстановлению набережной проводить с устройством металлических кессонов с откачкой воды из их внутреннего пространства.

4. Осуществить разборку гранитных блоков Набережной Святого озера с их предварительной нумеровкой.

5. На участках, где это необходимо (зона проседания набережной напротив Поваренного корпуса), устроить новое железобетонное свайное основание под гранитную набережную.

6. За гранитными блоками смонтировать решетчатую железобетонную конструкцию достаточной жесткости, увязанную с конструкциями набережной и закрепить эту конструкцию анкерами в грунтовый массив, что вполне аутентично с точки зрения схемы устройства исторических деревянных систем крепления набережной.

7. Сборку гранитных блоков производить в обратной последовательности с заменой старых корродированных металлических скрепов, нагелей и тяжей.

Необходимо добавить, что аналогичный подход предлагается применять и на гранитных набережных Сухого дока и Бухты Благополучия с той разницей, что их гидрологический режим не зарегулирован, что накладывает существенный отпечаток на технологию выполнения работ, находящуюся в зависимости от приливно-отливных явлений.

В настоящее время на Соловецком гидротехническом узле ведутся активные работы по его реставрации и реконструкции, однако они касаются в первую очередь подземных водоводов (Мельничного канала и Вешняка). Вопросы реставрации набережной Святого озера не решены в связи с отсутствием решения о частичном спуске озера.

Другой чрезвычайно интересный и аналогичный пример – это набережная Сиверского озера Кирилло-Белозерского монастыря. В XIX столетии монастырь попал в зону влияния гидротехнической системы им. герцога Вюртембергского (Северо-Двинский канал), что вызвало развитие и активизацию целого ряда негативных инженерно-геологических процессов, основными из которых явились парагенетически связанные между собой подтопление территории монастыря и процесс криогенного пучения грунтов слоя сезонного промерзания, который и является одним из главных процессов, влияющих на устойчивость памятников. Кроме того, как и в случае Соловецкого гидроузла, подъем уровня водохранилища заставил выполнить работы по устройству набережной. Конструктивно набережная представляет собой систему деревянных конструкций – клетей, погребенных в толще техногенных накоплений и предназначенных для обеспечения устойчивости грунтового массива набережной, шпунтовое ограждение вдоль береговой линии, совпадающее с бровкой набережной, и валунную отсыпку, обеспечивающую защиту набережной от размыва. На текущий момент времени конструкции набережной находятся в достаточно хорошем состоянии.

Валунная противоволновая отсыпка практически сохранила свою геометрию и функции. Проведенные батиометрические работы показали отсутствие резких понижений дна в прибрежной зоне монастыря, что и обеспечило практическую геометрическую неизменяемость валунной набережной. Вместе с тем, шпунтовое ограждение, предотвращающее от деформаций как отсыпку, так и дневную поверхность между бровкой и крепостными стенами, в настоящее время получило значительный крен в сторону озера, что привело к проседанию дневной поверхности в непосредственной близости от береговой линии. Само по себе такое положение вещей не представляет непосредственной угрозы ни для конструкций крепостных стен и башен, ни для самой набережной. Однако неблагоприятное стечение обстоятельств не позволит использовать набережную в ее текущем состоянии для прохода пожарной машины (16 т/ось) (доступ пожарной машины к участкам крепостных стен и башен возможен только со стороны озера, поскольку из-за своих габаритно-весовых характеристик машина не может физически пройти на территорию монастыря).

В идею разработанных проектных решений был заложен принцип минимального вмешательства в существующие конструкции набережной. Существующие деревянные клети и шпунтины не затрагиваются принимаемыми конструктивными решениями и консервируются с возможностью их дальнейшего археологического и конструкторского изучения на любом из участков береговой линии. Геометрия набережной сохраняется без изменения. Проектируемая грунтовая дорога для пожарной машины полностью убирается в тело набережной, укрывается газоном, а сама набережная сохраняет за собой функции пешеходной зоны. Для реализации идеи проекта были приняты следующие проектные решения:

- Устройство шпунтового ограждения из буроинъекционных свай вдоль всей береговой линии.
- Устройство буроинъекционных анкерных свай для обеспечения устойчивости новой шпунтовой стенки.
- Устройство железобетонной обвязки шпунтового ограждения и железобетонных связующих элементов с анкерными сваями.
- Уплотнение грунтов основания под проектируемую грунтовую дорогу методом манжетной инъекции.
- Устройство подготовки под дорогу и дорожной одежды, скрытой рулонным или посевным газоном.
- Устройство мостового перехода на участке прохода речки Свияги под крепостной стеной и набережной.

В настоящее время проект прошел согласование органов охраны культурного наследия и ждет реализации.

Принципиально другим объектом, находящимся в акватории Белого моря, является т.н. Муксалминская дамба, представляющая собой каменную набросную дамбу, соединяющую между собой о. Большой Соловецкий и о. Большая Муксалма. Дамба в средней части имеет арочные пролеты для

пропуска кораблей, по ее поверхности проложена дорога. Конструкции дамбы обследовались в разное время специалистами ФГУП «Центральные научно-реставрационные проектные мастерские» (ФГУП ЦНРПМ), автор настоящей работы привлекался в качестве рецензента на эскизный проект реставрации.

Находясь в акватории Белого моря, дамба подвергается всему комплексу связанных с ней воздействий. Основная роль в ее разрушении принадлежит морской абразии. Однако сама конструкция дамбы, определяющая ее высокую пустотность, позволяет сводить к минимуму разрушительное влияние этого процесса (тело дамбы «пропускает» через себя массу воды, постепенно гася энергию волн). Вместе с тем, при обследовании обнаружены кованные скрепы, стягивающие между собой отдельные валуны, создающие своеобразные диафрагмы и обеспечивающие пространственную жесткость конструкций Дамбы (в настоящее время скрепы подверглись значительной коррозии), а также деревянные конструкции, в настоящее время практически разрушенные.

На основании выполненного обследования сделан вывод об аварийном состоянии Дамбы в целом и разработан эскизный проект реставрации дамбы, предусматривающий следующий состав работ:

- Устройство скрытых несущих железобетонных конструкций (сваи, ростверки, стойки, балки) на участке арочных ворот для восприятия нагрузок от автотранспорта.
- Замена грунтового покрытия и устройство несущих конструкций в виде сборных железобетонных плит с дорожным покрытием.
- Частичная переборка массива дамбы (в первую очередь наружных блоков).
- Заполнение пустот в каменной кладке «насухо», восстановление массива каменной кладки в местах утрат «насухо».
- Реставрация существующих и восстановления утраченных наружных связей, кованых штырей и кованых скоб.
- Восстановление каменной кладки с устройством единого уровня дорожного покрытия.
- Восстановление ограждения дамбы.

Автором настоящей работы как рецензентом было предложено заменить деструктированный деревянный каркас дамбы на железобетонную пространственную конструкцию с повышенными характеристиками W и F, одновременно придающими пространственную жесткость дамбе и не снижающие ее проницаемость.

В середине XX века в СССР был реализован масштабный проект строительства каскада Волжских ГЭС. При этом масштабы культурного бедствия трудно переоценить, достаточно вспомнить один только несчастный город Молога, полностью ушедший на дно Рыбинского водохранилища. Памятниками этих событий сейчас являются такие объекты, как Калязинская колокольня в акватории Угличского водохранилища и руины храма Рождества Христова села Крохино в акватории Шекснинского водохранилища (рис. 3).

Судьбы рассматриваемых памятников различны: первый является ОКН федерального значения, второй же не включен в перечень ОКН, да и вряд ли там окажется. Однако подход к сохранению обоих памятников оказался сходным: вокруг них насыпаны искусственные острова (в случае крохинской церкви это сделано силами волонтеров), которые и спасают объекты от неминуемого разрушения во время ледохода. В то же время негативное влияние всех остальных факторов (переувлажнение конструкций за счет капиллярного поднятия с последующим морозобойным разрушением кладки, например) сохраняется в полной мере. Кроме того, в обоих случаях искусственные острова подвергаются постепенному разрушению за счет развития процессов речной эрозии и ледового воздействия.

Рис. 3. Руины храма Рождества Христова в акватории
Шекснинского водохранилища (с. Крохино)

На основании анализа материалов инженерных изысканий и технических обследований был выработан определенный подход, направленный на сохранение объектов такого типа. Предлагаемые проектные решения состоят из следующих пунктов:

- Цементация фундаментов памятников методом манжетной инъекции с целью обеспечения доставки вяжущих растворов в конкретные горизонты и их ускоренного твердения под водой.
- Предварительное инъектирование кладки стен и устройство отсечной гидроизоляции для предотвращения капиллярного увлажнения конструкций.
- Восстановление геометрии разрушенных участков искусственных островов, укрепление их береговых линий при помощи валунных отсыпок, габионных конструкций и т.д.

Здесь следует отметить, что для объектов подобного типа одним из основных видов изысканий должны стать гидрологические и батиометрические

исследования, без которых просто невозможна разработка соответствующих проектов. Если остановиться на крохинской церкви, то вопросы ее сохранения осложняются руинированным состоянием. Поэтому первым этапом работ на этом объекте должна стать его консервация с применением силовых лесов и выполнением укрепляющей цементации сохранившихся руин (работы тем более сложны, что на объекте нет электричества, а доставка строительных материалов и изделий возможна только водным путем).

Резюмируя все вышеизложенное, нельзя не сделать вывод о том, что при работе с ОКН, находящимися в акваториях или непосредственно контачащими с ними, спектр проблем и вопросов значительно расширяется. Принятие тех или иных проектных решений в этом случае просто невозможно без детальнейших инженерных изысканий, среди которых инженерно-геологические и инженерно-гидрометеорологические изыскания играют ведущую роль. Однако одними только инженерными изысканиями обойтись тоже не представляется возможным. Основное – это голова проектировщика, его способность комплексно оценивать ситуацию и разрабатывать адекватные проектные решения, не забывая о принципе «не навреди».

Буфеев Ф.К., Демкин И.А., Кувшинников В.М.

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии,
г. Москва, igit-1@mail.ru

ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К РЕСТАВРАЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ НА ПРИМЕРЕ УСПЕНСКОГО СОБОРА В СВИЯЖСКЕ (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)

Реставрация объектов культурного наследия требует привлечения большого количества специалистов различного профиля – инженер-геологов, строителей, архитекторов, искусствоведов, художников и др. Это связано с уникальностью каждого объекта, которая каждый раз требует оригинального подхода как к изучению, так и к принятию проектных решений.

Само изучение исторических природно-технических систем всегда приносит много сюрпризов. Большинство сооружений, построенных в течение последних ста лет и строящихся в настоящий момент, имеют точные планы конструкций и описание использованных материалов. При этом всем специалистам известны строительные технологии, применявшиеся при возведении этих сооружений. Когда же речь идёт об обследовании более древних сооружений, зачастую исследователи сталкиваются с нестандартными конструктивными решениями. Никто не знает, как проходился фундаментный ров, были ли использованы деревянные конструкции в основании сооружения, из какого материала и по какой технологии возводились фундаменты и стены, и т.д. В этом и состоит основная прелесть, и вместе с тем сложность проведения реставрационных работ – нужно точно определить все параметры обследуемого сооружения и разработать комплекс мероприятий в соответствии с гиппократовским принципом «primum non nocere» (прежде всего – «не навреди»).

К сожалению, в подавляющем большинстве случаев специалисты попадают на объект, который уже испытывает серьёзные проблемы. И приходится в экстренном режиме изучать грунты основания; фундаменты; надземные конструкции; процессы, протекающие в пределах сферы взаимодействия данной исторической природно-технической системы; не забывая при этом про основную эстетическую ценность – внешние архитектурные и художественные формы.

В качестве примера авторами приводится объект культурного наследия федерального значения, включенный нынешним летом в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО – Успенский собор, входящий в ансамбль Богородице-Успенского мужского монастыря. Монастырь расположен по адресу Республика Татарстан, Зеленодольский район, село Свияжск, Успенская площадь.

Строительство Успенского собора началось в 1556 г., и завершилось в 1560 г. Здание храма представляет собой композицию, состоящую из

разновысотных объемов, построенных в разное время – основного собора и трапезной части. С южной и северной стороны к храму примыкают галерея и паперть. Паперть представляет собой остатки северного придела, в настоящее время разобранного. Под всем зданием собора имеются подвальные помещения. В интерьере храма сохранилась в полном цикле единственная в России высокохудожественная настенная монументальная фресковая живопись второй половины XVI в. площадью в 1 080 м^2. Расписаны стены, купол, своды, откосы проемов и столбы.

В 1923 г., после прихода большевиков к власти, монастырь был закрыт. На протяжении XX века в Успенский собор эксплуатировался не по назначению – в нём располагались тюрьма и психиатрическая больница. Итогом этого стало в т.ч. частичное разрушение уникальных фресок. Храм пришёл в аварийное состояние, о чём свидетельствовали вывалы кладки из замковых частей подпружных арок и сводов.

С середины прошлого века различными специалистами, в первую очередь из Межобластного научно-реставрационного художественного управления (АО «МНРХУ»), велись работы по изучению и сохранению фресок, но комплексное обследование собора впервые было проведено лишь в 2015 г. Работы производились сотрудниками компании ООО «ИГИТ» при непосредственном участии авторов.

В результате изучения грунтов основания были сделаны следующие выводы. В инженерно-геологическом строении площадки изысканий выделяются техногенные накопления, представленные суглинками и супесями, а также средне-верхнечетвертичные аллювиально-делювиальные отложения, представленные супесью твердой желтовато-коричневой макропористой слабопросадочной с многочисленными вертикальными и субвертикальными цилиндрическими полостями, сформировавшимися по корням отмерших растений. Диаметр полостей достигает 1,5 см, длина более двух метров. Полости заполнены кальцитом, и имеют сердцевину из разложившейся древесины. Расстояние между полостями составляет 1–10 см.

Учитывая сложное происхождение и особые инженерно-геологические условия территории в Казанском (Приволжском) федеральном университете на рентгеновском дифрактометре был определён минеральный состав грунта. Результаты исследований показали, что в строении супесей принимают участие следующие минералы: кварц (68,7–68,9%), альбит (2,14–8,18%), слюда (3,07–5,46%), микроклин (3,96–7,97%), хлорит (3,65–3,94%), кальцит (1,47–1,90%), доломит (2,73–3,02%), диопсид (в одной пробе –2,81%), амфибол (2,77–3,34%).

Результаты исследований заполнителя полостей показали, что в их строении принимают участие следующие минералы: кварц (44,67%), альбит (4,20%), слюда (4,37%), микроклин (1,72%), кальцит (43,12%), доломит (1,92%).

Для изучения структуры грунтов инженерно-геологического элемента ИГЭ-2 в Казанском (Приволжском) федеральном университете была выполнена

рентгеновская компьютерная томография (РКТ) на системе Phoenix V”tome”x S 240.

Архивные и натурные исследования, историко-генетический архитектурный анализ свидетельствуют о том, что Успенский собор имеет архитектурные и художественные атрибуты, характеризующие историко-культурную и духовную жизнь Российского государства в XVI–XIX вв. Собор представляет собой четырехстолпный, одноглавый, трехапсидный крестовокупольный храм с алтарем (XVI в.) и трапезной (XVII в.), на подклете. Храм с алтарем выстроены из белого тесаного камня, трапезная − из кирпича.

Для изучения конструкции и оценки технического состояния фундаментов Успенского собора в ходе полевых работ были пройдены шурфы и пробурены скважины через тело фундамента.

Результаты обследования показали, что фундаменты собора ленточные, под пилонами – отдельные столбчатые. Кладка рядная, выполнена из блоков известняка и доломита грубой тёски на известково-песчаном растворе. Отдельные блоки разбиты трещинами раскрытием до 7 мм.

В конце XIX века в подклете под четвериком была установлена калориферная печь системы Аммосова. Дымоход от неё вывели под подошвой фундамента центральной апсиды. При проходке шурфов в алтарной части было установлено, что нижняя часть фундамента центральной апсиды разобрана для вывода дымохода. Но после разборки трубы полость под подошвой фундамента не была заделана, и на момент проведения исследований фундамент «висел» в воздухе. При обильных дождях вода собиралась в основании дымохода и фильтровалась через закладку из кирпича на портландцементе, вскрытую при проходке шурфа внутри храма. При этом часть воды инфильтровалась в грунты основания – просадочные супеси. Эти факторы послужили основной причиной деформации центральной апсиды, раскрытие трещин в стенах которой достигало 3 см.

Глубина заложения фундаментов четверика от уровня пола подвала составляет 0,20–0,30 м, от поверхности земли – 2,95–3,17 м. Мощные своды 24-метрового храма опираются на пилоны, стоящие на отдельных столбчатых фундаментах. Расчетное сопротивление грунтов основания изменяется в пределах 284,6-404,8 кПа. Нагрузки на подошву фундамента составляют 140–538 кПа. Недостаточная несущая способность грунтов основания, обусловленная малой глубиной заложения фундаментов пилонов, и являлась основной причиной деформаций собора наряду с просадочностью этих грунтов.

Стены четверика собора выложены из блоков грубо тесаного известняка на известково-песчаном растворе. Несущие конструкции стен трапезной части выложены из керамического кирпича на известково-цементном растворе. Изнутри стены трапезной так же расписаны более поздним по стилю письмом. Снаружи собор, как и подвал, окрашен белой краской без штукатурки, которая была снята в процессе предыдущих реставрационных работ.

В стенах собора проходили деревянные внутристенные связи, которые в настоящее время полностью сгнили. Зафиксировано несколько сквозных трещин в оконных проемах и перемычках южной и северной стены. Так же деформации прослеживаются на алтарных апсидах.

Одной из серьезных проблем был неустановившийся температурно-влажностный режим конструкций, в результате чего на стенах проявлялись высолы, стены были переувлажнены. Результатом переувлажнения белокаменных стен явилась коррозия кованых металлических левкасных гвоздей[1], которыми крепится к стене левкасная штукатурка росписей собора. Корродируя, гвозди проявлялись на поверхности, отрывая левкасный слой от стены. В подвале, ввиду высокой влажности несущих конструкций, покрасочный слой белой краски отслаивается от поверхности белокаменный стен.

Перекрытия в храме сводчатые, различных конструктивных схем. Своды по собору и трапезной покрыты росписями. Собор перекрыт ступенчатыми арками из известнякового камня, удерживающими барабан. Подвал под собором перекрыт сомкнутыми сводами, поддерживаемыми подпружными арками. Над трапезной частью сомкнутый кирпичный свод на распалубках. Подвальная часть под трапезной и галереями перекрыта цилиндрическими сводами.

Самые серьезные деформации фиксировались на подпружных арках в четверике собора. Наибольшие деформации испытывала юго-западная подпружная арка. В ней сформировались трещины раскрытием 45 мм, образовался блок вывала в щелыге свода. В результате осадочных деформаций изменена геометрия остальных подпружных арок. По сводам зафиксированы многочисленные трещины осадочного характера.

На основании результатов комплексного изучения инженерно-геологических условий территории собора, его архитектурных и конструктивных особенностей в соответствии с техническим заданием, выданным ГУП «ТАТИНВЕСТГРАЖДАНПРОЕКТ», специалистами ООО «ИГИТ» были разработаны проектные решения по усилению надземных конструкций собора, фундаментов и грунтов основания Успенского собора. Для улучшения состояния памятника были запроектированы и выполнены в период с сентября 2016 г. по ноябрь 2017 г. следующие виды работ.

1. Для повышения несущей способности фундаментов и оптимизации условий работы грунтов на контакте фундамент-грунт выполнено инъектирование фундаментов и контакта фундамент-грунт.

2. Для стабилизации осадок алтарной части выполнены работы по восстановлению фундамента центральной и северной апсиды, разобранного в XIX веке для прокладки дымохода Аммосовской калориферной печи.

3. Для предотвращения попадания атмосферных осадков в конструкции фундаментов в восточной части собора запроектированы и выполнены работы

[1] Левкасный гвоздь-кляммер, которым крепился слой штукатурки для фрески.

по устройству вертикальной гидроизоляции с использованием материала «Натлен-1».

4. Для компенсации выпора грунта из-под подошвы фундамента, которое происходит из-за малой глубины заложения фундаментов от пола подклета, выполнено устройство пригружающей железобетонной плиты, которая работает за счёт анкерных свай.

5. Для заполнения трещин, образовавшихся в стенах и сводах собора, выполнено инъектирование трещин высокоподвижной ремонтной смесью Oxal VP I T flow.

Таким образом, на этом уникальном по своей красоте объекте сотрудниками компании ООО «ИГИТ» был выполнен комплекс реставрационных работ, включивший в себя:

1. исследования конструкций собора и грунтов основания;
2. разработку противоаварийных мероприятий;
3. выполнение противоаварийных мероприятий в течение 14 месяцев.

Чернышев С.Н., Рубцов И.В., Елманова Е.Л.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Институт гидротехнического и энергетического строительства (ИГЭС), кафедра инженерных изысканий и геоэкологии, г. Москва, 9581148@list.ru

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАСАДА ПАМЯТНИКА АРХИТЕКТУРЫ

Представлено описание неровности поверхности фасадной стены памятника архитектуры конца XIX века Церкви Спаса Нерукотворного, построенного по проекту В.М. Васнецова. Обмерные работы производились при помощи электронного тахеометра Trimble S6. Рельеф стены был создан при строительстве в подражание новогородскому образцу XII века церкви Спаса Преображения на Нередице в Новгороде. Изучение рельефа проводилось с целью разработки рекомендаций для реставраторов, которые, зачастую считают неровности стены дефектами первичной кладки и при реставрации стену делают гладкой.

Целью данной работы является выявление закономерности распределения неоднородностей поверхности стен церкви Спаса Нерукотворного, расположенной в Музее-заповеднике «Абрамцево» [1] (рис. 1, 2). Обмеры произведены в январе 2017 г. при помощи электронного тахеометра Trimble S6. Точность измерений составляла ±1 мм, шаг точек сканирования – до 1 см.

Рис. 1. Церковь Спаса Нерукотворного в Музее-заповеднике «Абрамцево» (http://www.abramtsevo.net)

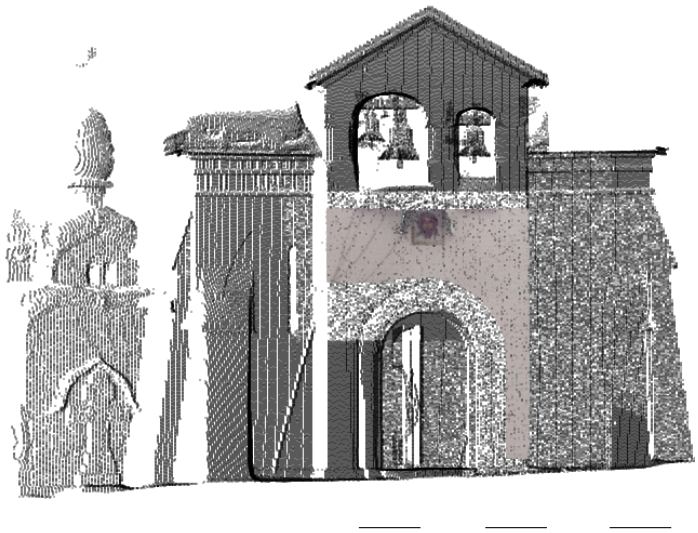


Рис. 2. Сканограмма западного фасада церкви Спаса Нерукотворного в Абрамцеве

На основе данных, полученных в ходе сканирования объекта [2, 3], с помощью программных средств были построены профили кирпичного контрфорса, горизонтальный и вертикальные профили стены. С помощью программы AutoCAD определены величины отклонений поверхности стены от среднего значения плоскости (профили стены спроецированы на плоскости xz и yz, а плоскость стены принята за плоскость xy). Отклонение от плоскости стены характеризует величина координаты z (рис. 3).

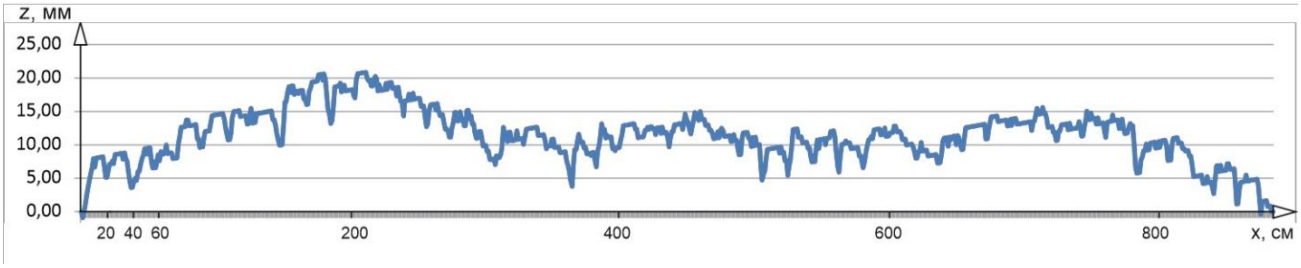


Рис. 3. График отклонений от плоскости стены (координата z) для профиля № 4

Принимаем поверхность стены за реализацию случайной функции в трехмерном пространстве. График на рис. 3 является плоским вертикальным сечением случайной поверхности. Как видно, он имеет плосковершинный характер с узкими острыми провалами между плоскими вершинами. Амплитуда волны составляет порядка 5 мм. Однако волны не тождественны. Местами провалы составляют только 1-2 мм, местами же достигают семи и даже десяти миллиметров. Вершины соответствуют поверхности отдельных кирпичей кирпичной кладки, а провалы между ними швам кладки. Имеется так же вторая длинноволновая гармоника в неровности стены. Длина волны здесь составляет от одного до 3-4 м. Для сечения случайной поверхности, показанной

на рис. 3, подсчитана автокорреляционная функция и построен её график (рис. 4).

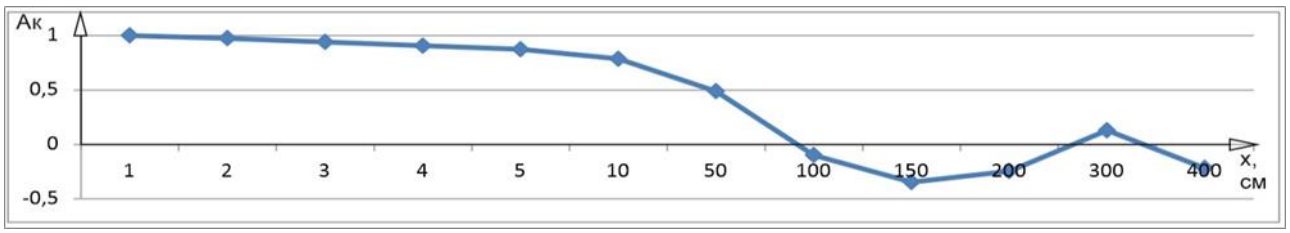


Рис. 4. График автокорреляционной функции (по вертикали - значения коэффициента корреляции, по горизонтали – расстояние в см) для профиля № 4 (горизонтальный профиль – 800 точек)

Также построены графики автокорреляционной функции для других сечений случайной поверхности стены (рис. 5 и 6).

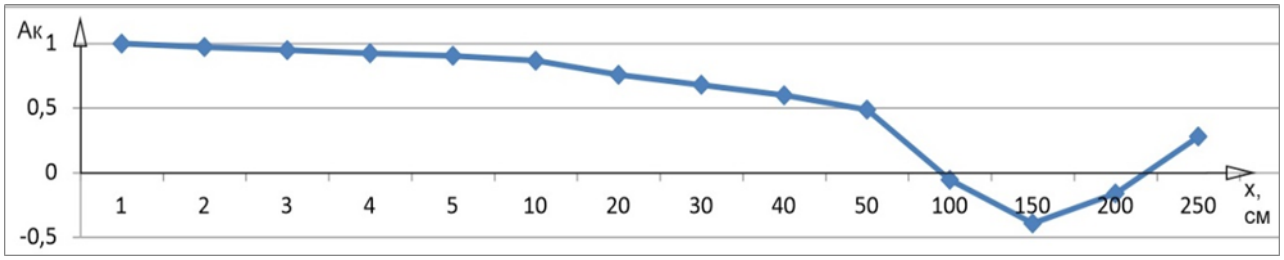


Рис. 5. График автокорреляции по профилю № 1 (вертикальный профиль – 400 точек)

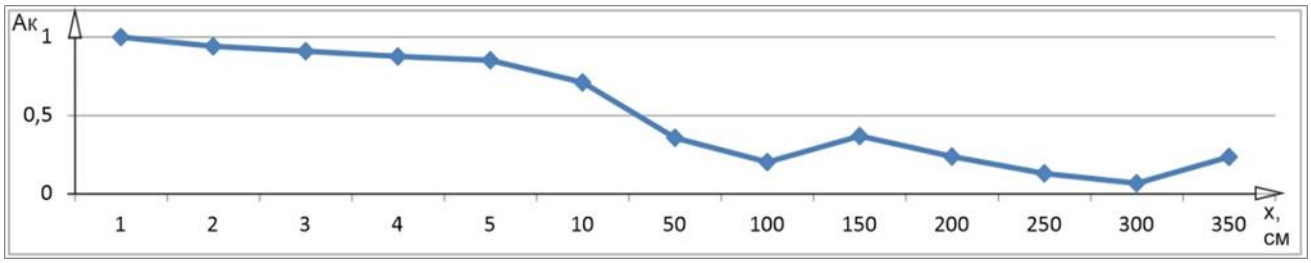


Рис. 6. График автокорреляционной функции (по вертикали – значения коэффициента корреляции, по горизонтали – расстояние, см) профиля № 3 (вертикальный профиль – 633 точки)

На всех графиках видно, что есть значительная автокорреляционная связь на первых пяти сантиметрах, то есть в пределах одного кирпича, а далее связь ослабляется. Однако положительный характер её сохраняется до 50 см. На расстоянии 150 см связь носит отрицательный характер. На этом расстоянии гребень волны коррелируется со впадиной. Длина волны крупной гармоники составляет, по данным расчёта, около 300 см. Это подтверждается тем, что на расстоянии 300 см восстанавливается положительное значение коэффициента корреляции. Однако связь на этом расстоянии слабая. Поверхность стены является случайной функцией, отличной от «белого шума», от случайной

величины, для которой характерно отсутствие связи между соседними значениями в поле точек. Длина волны укладывается небольшое количество раз (до двух-трех) в габариты памятника по длине и высоте фасада. Для горизонтального направления длина большой волны в два раза больше, чем для вертикального. Такое соотношение длин волн служит созданию впечатления о большой высоте храма.

Рис. 7. Окно южного фасада церкви Спаса Нерукотворного в Музее-заповеднике «Абрамцево» (http://www.abramtsevo.net)

Созданные по замыслу В.М. Васнецова неровности стены при названном соотношении длин вертикальной и горизонтальной волн служат восприятию храма, как более высокого. Неровности первого и второго порядка создают игру теней на поверхности стены при боковом освещении, что украшает фасад с редкими и малыми окнами, как делали в средние века на Руси. Предположить, что неровность стены образовалась из-за низкой квалификации каменщиков не позволяют два факта. Во-первых, церковь в усадьбе миллионера и строителя железных дорог С.И. Мамонтова строилась в период, когда он руководил строительством многих вокзалов, в том числе Ярославского вокзала в Москве, которые имели идеальные плоскости поверхности фасадов. Именитый владелец располагал достаточными финансовыми средствами для приглашения высококвалифицированных мастеров для строительства церкви в своей усадьбе. Во-вторых, известно, что резные белокаменные узоры для храма выполняли на месте все участники Мамонтовского художественного кружка, не только художники, но их жены, дети и гувернеры, чтобы эти узоры имели дефекты резьбы и были неоднородны, несколько асимметричны. Если относительно каменной резьбы известна такая предусмотренная проектом неоднородность, то относительно плоскости стены это не описано в архивных документах. Наше приведенное исследование является первым описанием неоднородности плоскости стены.

Список литературы

1. Борисов А.Е. Русская архитектура второй половины XIX века. «Русский стиль». Новые тенденции в русской архитектуре конца XIX века. М.: Наука, 1979.
2. Коргин А.В., Захарченко М.А. и др. Анализ нормативной документации по мониторингу технического состояния зданий и сооружений, совершенствование методов мониторинга на базе центра структурированных систем мониторинга // ФГБОУ ВПО «МГСУ», Вестник МГСУ. 2011. № 8. С. 212-221.
3. Рубцов И.В. Задачи мониторинга на стадии эксплуатации сооружения // Интеграл. 2007. № 6. С. 102–103.

Бондарев М.В., Буфеев Ф.К., Кувшинников В.М., Формальнов А.В.

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии,
ООО «Инженерная геология исторических территорий» (ООО «ИГИТ»), г. Москва, igit-1@mail.ru

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ И ИЗУЧЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ФУНДАМЕНТОВ КРЕПОСТНЫХ СТЕН И БАШЕН НА УЧАСТКЕ: СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ БАШНЯ—ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАШНЯ АНСАМБЛЯ САВИННО-СТОРОЖЕВСКОГО МОНАСТЫРЯ

Саввино-Сторожевский ставропигиальный мужской монастырь был основан в конце XIV века. Он расположен на горе Стороже у места впадения речки Сторожки в Москву-реку в двух километрах западнее города Звенигорода Московской области. В 1650–1656 гг. были построены основные здания и крепостные стены (длина 760 м, высота 8–9 м, толщина — около 3 м) с 7 башнями, из которых до наших дней сохранилось шесть. В монастырской ограде были сооружены храмы: надвратный во имя преподобного Сергия Радонежского (1651–1652 гг.), позже переосвященный в честь Живоначальной Троицы; Преображенский (вторая половина XVII в.), а также звонница и Трапезная палата (1650-е гг.), Царский дворец и Царицыны палаты (1650-е гг.), Братский и Келейный корпуса и другие сооружения. В 1919 г. мощи прп. Саввы были конфискованы, а монастырь закрыт. В советское время в обители размещались различные учреждения: воинские части, санаторий, музей. В 1995 г. монастырь был возрожден. Во время празднования 600-летия обители в 1998 г. Святейший Патриарх Алексий II торжественно перевез в него мощи преподобного Саввы [1].

Ансамбль Саввино-Сторожевского монастыря в инженерно-геологическом плане достаточно хорошо изучен следующими организациями: Мособлгеотрест (1988, 1992 гг.), ООО «Сингеос» (2005 г.), ООО «ИГИТ» (2006, 2013 гг.). Кроме того, в 2013–2014 годах сотрудники организаций ООО «ИГИТ» проводили работы по укреплению фундаментов и грунтов основания Красной башни путём цементации и уплотнения, а в 2016–2017 гг. был реализован проект укрепления склона холма Сторожи.

В 2017 г. сотрудниками компании ООО «ИГИТ» проводились работы по изучению инженерно-геологических условий и технического состояния исторической природно-технической системы (ИПТС): крепостных стен и башен на участке Северо-западная башня—Юго-восточная башня Ансамбля Саввино-Сторожевского монастыря. Целью настоящих изысканий являлось получение необходимых инженерно-геологических материалов в объеме, достаточном для разработки проектной документации для реставрации крепостных стен и башен.

Проведенные инженерно-геологические исследования включали в себя следующие виды и объемы работ: сбор и анализ архивных материалов;

проходка инженерно-геологических скважин; плановая и высотная привязка горных выработок; инженерно-геологическое опробование выработок; испытание грунтов статическим зондированием; лабораторные определения физико-механических и химических свойств грунтов; лабораторные определения коррозионной агрессивности грунтов; лабораторные определения химических свойств воды; камеральная обработка материалов изысканий, составление технического заключения.

На основании анализа пространственной изменчивости частных показателей свойств грунтов, определенных полевыми испытаниями грунтов, лабораторными методами было выделено 20 инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

В геолого-литологическом строении до глубины 26,5 м принимают участие сверху вниз: современные техногенные отложения (tQIV), среднечетвертичные аллювиально-флювиогляциальные отложения московского оледенения (a,fQIIms), среднечетвертичные ледниковые московские отложения (gQIIms), среднечетвертичные ледниковые днепровские отложения (gQIIdn), нижнее-среднечетвертичные флювиогляциальные окско-днепровские отложения (fQI-II o-dn), верхнеюрские морские отложения волжского яруса (J3v).

Подземные воды в пределах изученного разреза до глубины 26,5 м. встречены только в нижней части участка крепостной стены от Северо-Восточной до Красной башен, и на участке от Красной до Восточной башен. Воды представлены одним смешанным водоносным комплексом, вскрытым на глубине около 18,0 м на абс. отм. 150,25 м. Водовмещающими породами служат флювиогляциальные пески мелкие и верхнеюрские пески пылеватые. Нижним водоупором для подземных вод I горизонта служат полутвердые юрские глины. Необходимо отметить возможность образования локальных зон проявления верховодки в техногенных накоплениях на поверхности глинистых грунтов в период интенсивных дождей и снеготаянии.

В целом проведённые инженерно-геологические изыскания подтвердили данные о геологическом строении и гидрогеологических условиях участка, полученные ранее.

В процессе выполнения инженерно-технического обследования фундаментов и грунтов основания сооружений была выполнена проходка инженерно-геологических шурфов, в которых уточнялись глубины заложения, состояние и прочность каменных конструкций фундаментов и исследовались сохранность вертикальных деревянных конструкций-свай, на которые опираются каменные конструкции фундаментов сооружений.

Результаты обследования показали, что фундаменты прясел крепостных стен и северо-восточной башни ленточные состоящие из: рядной кладки керамического кирпича на известково-песчаном и цементно-песчаном растворах средне выщелоченном местами выщелоченном полностью, кладка разбита трещинами и поражена мхом; рядной кладкой из блоков и глыб

карбонатных и магматических горных пород грубой и чистой тески реже валунов на суглинке и известково-песчаном растворе, выщелоченном полностью, заполнитель раствора представлен дресвой кирпича; щебня керамического кирпича реже известняка, служащего выравнивающим слоем фундаментного рва. Глубина заложения фундаментов прясел и северо-восточной башни: от уровня поверхности земли и кирпичной отмостки, составляет 0,80-2,80м. (а.о. подошвы фундаментов 165,98-176,81м.).

При проведении работ в основании фундаментов сооружений шурфами были вскрыты остатки от сгнивших вертикальных деревянных конструкций - свай, представляющие собой полости – «стаканы». Полость – «стакан» деревянной сваи имеет коническую форму. Длина конструкций – 70-140 см, остаточный диаметр 8-18 см, шаг забивки свай 8-50 см, порядок забивки в большинстве случаев шахматный. В большинстве случаев сваи были забиты вертикально, но встречаются конструкции, со значительными углами. Необходимо отметить, что оголовки деревянных конструкций «входят» в тело каменных конструкций фундаментов на величину до 20 см, но ввиду того, что тело сваи полностью деструктировано с образованием «стакана» в местах входов оголовков в тело каменных фундаментов остаются полости-отпечатки соизмеримые с первоначальным диаметром сваи по размеру, близкие по форме. Ниже отметки подошвы каменных конструкций, свайные полости, как правило, имеют меньшие размеры, ввиду процессов конвергенции (схлопывания) стенок полостей.

Короткие деревянные сваи широко применялись при строительстве памятников XV – XVIII вв. и носили функции уплотнителей грунтов основания. При погружении свай забивкой вокруг них происходит формирование зоны уплотненного грунта (грунтовой «рубашки»). Диаметры «рубашек» одиночных свай составляли в среднем 3d (d – диаметр сваи). При устройстве свайных полей зоны уплотнения грунтов достигают больших величин и могут составлять (7÷11) d и более. Таким образом, на начальном этапе функционирования исторической ПТС в основании памятника формировалось уплотненное грунтовое ядро, способное выдерживать значительные нагрузки от сооружения. Древесина свай, попадая под агрессивное воздействие грунтовой среды, практически сразу начинала разрушаться. Скорость развития этого процесса зависит от условий, в которых он протекает и, в первую очередь, от наличия в зоне свайного основания свободного кислорода и оптимального уровня влажности. Разрушение свай сопровождается формированием открытых полостей - «стаканов», приводящим к ослаблению основания в целом. Начинается разрушение структуры межсвайных грунтов. Наиболее интенсивно это разрушение протекает на контурах свайных полостей и постепенно перемещается вглубь целиков грунтов основания. В конечном счете, это приводит к разуплотнению грунтов основания и снижению показателей их прочностных и деформационных свойств [2].

На участке размещения фортификационных сооружений Саввино-Сторожевского монастыря в основании отсутствуют грунты и подземные воды, способные играть роль защитного буфера на пути миграции кислорода. Свайное основание памятника полностью находится в зоне аэрации и преимущественно в проницаемых грунтах (песках). В связи с этим гниение деревянных свай протекало с высокой скоростью. В настоящее время сваи полностью разрушены, тело сваи замещено инфлювием[2]. Межсвайные целики грунта разуплотнены по сравнению с грунтами, находящимися за пределами свайных полей. Учитывая шаг забивки свай 8–50 см, можно сделать вывод, что разуплотнению подвергся весь массив грунтов основания сооружений, находящийся в зоне свайного основания.

Таким образом, в результате гниения деревянных свай в основании прясел и башен Саввино-Сторожевского монастыря на контакте фундамент-грунт сформировалась зона слабых разуплотненных грунтов, не способных выдерживать нагрузки от сооружения. Это является одной из основных причин деформаций сооружений. Учитывая конструктивные особенности фундаментов (отсутствие пространственной жесткости и низкие значения сопротивления сжатию элементов фундаментных лент), параметры разрушенных свайных полей и состояние надземных несущих конструкций, можно утверждать, что осадки сооружений могут достичь критических величин, что может повлечь за собой значительные деформации.

В деструкции древесины в основании сооружения можно выделить следующие этапы: 1) полная сохранность свай; 2) деструкция оголовков; 3) деструкция свай по всей длине с сохранением внешней структуры и формы; 4) деструкция свай до состояния трухи; 5) образование открытых полостей на месте деструктированных свай; 6) заполнение свай инфлювием за счет естественных процессов; 7) заполнение свай вторичным материалом за счет искусственных процессов (цементация, силикатизация и т.д.) [2].

Анализ состояния свай в основании показал, что в настоящее время процесс деструкции находится на 6 стадии.

Состояние вертикальных деревянных конструкций фундаментов-свай – **аварийное**.

Кроме того, в процессе проведения работ по обследованию фундаментов сооружений производилась проходка скважин алмазного сверления диаметром 58 мм на глубину заложения. Проходка осуществлялась электрическим буровым оборудованием колонковым способом, исключающим ударное и вибрационное воздействие на конструкции сооружений. В процессе проходки фиксировались: материал фундамента, выход керна, скорость проходки. После проходки в скважину опускался видеозонд, который вёл непрерывную запись

[2] Здесь и далее в тексте инфлювий – техногенный супесчаный грунт, темно-серого до черного цвета, рыхлый, влажный, обогащенный органикой, с включениями мелкого щебня кирпича и известняка и известково-песчаного раствора, остатками древесных волокон.

на персональный компьютер – телеметрические исследования внутренней структуры фундаментов.

Данный метод позволяет более точно изучать внутреннюю структуру, фиксировать наличие и размер пустот и другие дефекты каменных кладок конструкций фундаментов, поскольку шурфы дают информацию только о внешней версте кладки. Кроме того, полученные в процессе проходки керны использовались в лаборатории для измерения прочности материалов фундаментов.

В результате обследования стояние каменных конструкций фундаментов характеризуется как **ограниченно-работоспособное** ввиду наличия участков с сильно выщелоченным кладочным раствором, а также пустот и трещин в теле фундаментов. В сложившейся ситуации функционирование и дальнейшая эксплуатация сооружения возможны при проведении мероприятий по восстановлению или усилению конструкций фундаментов и грунтов основания и мониторинге технического состояния. В целом проведённые инженерно-технические обследования также подтвердили данные о состоянии конструкций фундаментов полученные ранее на соседних участках стен и башен.

На участке прясла стены от Красной до Восточной башен (на расстоянии 4,20 м от края Красной башни) в процессе проходки скважины алмазного сверления и проведения телеметрических исследований, в фундаментах наблюдались выходы инъекционного раствора. Цементация проводилась в фундаментах Красной башни, а появление инъекционного раствора в фундаментах прясла на таком отдалении от контуров башни свидетельствует о хорошем качестве работ, выполненных 2013–2014 годах. Таким образом, можно сделать вывод об адекватности применения метода цементации фундаментов в данных условиях.

Проведённые работы показывают высокую значимость метода телеметрии для определения внутренней структуры каменных конструкций фундаментов фортификационных сооружений Ансамбля Саввино-Сторожевского монастыря. Но стоит отметить, что телеметрические исследования в скважинах алмазного сверления необходимо проводить вкупе с классической проходкой инженерно-геологических шурфов, которые дают более точную информацию по геометрии конструкций фундаментов, глубине заложения, наличию и состоянию вертикальных и горизонтальных деревянных конструкций, грунтах основания. Совместное применение двух этих методов даёт более полную картину и необходимое количество информации для проектирования и реализации методов укрепления фундаментов древних сооружений.

Список литературы

1. ООО «ИГИТ». Технический отчёт «Разработка проектной документации для ремонтно-реставрационных работ на объекте культурного наследия ансамбля Саввино-Сторожевского монастыря, XV-XVII вв. (И 25) (Московская область, Одинцовский район, г. Звенигород, Саввино-Сторожевский монастырь)». Т. I. Инженерно-геологические изыскания для расчета устойчивости склонов у западного, южного и юго-восточного прясел крепостной стены Саввино-Сторожевского монастыря. М., 2013.
2. Пашкин Е.М., Бессонов Г.Б. «Диагностика деформации памятников архитектуры». М., Стройиздат, 1984.

Чернышев С.Н., Рахматуллина Е.В.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Институт гидротехнического и энергетического строительства (ИГЭС), кафедра инженерных изысканий и геоэкологии, г. Москва, 9581148@list.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЗДАНИЙ НА СУФФОЗИОННОМ ОСНОВАНИИ В ИСТОРИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ МОСКВЫ

Результат мониторинга осадок двух зданий на суффозионном основании показывает влияние на осадку утечек из коммуникаций, устройства котлованов на расстоянии 11 и 23 м от зданий, ремонта асфальтного покрытия, укрепления фундамента и основания инъекциями. При локальном ослаблении основания суффозией [4] здания испытывают неравномерные осадки и деформируются, приобретая блочное строение.

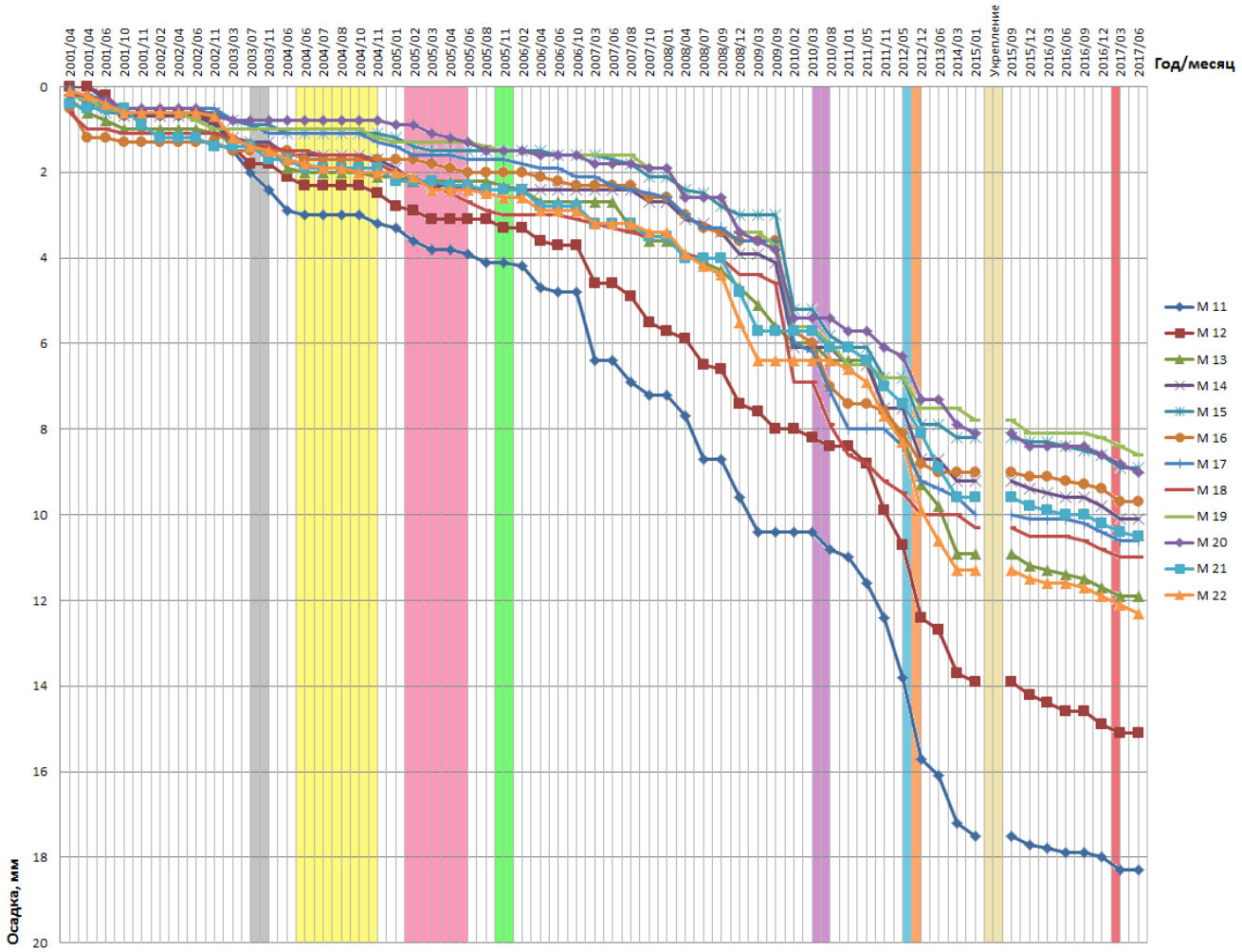
Длительный мониторинг осадок зданий в процессе эксплуатации в сложных инженерно-геологических условиях необходим для сохранения наблюдаемого здания в условиях действия инженерно-геологических процессов для принятия решений по управлению состоянием основания на основании геомеханических расчётов.

Наблюдения за деформацией зданий проведены в центре Москвы, в Большом Кисловском переулке на корпусах 1 и 2 дома 5. Дома жилые, четырехэтажные кирпичные, постройки 1926–1928 годов принадлежат ЖК «Кисловское». Фундаменты ленточные разнозаглубленные. Основание сложено кварцевыми песками от пылеватых до крупных и от плотных до рыхлых, которые на глубине 16-18м подстилаются карбонатными отложениями каменноугольного возраста с трещинами и кавернами карстового типа. В песках идёт суффозия, стимулируемая утечками из водонесущих коммуникаций и инфильтрацией атмосферных вод. Разуплотнение песков приводит к дополнительным осадкам частей зданий, образованию отрывов грунта от фундамента и разрыву несущих стен трещинами [1, 2]. Процесс осадки активизируется при неблагоприятных внешних воздействиях [3]. На рисунке показан график осадки марок на цоколе корп. 1, наблюдаемых непрерывно с 2001 года с периодичностью 4 раза в год методом нивелирования первого класса с точностью фиксации высотного положения марки $\Delta = \pm 0{,}25$ мм. Видна связь осадок с воздействиями от утечек из магистрального водопровода, проходящего между наблюдаемыми домами в 5 м от них, а также с устройством котлована под дом, построенный в период наблюдений на другой стороне переулка в 23 м от торцов наблюдаемых зданий.

По результатам мониторинга осенью 2015 года проведено инъекционное укрепление фундаментов и инъекционное закрепление основания на неполную глубину суффозионной толщи. После чего выполнено закрепление части (в

план) основания корпуса 1. Наблюдения за эффективность такого закрепления продолжаются. Деформации полностью исключить не удалось.

Выполнение обратного расчёта для получения обобщенного модуля деформации песков основания облегчает то обстоятельство, что основание однослойное, но затрудняет то, что оно испытывает неравномерную нагрузку в связи с работой верхних конструкций в качестве балки и консоли над суффозионно ослабленными частями массива основания.



Условные обозначения

- ремонт фасадов домов во владении № 5-7;
- начало работ по строительству дома № 6;
- возведение здания № 6;
- ремонтные работы в подвале дома № 5-7 корп.1;
- замена асфальта во дворе дома № 5-7 с применением отбойных молотков;
- протечки трубопровода;
- ремонтные работы на теплотрассе;
- раскопка камеры во дворе дома № 5-7 между корп. 1 и 2;
- укрепление фундамента и основания дома № 5-7 корп. 1 инъекциями;
- частичная замена асфальта и водоотводных лотков

Рис. График осадок марок № 11-22 (Корпус 1) за весь период наблюдений

Список литературы

1. Власов Д.А., Рахматуллина Е.В. Многолетняя динамика раскрытия трещин на зданиях в связи с застройкой соседних владений в центре Москвы // Инженерные изыскания в строительстве: материалы одиннадцатой научно-практической конференции молодых специалистов. М.: ПНИИИС, 2015. С. 81–85.
2. Власов Д.А., Рахматуллина Е.В. Раскрытие трещин на здании в связи с застройкой соседних владений и в зависимости от температуры наружного воздуха // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сборник трудов восемнадцатой международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. М.: МГСУ, 2015. С. 329–332.
3. Рахматуллина Е.В. Осадка зданий на суффозионно-неустойчивом основании в центре Москвы по результатам многолетнего геодезического мониторинга // Инженерные изыскания в строительстве: материалы десятой научно-практической конференции молодых специалистов. М.: ПНИИИС, 2014. С. 108–113.
4. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ФГУП ПНИИИС, ГЕОС. 2003, 216 с.

Никишина Т.А.

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии, г. Москва, tanush618@gmail.com

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ПАМЯТНИКОВ ИСТОРИИ И КУЛЬТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ ВОЗНЕСЕНСКОГО ПЕЧЕРСКОГО МОНАСТЫРЯ)

В соответствии с порядком организации и ведения инженерно-технических исследований объектов культурного наследия (ГОСТ Р 55567-2013 [2]), правилами инженерно-геологических изысканий (исследований) для сохранения объектов культурного наследия (ГОСТ Р 55945-2014 [3]), реставрация, восстановление, функциональное приспособление недвижимого архитектурного памятника истории и культуры в процессе проведения работ и в последующие после их окончания годы эксплуатации памятника должны сопровождаться мониторингом параметров его состояния (ГОСТ Р 56198-2014 [4]) [6].

Осознание необходимости постоянного контроля состояния исторических сооружений – архитектурных памятников истории и культуры не нова. Владельцы и пользователи исторических сооружений, настоятели древних церковных зданий и монастырей, профессиональные специалисты знают, что гораздо легче предупредить разрушение сооружения, чем ликвидировать деформации, залечивать трещины, выпрямлять стены, или восстанавливать его из руин.

Именно поэтому еще в 1886 г. впервые в Российском государстве была сделана попытка создания «единого государственного реестра» и одновременно организации мониторинга состояния объектов церковной культуры.

17 февраля 1886 г. к президенту Российской Императорской Академии художеств Великому князю Владимиру Александровичу Романову обратился киевский археолог и антиквар Турвон Венедиктович Кибальчич, указав на отсутствие в России цельной программы для учета и изучения русского церковного зодчества. Для этой переписи он предложил свой образец опросного листа – «Метрики». Реализация мониторинга храмов была затеяна Императорской Академией художеств, где в 1886 году была разработана «Метрика для получения верных сведений о древне-православных храмах Божьих, зданиях и художественных предметах» представляющая собой 72 развернутых вопроса напечатанных на 14 листах. Вопросы были разбиты на шесть групп: история церквей и монастырей и их местоположение, наружные части церкви, внутренние части храма, иконописание, разные предметы и сведения о заполнявшем метрику [1].

Запросы епархиальным преосвященным были разосланы уже 14 октября 1886 г. В письме содержалась просьба содействовать Академии в получении сведений о храмах и священных предметах до начала XVIII в. и предоставить

их не позднее марта 1887 г. Вплоть до начала января 1887 г. архиереи присылали в Академию запросы с указанием потребного для епархии количества метрик. Всего было разослано 9 832 экземпляра, на которые было получено 4 563 метрики.

Ныне эти метрики хранятся в фонде Р-III архива Института истории материальной культур РАН, г. Санкт-Петербург. Во многих случаях сведения, имеющиеся в метриках, сегодня могут быть «точкой отсчета» для имеющих место изменений во времени состояния сооружений [1].

Для понимания и оценки состояния исторического сооружения и, тем более, ансамбля исторических сооружений необходимы сведения о той природной среде, в которой оно было создано и функционирует в настоящее время. Историческое сооружение рассматривается как исторический природно-технический объект (ИПТО), понятийной моделью которого, соединяющей представления о сооружении и взаимосвязанной с ним природной среде является историческая природно-техническая система (ИПТС).

Мониторинг состояния исторического природно-технического объекта (ИПТО) – это целенаправленная система наблюдений за его отдельными элементами, накопления и обработки получаемой информации и прогнозирования изменений состояния ИПТО с целью разработки управляющих решений по сохранению и поддержанию оптимального режима ее функционирования, консервации, ремонта, реставрации, приспособления или воссоздания отдельных ее элементов [5].

При разработке концепции мониторинга состояния исторических сооружений необходимо иметь в виду, что они находятся в тесном взаимодействии с окружающей их природной средой. Следовательно, должна выполняться декомпозиция природной среды и исторического сооружения на элементы, которые различаются характером функционирования, парагенезисами техногенных и естественных процессов, геологическими геоморфологическими, гидрогеологическими условиями, климатом, растительностью и т.д.

Структура мониторинга ИПТС, его параметры должны соответствовать структуре ИПТО, особенностям его развития, связанными с ним процессами. Она определяется, с одной стороны, целью и задачами, а с другой стороны, свойствами изучаемого объекта, их изменчивостью во времени и пространстве, техническими, материальными, духовными и др. возможностями исследователей, требованиями к качеству отбираемой информации, принятыми способами и ресурсами управления состоянием объекта. Мониторинг ИПТС следует начинать с оценки текущего состояния всех подсистем и элементов ИПТС. Далее, в зависимости от цели и задач мониторинга, экономических факторов, вариантов управления ИПТС осуществляется подбор методов и методик наблюдений, определяются место и время отбора информации, формы отчетности. При рассмотрении компонентов мониторинга необходимо учитывать стремление ИПТС к равновесию, определяющее характер его

реакций на имманентные и эмерджентные воздействия, а именно метеорологический баланс, в том числе температурно-влажностный, баланс химического состава воздуха в помещениях, ландшафтный баланс, водный баланс, напряженно-деформационный баланс, баланс функциональных условий.

На территории Вознесенского Печерского монастыря, расположенного на крутом 70-ти метровом правобережном склоне р. Волга, в 2009 году установлена система датчиков (рис. 1), которая включает 3 грунтовых опорных репера, около 100 геодезических стенных реперов, 19 трещинных маяков, 2 гидрогеологических скважины, метеостанция, 4 логгера влажности и температуры.

Вознесенский Печерский мужской монастырь, основанный в 1328 г., в XVI в. был уничтожен оползнем. За неделю до схода оползневого тела в склоне выше обители стала шириться трещина бокового отрыва, длиной почти 1 км. Заблаговременно вся братия и церковная утварь были эвакуированы. Увлажненное грунтовыми водами оползневое тело с треском и грохотом начало оседать вниз, стремительно унося в р. Волгу разрушенные храмы, обители и кельи монастыря. В середине XVII в. началось восстановление Печерского монастыря на том же, правом волжском берегу, но на 500 м выше по течению реки.

Геологический разрез территории монастыря представлен коренными породами, смещенными в результате оползневых процессов, местами, сохранившими порядок своего напластования, несколько запрокинутыми в сторону коренного склона. Нижняя часть оползневого тела сложена карбонатно-глинистыми отложениями татарского яруса верхнего отдела пермской системы (P_2tat), средняя часть – глинистыми покровными отложениями верхнечетвертичного возраста (pr QIII). С поверхности толщу пролювиальных отложений покрывают современные техногенные накопления (t QIV) преимущественно песчано-глинистого состава.

На территории Печерского монастыря грунтовые воды были вскрыты в песчаниках известковистых верхнетатарского водоносного горизонта на глубине 10,5 м. В осенне-весенний период и в случае утечек из коммуникаций на территории монастыря в техногенных грунтах появляется «верховодка».

Результаты, получаемые с помощью мониторинга функционирования элементов ИПТС «Вознесенский Печерский монастырь», позволили выявить наличие, направленность и характер, интенсивность развития различных природных и техногенных процессов оценить их интенсивность и разработать соответствующие мероприятия, предупреждающие их негативное воздействие на состояние исторических сооружений.

Геодезический мониторинг деформаций сооружений, расположенных на территории Вознесенского Печерского монастыря показал наличие разрывов южной стены монастыря, разделения ее на ряд независимо деформирующихся блоков (рис. 2). Из анализа результатов мониторинга северной монастырской

стены можно сделать вывод о том, что осадки на различных участках ее внешней и внутренней частей различаются: внешняя часть оседает медленнее (скорость составляет –0,96÷–1,39 мм/год), а внутренняя – быстрее (–0,88÷–1,57 мм/год).

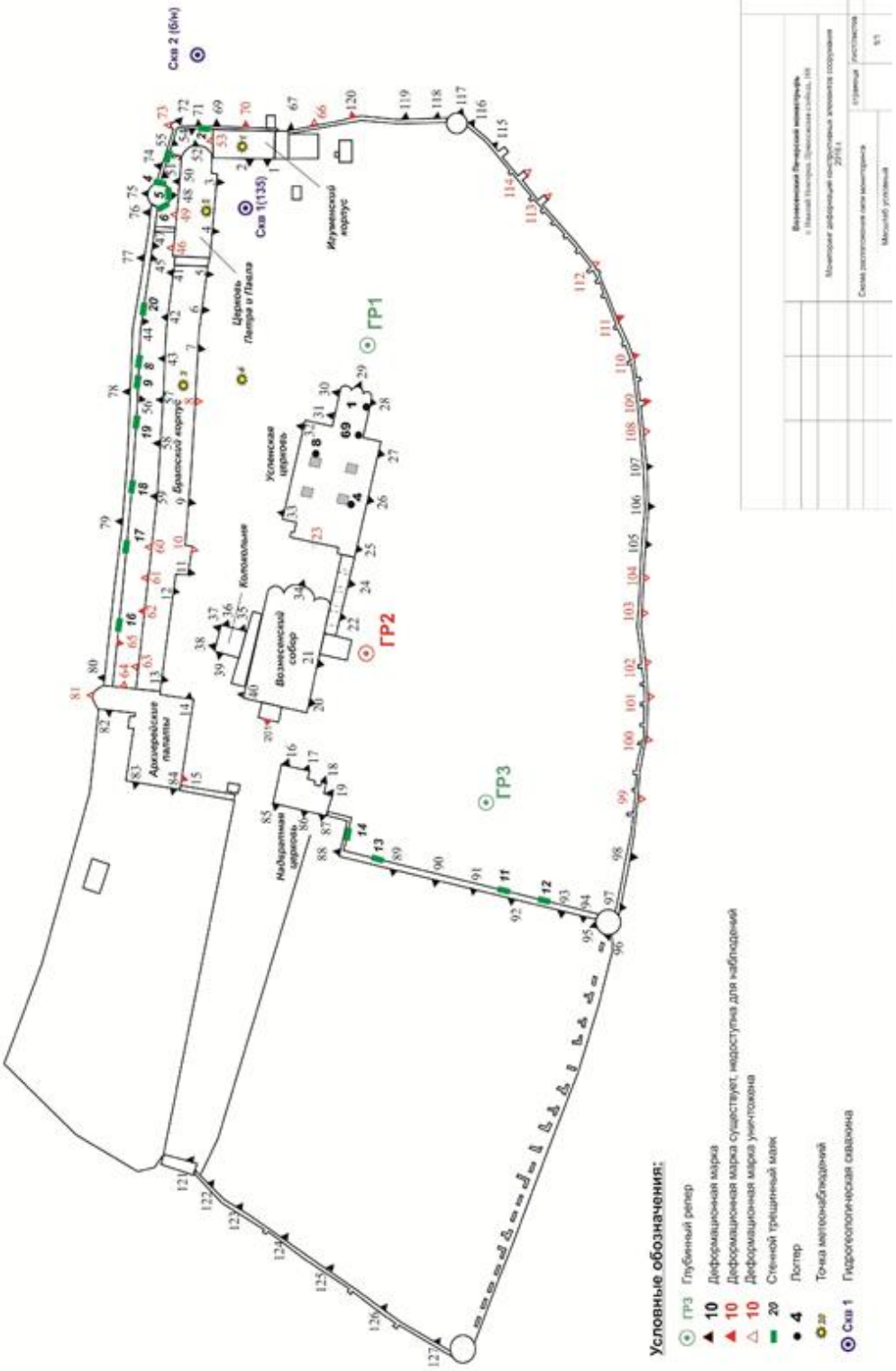


Рис. 1. Система мониторинга процессов ИПТС «Вознесенский Печерский монастырь»

Рис. 2. Схема скоростей деформаций конструктивных элементов сооружений Вознесенского Печерского монастыря

Наибольшие осадки Западной стены наблюдаются в южной части (1,5 мм/год), по мере продвижения к северу осадки закономерно уменьшаются,

свидетельствуя о деформации на этом участке склона всего оползневого блока. Общая картина деформаций сооружений Печерского монастыря показывает неравномерное поднятие оползневого тела вдоль предполагаемого развития тылового шва со скоростью от 0,33 до 1,13 мм/год, а также существенную осадку внешней части оползневого тела в сторону р. Волга со скоростью до 1,5 мм/год.

Наблюдения за трещинными маяками позволяют в режиме реального времени следить за движениями конструктивных элементов и сопоставлять их с данными геодезических наблюдений. Наибольшее количество трещинных маяков установлено на северной монастырской стене. Максимальное раскрытие трещин зафиксировано в ее западной части достигает 10,5 мм, вертикальные смещения составляют от 0,1 до 3,0 мм.

Гидрогеологический мониторинг позволяет исследовать водный баланс на территории ИПТС, изучить режим и состав подземных вод, их влияние на сохранность и функционирование памятников истории и культуры. К сожалению, гидрогеологические скважины, расположенные на территории Вознесенского Печерского монастыря, принадлежат местным службам, и доступ к ним закрыт. Для получения информации о водном балансе территории необходимо пробурить 5 скважин «конвертом».

Получаемые с помощью мониторинга состояния различных подсистем ИПТС материалов позволяет сделать вывод о необходимости постоянного контроля составляющих перечисленных балансов, доказывает необходимость дальнейшего проведения мониторинга ИПТС «Вознесенский Печерский мужской монастырь» с учетом недостающих компонентов мониторинга. Это позволяет более точно воссоздавать картину деформационных, температурно-влажностных процессов, протекающих в конструкциях сооружений, составлять прогноз возможных негативных явлений, оценивать угрозу развития оползневого процесса, разрабатывать своевременные мероприятия, предупреждающие или стабилизирующие негативные процессы.

Список литературы:

1. Алмазова Н.М., Дмитриев В.В. Нормативное обоснование мониторинга исторических сооружений и территорий // Сборник докладов 5-го Международного научно-практического Симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». Нижний Новгород: ПАРЦ СТСЛ, 2014. С. 87–90.
2. ГОСТ Р 55567-2013 Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований на объектах культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования.
3. ГОСТ Р 55945-2014 Общие требования к инженерно-геологическим изысканиям и исследованиям для сохранения объектов культурного наследия.

4. ГОСТ Р 56198-2014 Мониторинг технического состояния объектов культурного наследия. Недвижимые памятники. Общие требования.
5. Дмитриев В.В. Мониторинг исторических природно-технических объектов // К 80-летию кафедры инженерной геологии: сб. трудов. СПб.: Патриарший издательско-полиграфический центр, 2013. С. 56–62.
6. Дмитриев В.В., Никишина Т.А. Мониторинг состояния исторических сооружений – основа проектов сохранения памятников истории и культуры. // Сборник трудов 6-го Международного научно-практического Симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». М.: ПАРЦ СТСЛ, 2016. С. 306–310.

Никитин М.Ю.[1], Барабошкин Е.Ю.[1], Барабошкина Т.А.[2]

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, [1]кафедра региональной геологии и истории Земли, [2]кафедра инженерной и экологической геологии, г. Москва, ecolab@mail.ru

ДРЕВНИЕ ГОРОДА СЕВЕРНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ: ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ ИСТОРИИ И КУЛЬТУРЫ

Оптимальность выбора местоположения городов на различных этапах истории развития Северного Причерноморья в значительной мере лимитировалась микроклиматическими, геолого-геоморфологическими и гидрологическими факторами [1, 3, 4, 5-7, 11, 14, 21]. Однако с учетом истории геологического развития полуострова и вектора эндо- и экзогеодинамических процессов с веками менялось качество ресурса геологического пространства в районе древних городов для проживания и осуществления различных видов экономической деятельности.

Влияние геологических процессов на сохранность древних городов, памятников истории и культуры народов Причерноморья, особенно наглядно фиксируется на границе «море-суша» в береговых зонах, активно подвергающихся абразии, зачастую находящихся на современном этапе на территории особо охраняемых природных территорий [13, 21].

Отступание береговой линии побережий Крыма имело место всегда, но наиболее четко это можно проследить со среднего миоцена, когда абразией была срезана значительная часть крымской островной суши в сармате-меотисе. В плиоцене-четвертичном периоде формировался ряд уступов морских террас и продолжение речных долин на поверхности шельфа при регрессивно-трансгрессивных циклах Черного моря.

По историко-археологическим маркерам динамика процессов рельефообразования в Крыму четко прослеживается в исторической ретроспективе, начиная с момента греческого периода «урбанизации» – в VII–V вв. до н.э. В это время возникают города-полисы: на Керченском полуострове – это Пантикапей (Керчь), на рубеже VII–VI вв. до н.э. – Феодосия (Каффа), в первой половине VI вв. до н.э. На западном побережье Крыма – это Херсонес, основанный Гераклеей Понтийской – во второй половине VI или второй половине V вв. до н.э., Керкинитида (Евпатория) конец VI–V вв. до н.э. К северу от оз. Сакское и далее, включая полуостров Тарханкут и до Бакальской косы, в береговой зоне с IV в. до н.э. и до первой трети-середины III в. до н.э. существовало около полусотни греческих укреплённых усадеб и поселений, таких как Калос Лимен (Прекрасная гавань), ныне курортный поселок Черноморское [1, 11, 12, 15, 16].

В Северо-Западном Крыму археологами установлены и несколько меньшие греческие поселения у современных сел Поповка, Громово, Оленевка, Межводное – возведенных в комфортных для греческих торговых судов бухтах. Как греческие, так и скифские поселения интенсивно возводились на побережье

Северного Причерноморья в IV-III веков до н.э., по сути, маркируя «молодую» береговую линию, сформировавшуюся в послеледниковое время. Цепь древних поселений тянется с интервалами в 2–4 км по побережью. Достаточно крупные скифские поселения обнаружены археологами у сел Громово, Лазурное, Окуневки, Марьино, Морского.

Греческие поселения западного побережья Крыма во второй половине IV в. до н.э. представляли собой полис (земледельческую округу) Херсонеса, а прилежащие к ним территории были сельскохозяйственной хорой (земельными наделами) поселенцев, размежёванными под виноградники, пшеницу и сады. Наиболее впечатляет хора Херсонеса, занимавшая почти весь Гераклейский полуостров общей площадью около 100 км^2 и размежёванная на 408–430 участков [9, 10, 20]. Сохранившаяся плантажная планировка наделов примыкает к юго-западному обрывистому берегу Гераклейского полуострова и к береговой зоне между мысом Маячным и античным Херсонесом, хорошо видна на материалах аэрофотосъемки. Следует полагать, что она существенно срезана абразией за истёкшие 2 500 лет, когда уровень Чёрного моря был ниже современного на 4 м и постепенно поднимался, абразионно срезая побережье. Абразией срезана не только часть сельскохозяйственной хоры, но и значительная часть Херсонесского мыса (Парфения) (порядка пяти гектаров суши [20]. Многие античные и раннесредневековые постройки города частично или полностью оказались утраченными за счёт отступания клифа, сложенного известняками сарматского региояруса. Зная время постройки античного сооружения и размеры её несохранившейся части, можно примерно оценить скорость отступания эскарпа клифа и тем самым среднюю скорость абразионных процессов на данном участке берега за истёкшее время. Удачным примером может быть самый крупный из известных в античном Херсонесе христианских храмов – Уваровская базилика, часть которой разрушенная отступанием клифа.

Базилика открыта князем А.С. Уваровым в 1854 г. Она была построена не ранее VII в., а по датированию монет, в VI в. н.э. [8]. Ее внешние размеры 22×50 м. Храм имеет центральный неф размером 11×36 м с одной полукруглой апсидой и два боковых нефа не имевшие апсид. В X в. н.э. храм был капитально перестроен, и в это время оба нефа были ещё целы и имели ширину в 5–6 м. Трудно оценить имевшееся расстояние от бровки эскарпа до края стены нефа, допустимо предположить, что оно было не менее 2–3 м. В этом случае отступание бровки клифа порядка 8 м за истекшие 1 400–1 500 лет, при этом скорость составит не менее 0,53–0,57 см/год [17].

Активное отступание высокого берегового клифа характерно на всём протяжении северо-западного побережья мыса Тарханкут. Абразией срезаны наделы хоры Калос Лимена, где с момента размежевания в IV в. до нашей эры берег отступил на ширину около 200 м со средней скоростью 7–12 см/год [20].

К западу от окончания Донузлавской пересыпи расположено городище Беляус, возникшее во второй половине-конце IV в. до н.э. Оно представляло

собой пять усадеб, объединённых в единое целое с мощной многоэтажной квадратной башней, оборудованной в III в. до н.э. противотаранным поясом. Ныне оно находится в пляжевой зоне побережья. Воздействию прибойной зоны подвергается краевая часть застройки городища. Оборонительная башня находится практически на пляже, морем подтоплены зерновые ямы городища, что возможно связано с опусканием береговой зоны на 1–2 м за истекшие две тысячи лет [6, 7]. Возможно и другое объяснение – позднеголоценовый подъём уровня моря в нимфейскую трансгрессию и подтопление береговой зоны.

От Севастополя и до оз. Кызыл-Яр прослеживается крутой уступ в песчано-глинистых отложениях таврской свиты плиоцена, подвергающийся абразии. Здесь на мысе Керменчик в приустьевой части долины р. Альма находится Усть-Альминское скифское городище II в. до н.э. Оно имеет в плане треугольную форму и ограничено с запада постоянно отступающим береговым клифом. Вдоль обрыва виден культурный слой с остатками зерновых ям, а в береговой зоне встречаются обломки посуды и камни рухнувших построек. Отступание берегового эскарпа на этом участке сейчас составляет 0,6 м в год [3].

Активны абразионные процессы и в пределах южного побережья Крыма, особенно эффектно они проявлены на участках, сложенных вулканогенно-осадочными, эффузивными и терригенно-карбонатными породами средней-верхней хоры от мыса Херсонес (Маячного) до мыса Айя. Абразионное побережье характерно для интрузивных пород г. Аю-Даг, а также там, где береговая зона сложена глыбово-останцовыми накоплениями экзогенной массандровской олистостромы, образующей высокие скалистые мысы (мыс Сарыч, Троицы, Кикинеиз, Кошка, Ай-Тодор, Мартьян). Процессы современной абразии побережья существенно сдерживаются оторочкой глыбового морского перлювия вдоль побережья в зоне прибоя.

Расположенная на мысе Ай-Тодор римская крепость Харакс, существовавшая во II в. н. э. на возвышенной части мыса (оборудована маячным огнём), частично разрушена отступающим эскарпом вблизи Ай-Тодорского маяка. Трудно оценить несохранившуюся часть крепости, но она, вероятно, составляла десяток метров [2, 9, 10, 18, 19].

Минимизация инженерно-геологических исследований в районе древних городов и памятников культуры в последнюю четверть века, усугубило состояние и сохранность памятников прошлых эпох.

Актуально на современном этапе для сохранения древних городов Северного Причерноморья разработать комплексную программу исследований их состояния и инженерной защиты, для сохранения уникальных памятников культуры народов Причерноморья для последующих поколений. Особый выбор инженерной защиты и разработка специальных методических подходов актуально при расположении памятников истории и культуры на территории современных особо-охраняемых природных территорий.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ 15-05-01788, РФФИ 15-37-10100.

Список литературы

1. Андреев А.Р. История Крыма. М.: Изд-во «Межрегиональный центр отраслевой информатики Госатомнадзора России», 1997. 335 с.
2. Блаватский В.Д. Харакс // Материалы и исследования по археологии СССР. 1951. Т. 1. № 19. С. 250.
3. Высотская Т.Н. Скифские городища. Симферополь: Таврия. 1989. 96 с.
4. Герцен А.Г., Махнева-Чернец О.А. Пещерные города Крыма: Путеводитель. Севастополь: Библекс, 2013. 192 с.
5. Душевский В.П., Шутов Ю.И. Ай-Петри: Путеводитель. Симферополь: Таврия, 1986. 96 с.
6. Ена Ал., Ена Ан. Куэсты Крымского предгорья. Симферополь: Н. Opianda, 2010. 328 с.
7. Ена Ал., Ена Ан. На равнинах Крыма. Симферополь: Н. Opianda, 2015. 360 с.
8. Завадская И.А. Некоторые проблемы датировки комплекса Уваровской базилики Херсонеса // Бахчисарайский историко-археологический сборник. 1997. Вып. 1. С. 304-311.
9. Зубарь В.М. Хора Херсонеса Таврического на Гераклейском полуострове: история раскопок и некоторые итоги изучения. К.: ИД «Стилос», 2007. 318 с.
10. Зубарь В.М. Таврика и Римская империя: Римские войска и укрепления в Таврике. К.: ИД «Стилос», 2004. 232 с.
11. История Крыма с древнейших времен до наших дней (в очерках). Симферополь: Атлас-компакт, 2009. 420 с.
12. Карасев А.Н. Раскопки городища у санатория «Чайка» близ Евпатории. Симферополь: Ксиа, 1965. 103 с.
13. Каширина Е.С., Голубева Е.И. Природопользование на особо охраняемых природных территориях Крымского полуострова // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 5. С. 91–97.
14. Клюкин А.А., Корженевский В.В., Щекинский А.А. Эчки-Даг. Симферополь: Таврия, 1990. 128 с.
15. Кутайсов В.А. Керкинитида. Симферополь: Таврия, 1992. 192 с.
16. Могаричев Ю.М. Средневековый Крым (VI – середина XIII века): история, религия, культура. Симферополь: Бизнес-Информ, 2014. 240 с.
17. Никитин М.Ю., Седаева К.М., Майорова Т.П. Путеводитель по первой Крымской учебной геологической практике. Ч. II. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарского ГУ, 2006. 124 с.
18. Новиченкова Н.Г. Горный Крым: II в. до н.э.–II в. н.э. По материалам раскопок святилища у перевала Гурзувское седло. Симферополь: Н. Opianda, 2015. 2016 с.

19. Орлов К.К. Исследования Харакса // Археологические открытия 1977 года. 1978. С. 366.
20. Щеглов А.Н. Полис и Хора. Симферополь: Таврия, 1976. 174 с.
21. Эколого-ресурсный потенциал Крыма. История формирования и перспективы развития / Е.Ю. Барабошкин, Т.А. Барабошкина, Е.П. Каюкова и др. СПб.: ВВМ. 2016. 399 с.

Невечеря В.В.

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии,
г. Москва, nevecheryavv@mgri-rggru.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА РАЗВИТИЯ НЕГАТИВНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ИСТОРИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

При проведении комплексной реставрации архитектурных ансамблей, памятники, и окружающая природная среда, могут рассматриваться как локальная историческая природно-техническая система (ИПТС), состоящая из элементарных ИПТС [1, 2, 5]. Системный подход к проблеме комплексной реставрации позволяет принимать адекватные проектные решения.

Метод инженерно-геологического районирования территорий широко применяется в современной производственной практике для различного рода строительства. Применение его для исторических территорий, занимаемых локальными ИПТС, позволяет качественно оценить состояние подсистемы «сфера взаимодействия памятников с геологической средой», выявить риски развития экзогенных геологических процессов, влияющих на состояние памятников (риск-анализ), конкретизировать выбор проектных решений для выделенных участков.

Под понятием риск-анализ понимают процесс идентификации опасностей и оценки риска в качественном и количественном выражении для рассматриваемых локальных ИПТС. Риск-анализ проводится на основе информации, полученной в результате инженерно-геологических исследований локальной ИПТС, что позволяет строить картографические модели подсистемы сферы взаимодействия – карты инженерно-геологических условий и карты районирования.

Основы методики инженерно-геологического районирования разработаны в нашей стране профессором И.В. Поповым [1, 2]. Им же предложена общая принципиальная схема инженерно-геологического районирования (регионального).

Для оценки и прогнозирования состояния локальных и элементарных ИПТС предлагается выделять следующие признаки инженерно-геологического районирования территорий, ими занимаемых (табл. 1).

Для локальных ИПТС выделяют первые три уровня расчленения - по геолого-геоморфологическому, геологическому и гидрогеологическому признакам. **Таксоны: область, район и подрайон**.

Подобная схема инженерно-геологического районирования типична, она позволяет прогнозировать развитие инженерно-геологических процессов в основании сооружений. Для участков, на которых располагаются элементарные ИПТС, представляется необходимым проводить более детальное

районирование на основе информации о строении и структуры сферы взаимодействия памятника и геологической среды [5, 6], а также процесса её эволюции.

Таблица 1

Признаки инженерно-геологической типизации территорий локальных ИПТС

ИПТС	**Уровень расчленения**	**Признаки**	**Таксоны**
Локальная	1 УРОВЕНЬ	Геолого-геоморфологические (стратиграфо-генетические комплексы, геоморфологические структуры)	ОБЛАСТЬ
	2 УРОВЕНЬ	Гидрогеологические характеристики (глубина залегания УГВ, виды и распространенность водоносных горизонтов)	РАЙОН
Элементарная	3 УРОВЕНЬ	Литологические, классификационные характеристики грунтов (строение «СВ», выделение ИГЭ)	ПОДРАЙОН
	4 УРОВЕНЬ	Функциональные характеристики памятников (глубина заложения фундаментов, сохранность функциональных компонентов)	УЧАСТОК

Строение и структура сферы взаимодействия определяется строением и взаимоотношением двух функциональных блоков – подземной части памятника – фундамента и частью геологической среды, взаимодействующей с ним – сферой взаимодействия, ограниченной границами зон развития инженерно-геологических процессов.

Для элементарных ИПТС предлагается выделять уровни расчленения на основе литологических и классификационных характеристик грунтов, а также по функциональным характеристикам памятников. **Таксоны: участок и подучасток**.

Предлагаемая схема позволяет строить карты инженерно-геологического районирования для территорий, занимаемых локальными ИПТС и проводить типизацию (детальное районирование) участков, на которых располагаются элементарные ИПТС. Целью общего районирования является выделение однотипных структур, для которых можно установить вероятные риски развития негативных инженерно-геологических процессов. Целью детального районирования является выделение участков, для которых будет возможен одинаковый вид управляющих мероприятий для создания установившегося режима функционирования элементарных ИПТС.

Выделение в структуре «СВ» инженерно-геологических процессов, оказывающих негативное влияние на состояние сооружений, позволяет качественно оценить вероятность развития этого процесса в выделенных

районах – риск развития этих процессов. Качественная оценка вероятности риска может быть проведена с использованием метода цветовой идентификации (табл. 2).

Таблица 2

Оценка вероятности риска развития негативных инженерно-геологических процессов

Оценка вероятности	**Градации вероятности риска развития процесса**	**Характеристика градаций**	**Цветовая идентификация**
0	Нет риска	Отсутствие условий для развития процесса, отсутствие проявлений процесса	белый
0–1	Риск вероятен	Наличие отдельных условий, отсутствие однозначных проявлений процесса	желтый
1	Риск есть	Наблюдаемые проявления процесса	красный

Отсутствие условий для развития процесса – означает ***невозможность*** развития данного процесса на выделенном участке, его отсутствие, вероятность развития процесса равна 0.

Наличие отдельных условий для развития процесса, отсутствие однозначных проявлений его развития, делает необходимым выделение градации – ***риск*** развития процесса ***вероятен***. Вероятность развития процесса изменяется в интервале от 0 до 1.

Наблюдаемые проявления процесса означают то, что данный процесс идет, для него есть условия и на данном участке ***наблюдается его развитие или, для латентных процессов – развитие наиболее вероятно***. Вероятность развития процесса равна 1.

Инженерно-геологические процессы начинают идти одновременно с инженерной деятельностью человека. Области их развития формируют сферу взаимодействия сооружений с геологической средой [3, 4, 5].

В качестве примера рассматривается общее инженерно-геологическое районирование территории Кирилло-Белозерского монастыря с оценкой вероятного риска развития негативных инженерно-геологических процессов (ИГП). Районирование территории, занимаемой локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря, проведено на основании актуализированной карты инженерно-геологических условий (рис. 1).

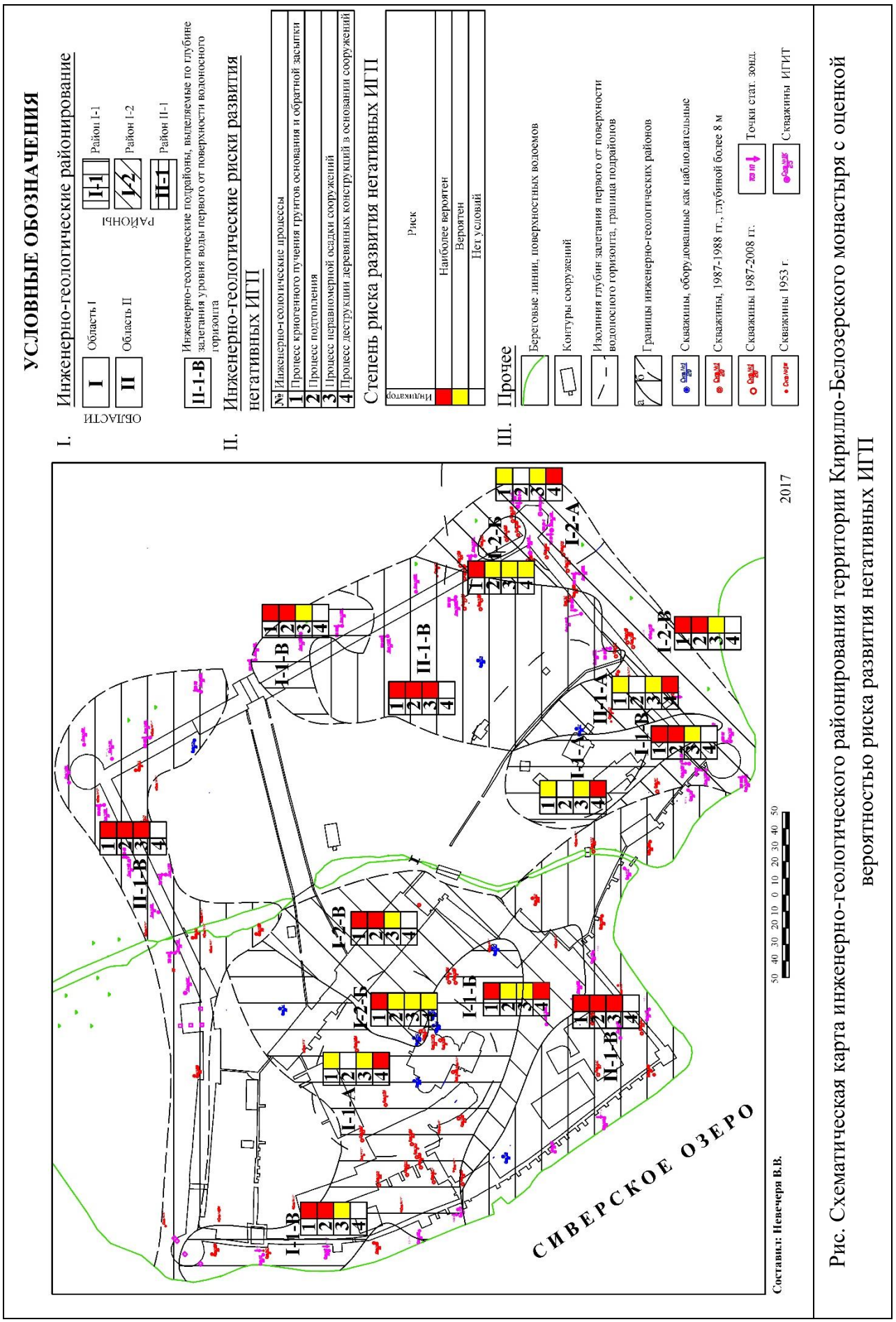


Рис. Схематическая карта инженерно-геологического районирования территории Кирилло-Белозерского монастыря с оценкой вероятностью риска развития негативных ИГП

Всего на территории монастыря выделяются 7 подрайонов: **I-1-А, I-1-Б, I-1-В, I-2-А, I-2 -Б, I-2-В, II-1-В.** Границы подрайонов проведены по изолинии глубины залегания грунтовых вод 2,0 м.

На основании карты общего инженерно-геологического районирования был проведен качественный анализ риска развития негативных инженерно-геологических процессов, влияющих на состояние локальной ИПТС и входящих в неё элементарных ИПТС.

Для локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря наибольшее влияние на конструктивную и эксплуатационную устойчивость памятников в настоящее время оказывают четыре процесса: процесс криогенного пучения грунтов слоя сезонного промерзания и обратной засыпки, процесс подтопления, процесс неравномерной осадки сооружений, и процесс эволюционного характера – процесс деструкции деревянных конструкции в основании фундаментов в стадии формирования полостей-«стаканов». Вышеназванные ИГП, проявления которых зафиксированы на территории монастыря пронумерованы, условия их развития, виды проявления и районы и подрайоны развития сведены в табл. 3.

Таблица 3

Негативные инженерно-геологические процессы на территории Кирилло-Белозерского монастыря – условия, проявления, участки распространения

Процесс №	**ИГП**	**Главные условия развития процесса**	**Проявления ИГП**	**Районы и подрайоны распространения**
1	Процесс криогенного пучения грунтов основания и обратной засыпки	Распространение с поверхности до глубины 3,0 м переувлажненных глинистых грунтов с большим содержанием пылеватых частиц. Неотапливаемый режим эксплуатации памятников	Выпучивание валунов фундаментов из-под стен. Знакопеременные перемещения стен. Отход контрфорсов от стен. Краевые деформации сооружений	I-1, I-2, II-1
2	Процесс подтопления	Высокое положение УГВ (Н < 2,0 м)	Переувлажнение конструкций, подсос влаги в стены, формирование высолов, сотовое выветривание кирпичной кладки.	I-1-Б, В, I-2-Б,В, II-1-В

Процесс №	ИГП	Главные условия развития процесса	Проявления ИГП	Районы и подрайоны распространения
3	Процесс неравномерной осадки сооружений	Развитие «слабых», неравномерно сжимаемых грунтов, обладающих реологическими свойствами, в основании сооружений. Значительная изменчивость литологического состава грунтов основания	Развитие структурных деформаций (трещин) в конструкциях сооружений	I-1, I-2, II-1
4	Процесс формирования полостей «стаканов» в результате деструкции деревянных свай в основании сооружений	Нахождение деревянных конструкций в зоне аэрации, переменный влажностной режим, распространение песчаных и супесчаных грунтов в основании	Полости–стаканы в основании памятников. Конструктивные деформации	I-1-А, Б I-2-А,Б

В табл. 4 приведены градации вероятности рисков развития негативных процессов для выделенных подрайонов.

Цветовая градация вероятности рисков развития негативных инженерно-геологических процессов нанесена на схему районирования (см. рис. 1), что дает возможность для каждого выделенного таксона наглядно определить риск развития негативных процессов.

Наиболее благоприятен по развитию негативных процессов (три процесса имеют свои проявления, наиболее вероятны) подрайон II-1-В, наиболее неблагоприятны (один процесс наиболее вероятен) – подрайоны I-1-А, I-2-А, I-2-Б.

Применение метода инженерно-геологического районирования совместно с риск анализом позволяет обобщить разновозрастный фактический материал, составить актуализированные модели строения СВ, что дает возможность скорректировать и оптимизировать управляющие мероприятия, а также проектные решения. Предлагаемый метод, может быть использован в качестве одной из составляющих общей концепции устойчивости памятников архитектуры историко-архитектурных ансамблей, которые рассматриваются как локальные исторические природно-технические системы.

Таблица 4

Вероятности риска развития негативных ИГП для выделенных подрайонов

№ района	Процесс, №		Риск		№ района	Процесс, №		Риск
I-1-А	1		в		I-2А	1		в
	2		нет			2		нет
	3		в			3		в
	4		нв			4		нв
II-1 -Б	1		нв		I-2-Б	1		нв
	2		в			2		в
	3		в			3		в
	4		нв			4		в
I-1-В	1		нв		I-2-В	1		нв
	2		нв			2		нв
	3		в			3		в
	4		нет			4		нет
II-1-В	1		нв					
	2		нв					
	3		нв					
	4		нет					

Список литературы

1. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии: учебное пособие. М.: КДУ, 2015. 296 с.
2. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания: учебник. М.: КДУ, 2007. 424 с.
3. Дудлер И.В. Роль инженерных изысканий в предупреждении и ликвидации критических ситуаций в жизненном цикле строительных объектов // Сборник докладов конференции «Критические технологии в строительстве». М.: Московский государственный строительный университет, 1998. С. 132–139.
4. Котов В.Ю. Инженерно-геологическая типизация исторических природно-технических систем (на примере памятников архитектуры Европейской части России): автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2001. 24 с.
5. Пендин В.В., Подборская В.О., Дубина Т.П. Применение основных положений концепции раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов для сохранения памятников архитектуры (на примере Успенского собора в Кирилло- Белозерском музее-заповеднике) // Геориск. 2010. № 4. С. 4–18.

6. Российский государственный геологоразведочный университет (РГГРУ). Отчет о научно-исследовательской работе: «Исследование инженерно-геологических условий Успенского холма для реализации концепции раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов в основании комплекса Успенского собора ансамбля Кирилло-Белозерского монастыря». Отчет о НИР, 2005.

Поспехов Г.Б., Голобородько А.А.

Санкт-Петербургский горный университет, Центр инженерных исследований,
г. Санкт-Петербург, pospehov@spmi.ru, na6tenciya@mail.ru

ОПОЛЗНЕВАЯ ОПАСНОСТЬ НА ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ «ПАВЛОВСКИЙ ПАРК»

Инженерно-геологический аспект проблемы сохранения объектов культурного наследия заслуженно признается одним из главных [1]. Из всех компонентов инженерно-геологических условий набольшую опасность для сохранения памятников культуры представляют современные геологические процессы. Особенно остро вопрос управления их развитием стоит для территорий памятников ландшафтного искусства. Такие объекты требуют полного предотвращения развития геологических процессов с целью исключения их влияния на охраняемый ландшафт, возраст которых может исчисляться сотнями лет.

Павловский парк главный элемент дворцово-паркового ансамбля государственного музея-заповедника «Павловск». История парка начинается в 1777 году с момента основания в 30 км южнее Санкт-Петербурга города Павловск.Это один из крупнейших парков в Европе с площадью 600 га.

Основная часть парка расположена в долине реки Славянка, которая протекает с юга на север по центру парка на протяжении 2 км. Славянка является левым притоком реки Невы. Глубина реки на территории Павловского парка не превышает 1,5 м; речной сток регулируется плотиной у Черного моста. Расход воды в реке не постоянен и может колебаться в широких пределах. Весной и осенью наблюдаются кратковременные паводки, а летом – сильное обмеление.

Высота склонов левого берега реки 9 м, правого – 10–11 м. Склоны реки имеют вогнутый профиль: крутизна склонов сверху составляет 15–20градусов, а к подножию уменьшается до 7–10°. В геоморфологическом отношении территория парка входит в пределы предглинтовой низменности и характеризуется абсолютными отметками дневной поверхности от 27,5–30,3 м на коренных берегах с понижением до абсолютных отметок 18,9–20,7 м в долине реки Славянки.

Берега реки Славянки в районах излучин частично укреплены бетонными стенками и кладкой из сцементированного тесанного гранитного камня. Берегоукрепление частично нарушено, наблюдаются наклоны в сторону русла, промоины за блоками. На правом склоне встречены места закрепления его деревянными сваями-кольями.

Из архивных источников известно, что при строительстве Павловского дворца была произведена планировка склонов долины и устройство подземной дренажной системы, частично сохранившейся. Вдоль русла реки по обеим сторонам устроены пешеходные дорожки и вдоль них неглубокие дренажные

канавы, которые местами заилены, заросли травой, и не всегда эффективно выполняют свою функцию.

В геологическом строении территории парка принимают участие четвертичные отложения, представленные техногенными, аллювиальными, озерно-ледниковыми и ледниковыми отложениями, и коренные глинистые породы нижнего кембрия.

В долине реки Славянка кровля кембрийских глин расположена на глубинах 1,9–4,9 м, а в прирусловой части практически выходит на поверхность – глубина залегания кровли здесь 0,8–1,5 м. Местами кембрийские глины залегают непосредственно под насыпными грунтами на глубинах 0,9 и 1,7 м соответственно. Абсолютные отметки кровли глин кембрия 14,1–18,4 м. Незначительное повышение её до отметок 19,8–21,2 м наблюдается в районе дворца и до отметок 22,1–22,7 м – на левом берегу в северной части.

Гидрогеологические условия рассматриваемой территории характеризуются наличием грунтовых вод со свободной поверхностью, приуроченных к техногенным, аллювиальным и озерно-ледниковым отложениям. Уровень грунтовых вод на правом коренном берегу располагается на глубинах 2,9–4,1 м, на левом коренном берегу на глубинах 2,8–3,0 м, на склонах долины на глубинах 0,5–2,0 м, а в некоторых местах у поверхности земли, образуя открытое зеркало.

Особенности геологического строения, ландшафт местности и техногенное влияние человека предопределили развитие на территории Павловского парка в долине реки Славянки различных гравитационных процессов: оплывание, оползни, ползучесть.

Наибольшую опасность, особенно для склонов правого берега реки Славянки, представляют оползни. В процессе инженерно-геологических исследований было выявлено два крупных для данной территории оползневых тела западнее и севернее Павловского дворца [2]. Оползни имеют наклоненную к руслу реки поверхность скольжения, проходящую по кембрийским глинам (рис. 1).

Характеристика оползневых тел осложняется тем, что на склонах реки параллельно идут разные гравитационные процессы, а также развивается суффозия. При этом парковые службы следят за скрытием признаков различных деформаций.

По предварительным расчетам оползневые механизмы затрагивают объем пород порядка 35–40 тыс. м^3 западнее дворца и около 11 тыс. м^3 севернее. Развитие оползней может напрямую угрожать главной достопримечательности парка – Павловскому дворцу, а их интенсификации способствует боковая эрозия. Берегоукрепительные мероприятия вдоль оползневых склонов отсутствуют, вследствие чего повсеместно наблюдается подмыв и обрушение берега. О динамичном характере протекания оползневых процессов свидетельствует ряд факторов, таких как искривленные стволы деревьев,

искривление труб дренажной системы в основании склонов, нарушение устойчивости бетонных стенок и трещины на поверхности склонов.

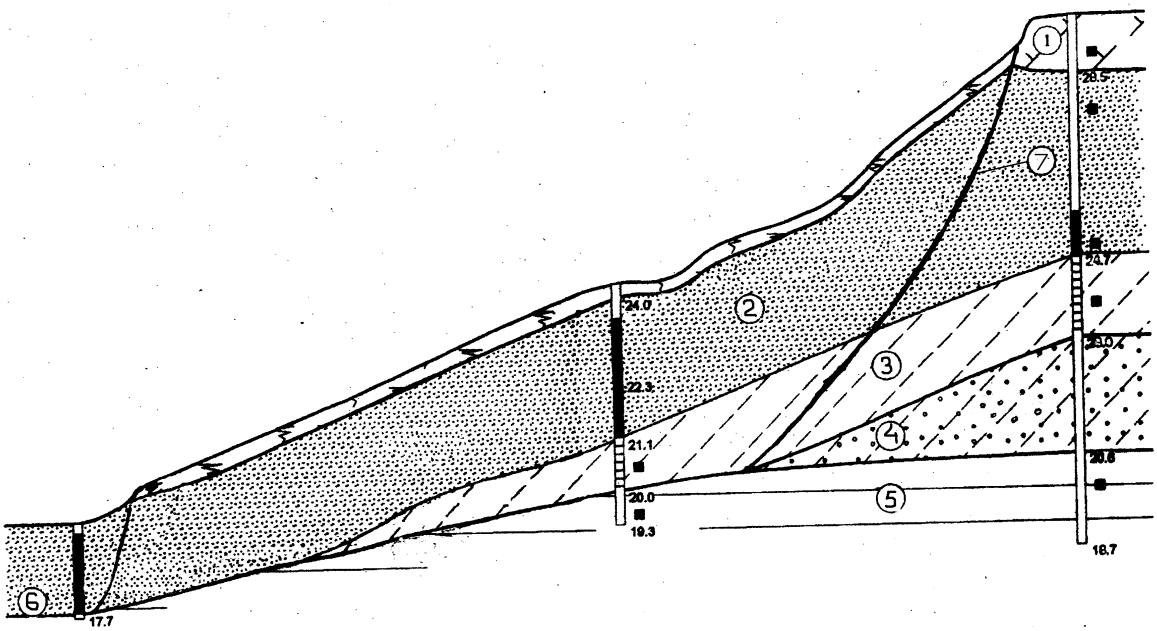


Рис. 1. Схема оползня на правом берегу реки Славянки, где: 1 – техногенные отложения; 2 – озерно-ледниковые пески; 3 – озерно-ледниковые супеси; 4 – ледниковые супеси; 5 – кембрийские глины; 6 – аллювиальные пески; 7 – предполагаемая поверхность скольжения

При дальнейшем развитии оползни, а также других гравитационных процессов, таких как осыпи, оплывины, процессы поверхностной и «вековой» ползучести на территории парка и в непосредственной близости к памятникам архитектуры способны изменить облик парковой зоны и создать угрозу для устойчивости многих парковых сооружений.

Памятники ландшафтного искусства – это не место применения радикальных методов, поэтому для стабилизации склонов р. Славянки необходимо предпринять такие средства, которые бы органично вписывались в его композицию. Это, прежде всего восстановление берегоукрепительных мероприятий и создание их вдоль всего правого берега западнее и севернее дворца, восстановление почвенно-растительного слоя с посадкой кустарно-травянистой растительности на участках распространения осыпей и оплывин, посадка новых деревьев на оползневых склонах. Также следует контролировать работу дренажной системы и разработать новые решения для водосбросов в реки Славянку. Но самое главное – необходимо организовать мониторинг устойчивости склонов, особенно на участках, примыкающих к сооружениям дворцово-паркового ансамбля.

Список литературы

1. Инженерная геология (для реставраторов): учебное пособие. М.: Архитектура-С, 2005. 264 с.
2. Поспехов Г.Б. Гравитационные процессы на склонах долины реки Славянки (на территории Павловского парка) // Записки Горного института. 2002. Т. 152. С. 46–49.

Вилкова М.В., Фабричная К.А.

ООО НПФ «Рекон +», г. Казань, npf.recon@mail.ru

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ПРИСПОСОБЛЕНИИ ЗДАНИЯ-ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Важнейшая задача инженерной реставрации здания – сохранить историческую атмосферу и гармонично сочетать ее с современными технологиями, надежностью и комфортом настоящего времени, обеспечив надежность за счет сохранности оснований и несущих конструкций, а также мероприятий по усилению, предложенных по результатам инженерной диагностики. В статье рассматриваются вопросы, возникшие при проведении обследования и разработке проекта приспособления здания – объекта культурного наследия «Доходный дом Киселева» в г. Казани, находящемся в сложных стесненных условиях.

Здание построено в 1910 году по проекту казанского архитектора К.С. Олешкевича и является ярким образцом стиля «модерн» (рис. 1). Особую ценность представляет архитектурное оформление главного фасада трехэтажного здания, интерьер парадной лестницы, а также сохранившееся печное оборудование.

После отселения здания возникли наблюдаемые на текущий момент дефекты, связанные с повреждением кровли, результатом которого стали замачивание перекрытий по деревянным балкам и кирпичных стен, морозное пучение полов по грунту, развитие осадочных трещин в разнонагруженных частях сооружения. Несмотря на хорошую изначальную сохранность конструкций и некоторых интерьеров здания, многие элементы отделки фасадов и интерьера на данный момент повреждены и без срочного ремонта и реставрации могут быть окончательно утрачены.

Рис. 1. Текущее состояние главного фасада здания

Здание расположено в сплошной плотной городской застройке. Двор-колодец на данный момент полностью зарос деревьями и кустарниками, в основном в непосредственной близости от стен здания, корни которых разрушают остатки твердого покрытия. Разрушены приямки из кирпичной кладки, что привело к замачиванию стен подвала. Кроме вышеописанных, факторами, которые могут оказать негативное влияние на состояние грунтов основания и подземную часть здания, в настоящее время являются примыкающие к зданию объекты. С правой стороны ведется строительство нового жилого дома с подземным паркингом, при этом новое здание вплотную примыкает к объекту культурного наследия, а глубина котлована составляет до 9,5 м. С левой стороны примыкающие строения не имеют крыши и перекрытий (рис. 2), т.е. осадки попадают

непосредственно внутрь, замачивая грунты основания, что опасно, так как под подошвой существующего фундамента залегает просадочная супесь, снижающая свои физико-механические свойства при замачивании.

Рис. 2. Вид прилегающих объектов: существующее аварийное здание (вверху) и котлован нового здания (внизу)

Поэтому, кроме проведения стандартных исследований-шурфов фундамента, как рекомендуют авторы [1], были выполнены численные трехмерные расчеты взаимодействия (взаимовлияния) здания, основания и вновь строящегося объекта. При этом учтены точные геометрические размеры здания, полученные по результатам проведенных обмеров. Фундаменты под наружными стенами ленточные мелкого заложения из керамического кирпича по бутовому камню (рис. 3). Глубина заложения фундаментов от уровня земли составляет от 3,2 до 3,4 м, при этом ширина подошвы варьируется от 820 до 1 060 мм, а высота бутовой части с обнаруженными признаками разрушения бута находится в диапазоне от 200 до 2 200 мм. По результатам обследования здания установлена категория технического состояния как удовлетворительное – II, предельная дополнительная осадка, вызванная негативным влиянием 1см (по таблице Л.1. СП 22.13330), разность осадок 0,0006.

Расчеты взаимовлияния выполнены в ПК Midas GTS NX 2016 с учетом работы системы грунт – фундамент – несущая конструкция.

ПК Midas GTS NX – один из передовых и технически продвинутых программных комплексов, реализующий метод КЭ и активно использующийся в комплексных геотехнических расчетах [2]. При расчете учитывались нормативные характеристики грунта φII, cII при условии замачивания, мощность слоев грунта, модули деформаций и пластичной, отделенный от просадочного слоя слоем мелкого песка незначительной мощности (до метра), от поверхности земли обнаружен мощный насыпной слой (до двух метров глубиной) супесчано-суглинистого состава, включающий строительный мусор, прослои дресвы и щебня карбонатных пород. Для вычисления другие данные приняты из инженерно-геологического отчета. Грунты основания представлены супесями: нижний основной слой – супесь твердая, выше идет слой супеси жесткости интерфейсных элементов, моделирующие взаимодействие ограждения котлована с грунтом, принят коэффициент снижения 0,33 для стальных труб по таблице 9.1 СП 22.13330. Удельное сцепление в зоне контакта в расчете не учитывается.

При расчете напряженно-деформированного состояния массива грунта использована модель ModifiedMorh-Coulomb. Для решения задачи в пространственной постановке используемые конечные элементы: объемные изопараметрические КЭ (для грунта и моделирования существующих зданий), оболочки (shell) для моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций и универсальные стержневые

КЭ, используемые для моделирования колонн, балок и шпунтов. Общий вид КЭ-модели показан на рис. 4.

а) б)

Рис. 3. Общий вид стен подземной части (а), состояние двора (б)

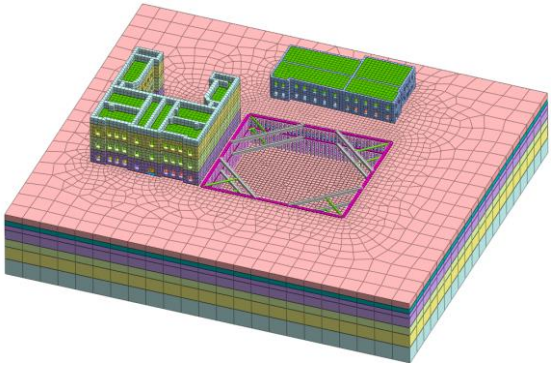


Рис. 4. Общий вид КЭ-модели

Расчет выполнялся как для стадии начала строительства, так и для перспективной стадии эксплуатации нового здания с учетом предполагаемых нагрузок от него, по аналогии с методикой, описанной А.Г. Шашкиным, использованной при проектировании подземного паркинга в историческом центре г. Санкт-Петербурга [3].

Шпунт запроектирован из стальных труб 530×8 длиной 15 и 14 м. Шаг труб 550 мм. Для снижения деформаций стен здания по ул. Муштари, д. 20 предложено усиление грунтов по технологии jet-grounting. Низ грунтоцементных элементов на 2,2 м ниже отметки подошвы проектируемого здания (абс. 79,00 м). Предполагается, что трубы шпунта у здания по ул. Муштари, д. 20 остаются в грунте, так как их выемка затруднительна при возведении конструкций проектируемого здания. Остальные трубы шпунта извлекаемы. Разрез показан на рис. 5.

Учитывается следующая стадийность разработки котлована:

1 стадия – определение напряженного состояния грунта с обнулением перемещений. Принимаем, что осадки всех зданий в радиусе влияния стабилизировались.

2 стадия – устройство ограждения и 1 яруса распорок.

3 стадия – выемка котлована до отм. 86,60 м. Определение НДС массива грунта.

4 стадия – устройство 2 яруса распорок.

5 стадия – выемка грунта до дна котлована до отм. 81,43 м.

6 стадия – приложение нагрузок на бровку котлована 24 кН/м^2.

7 стадия – приложение нагрузок от проектируемого сооружения на дно котлована.

При определении радиуса зоны влияния в соответствии СП 22.13330 за критерий принята осадка массива 1 мм. На рис. 6 показаны основные результаты расчета, на

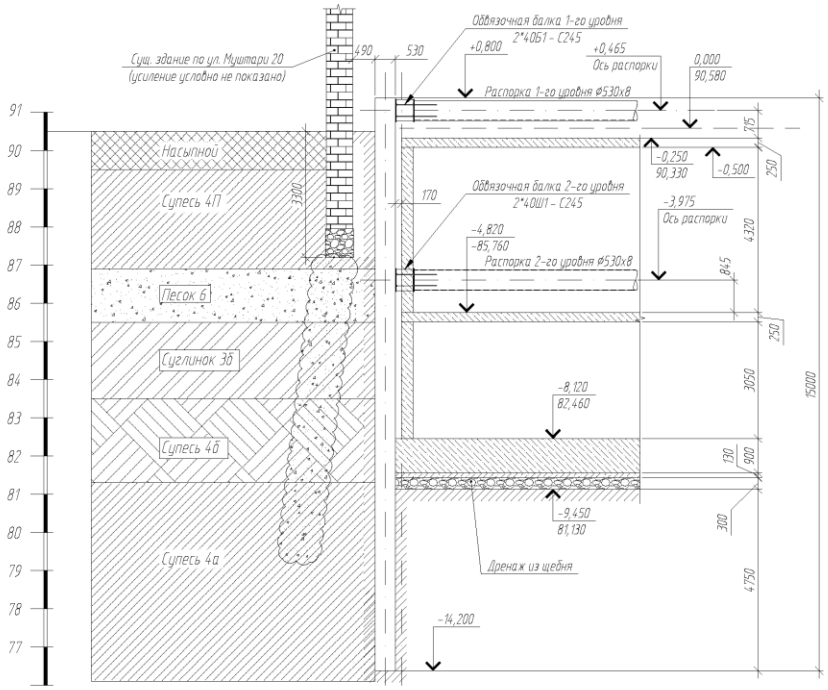
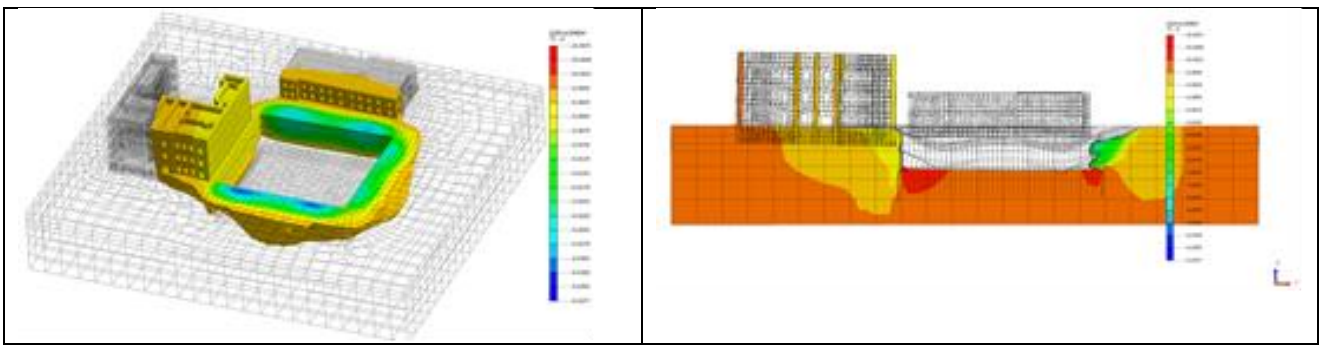


Рис. 5. Ограждения котлована у здания по ул. Муштари 20

которых наглядно отображены деформации и размеры области зоны влияния. Расчет подтвердил влияние нового строительства на деформацию существующего здания, показав максимальную расчетную осадку в 5 мм, и допустимую разность осадок. Радиус влияния составил от 7 до 17 метров, причем его максимальное значение в направлении реконструируемого здания, превышает половину длины объекта в плане. Расчет показал, что при условии устройства ограждения котлована со стороны существующего здания типа «стена в грунте», успешно применявшегося на других памятниках в нашем городе [4], деформации здания не развиваются, а напряжения в кирпичной кладке не превышают предельных значений. Однако рекомендуется выполнение мониторинга осадки стен здания, с контролем раскрытия существующих трещин и величин осадок углов здания по аналогии с мероприятиями, реализованными на подобном объекте [5]. Однако открытым остался вопрос необходимости усиления грунтов основания и тела бутовых фундаментов из-за недостаточной несущей способности грунта основания и недостаточной ширины подошвы фундамента. Один из возможных рассматриваемых вариантов усиления предполагает создание грунтоцеметных свай диаметром 700 мм по технологии «Jet1», выполняемых с шагом 1,5 м на глубину инъектирования 10,3 м.



а) б)

Рис. 6. а) осадка существующих зданий на стадии эксплуатации здания и радиус влияния, б) деформированная схема ограждений котлована и существующих зданий

Основанием сваи служит супесь твердая и супесь пластичная. Негативной стороной применения струйной цементации является возможное развитие значительных технологических осадок, поэтому при проведении работ необходимо контролировать осадку стен, вести визуальный осмотр за развитием существующих трещин, фиксировать появление новых, а также осуществлять геодезический мониторинг за развитием деформаций.

В качестве мероприятий по усилению подземной части стен предполагается выполнить инъецирование трещин, устройство отсечной гидроизоляции, восстановить приямки, выполнить осушение стен с дальнейшим оштукатуриванием санирующей штукатуркой. Инъецирование трещин производят известковым раствором с добавлением полимерных растворов на основе эпоксидных смол.

Инъецирование трещин проводится в два этапа:

– первый этап (обязательный) – обеспечивает повышение пространственной жесткости здания и снижение риска возможных деформаций стен, выполняется до начала работ по усилению фундаментов;

– второй этап (дублирующий) – восстановление стен после перераспределения напряжений в толще кладки, в результате чего возможно образование новых трещин, выполняется после усиления фундаментов, а необходимость работ определяется по фактическому освидетельствованию стен.

На настоящее время необходимы срочные мероприятия по предотвращению замачивания грунтов основания и подземных бутовых конструкций здания со стороны двора и существующих примыкающих разрушенных зданий.

Необходимо вести мониторинг состояния стен, для предотвращения возможности внезапного хрупкого их разрушения.

Список литературы

1. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г., Шашкин В.А. Основы совместных расчетов зданий и оснований. СПб.: Издательство института «Георекнструкция», 2014, 323с.
2. Мариничев М.Б. Опыт реализации нестандартных методов проектирования и строительства фундаментов высотных зданий -Научный журнал КубГАУ, №125(01), 2017- https://cyberleninka.ru/article/v/opyt-realizatsii-nestandartnyh-metodov-proektirovaniya-i-stroitelstva-fundamentov-vysotnyh-zdaniy-v-seysmicheskih-rayonah.
3. Шашкин А.Г. Проектирование зданий и подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. М: Издательство «Академическая наука»-Геомаркетинг, 2014. 352 с.
4. Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д Р. Проектирование ограждающей конструкции глубокого котлована при реконструкции здания Шамовской больницы г. Казани. Вестник гражданских инженеров. (54). 2016. С. 89-96.
5. Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. Геотехнический мониторинг здания, при реконструкции памятника истории и архитектуры. Известия КГАСУ 4(38). 2016. С. 270-276.

СЕКЦИЯ «ГЕОТЕХНИКА – РАСЧЁТЫ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНИТОРИНГ»

Тер-Мартиросян А.З., Мирный А.Ю.

НИУ МГСУ, НОЦ «Геотехника», г. Москва, gic-mgsu@mail.ru

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ МОСКВЫ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Введение

Одной из основных задач инженерно-геологических изысканий является обеспечение сведений о грунтовом основании, необходимых для рационального проектирования и строительства сооружения. К таким сведениям могут быть отнесены состав и строение основания, анализ инженерно-геологических процессов на площадке строительства и механические свойства грунтов основания, необходимые для выполнения расчетов.

За последнее десятилетие все большее число объектов первого и второго уровня ответственности (КС–2 и КС–3) рассчитываются с применением методов численного моделирования, реализованных в различных программных комплексах. Такие комплексы предоставляют проектировщику множество возможностей, среди которых – решение задач в трехмерной постановке, взаимное влияние основания и сооружения, учет неоднородности инженерно-геологических условий, временных процессов и прочие [7].

В нашей стране в этой области сложилась парадоксальная ситуация. Основные потребители результатов изысканий – проектировщики – понимают целесообразность использования в расчетах современных механических моделей, но не могут указать эти требования в программе работ, так как недостаточно хорошо знают физические особенности различных видов грунтов. В то же время изыскатели предпочитают работать исключительно в рамках нормативных документов, ни на шаг не отступая от процедуры проведения испытания и его последующей интерпретации. Кроме того, инженер-геолог справедливо полагает, что выбор механической модели – вопрос расчетчика.

В данной работе рассматриваются основные преимущества применения современных моделей, применяемых для моделирования массивов, сложенных дисперсными грунтами. Это модели упрочняющегося грунта **Hardening Soil** (HS), ее модификация для сверхмалых деформаций **Hardening Soil Small-strain** (HSS), модель слабого грунта **Soft Soil** (SS) и ее модификация, учитывающая ползучесть – **Soft Soil Creep** (SSC). Данные модели под различными названиями реализованы в большинстве специализированных программных

комплексов для моделирования грунтовой среды и широко используются проектировщиками.

Сведения, приведенные в работе, получены из теоретического описания моделей разработчиками, опыта проведения лабораторных испытаний и численного моделирования в НОЦ «Геотехника» НИУ МГСУ, а также результатов научно-технического сопровождения различных объектов.

Модель упрочняющегося грунта – Hardening Soil (HS)

Данная модель является наиболее распространенной из упомянутых в этой работе, так как носит универсальный характер и подходит для моделирования большого количества разновидностей грунтов основания. Именно эта модель позволила существенно уточнить расчеты сооружений, возводимых в глубоких котлованах. Отдельные положения данной модели сформулированы более 50 лет назад, например в работах [9, 11], однако свой окончательный вид модель приняла в 1999 году [10].

Основной особенностью данной модели является принятая гиперболическая зависимость между вертикальными деформациями ε_1 и девиаторными напряжениями $\sigma_1 - \sigma_3$ при первичном трехосном нагружении. При этом при разгрузке и повторном нагружении зависимость принимается линейной (рис. 1).

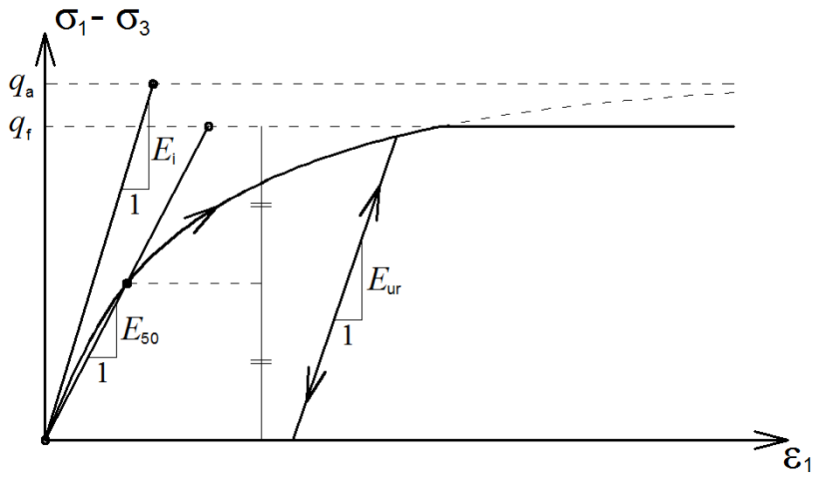


Рис. 1. Зависимость между девиатором напряжений и деформациями для модели упрочняющегося грунта Hardening Soil

В отличие от упруго-идеальнопластической модели в моделях упрочняющегося грунта поверхность текучести не зафиксирована в пространстве главных напряжений и может расширяться благодаря пластическому деформированию.

Модель Hardening Soil может применяться для всех видов дисперсных грунтов, как песчаных, так и глинистых. Лучшие результаты дает ее

применение при моделировании песков различной крупности, моренных суглинков. Особенно эффективна модель HS при расчете сильно заглубленных сооружений со значительными дополнительными нагрузками, так как позволяет успешно моделировать нелинейность деформаций и остаточные перемещения при разгрузке. Данная модель недостаточно эффективна при расчетах оснований, сложенных слабыми грунтами в связи с их высокой сжимаемостью и незначительным упрочнением. Так же отмечено, что попытки определения параметров для пористых твердых глин юрского [6] и вендского [5] периодов, показывают нецелесообразность применения гиперболической модели деформирования.

Модель упрочняющегося грунта при малых деформациях – Hardening Soil Small-strain (HSS)

В модели Hardening Soil предполагается, что изменение жесткости происходит только при первичном нагружении. При разгрузке или повторном нагружении модель ведет себя по линейно-упругому закону. Однако в случае, когда проводится расчет глубоких котлованов или подземных сооружений (например, тоннелей), возникает необходимость учета нелинейности деформаций на ветви разгрузки/повторного нагружения. Для этого была разработана модифицированная модель Hardening Soil Small-strain (HSS), в которой устанавливается дополнительная гиперболическая зависимость (рис. 2) между напряжениями и деформациями при «малых деформациях» ($\varepsilon < 10^{-3}$).

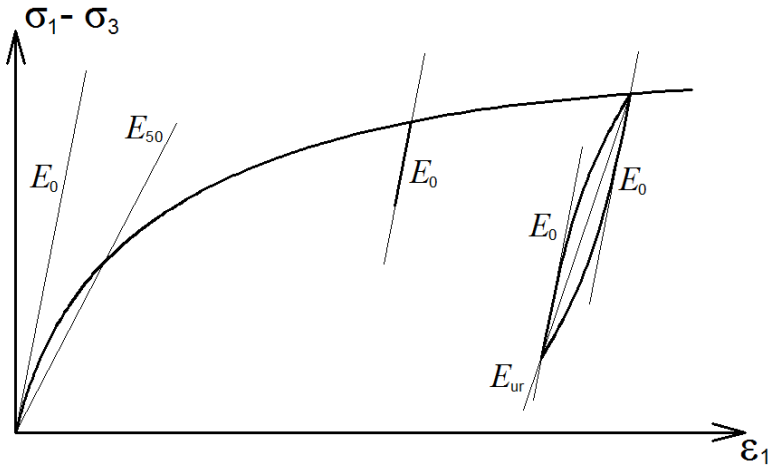


Рис. 2. Параметры жесткости и зависимость между напряжениями и деформациями для модели Hardening Soil Small-strain

Дополнительными параметрами модели являются начальный модуль сдвига G_0 и величина угловых деформаций $\gamma_{0.722}$. В остальном, данная модель полностью аналогична ранее рассмотренной модели Hardening Soil.

Определение параметров данной модели затрудняется необходимостью измерения малых перемещений порядка 10^{-4}мм. Данный вопрос подробно рассмотрен в монографии Болдырева Г.Г. [1] В результате остается только два практически возможных метода определения параметров данной модели - применение резонансной колонки любого типа [2] либо прибора трехосного сжатия, дооборудованного системой датчиков для проведения измерений на локальной базе, что значительно усложняет процесс подготовки образца и требует учета различных погрешностей измерения [3]. Тем не менее, в работах различных исследователей описан положительный опыт подобных испытаний [4].

Данная модель может применяться в тех случаях, когда необходим учет малых перемещений грунта – это задачи о взаимодействии грунта с подпорными стенами, циклических нагрузках с накоплением перемещений. Кроме того, модель удобна при расчете легких сооружений на значительных глубинах, например, тоннелей – она позволяет учесть нелинейность работы на ветви исключительно вторичного нагружения.

Модель слабого грунта – Soft Soil (SS)

Модель Soft Soil (SS) основана на хорошо известной модели Cam-Clay, предложенной Burland в 1965 году [8]. Принципиальное отличие заключается в том, что модель основана на объемной деформации, а не изменении коэффициента пористости, что более удобно с точки зрения механики.

Применение логарифмической зависимости между объемной деформацией ε_v и средним эффективным напряжением p' позволяет обеспечить более адекватное отражение высокой сжимаемости слабых грунтов при моделировании. Параметры модели λ^*, k^* задают наклон логарифмической зависимости объемных деформаций от напряжений (рис. 3).

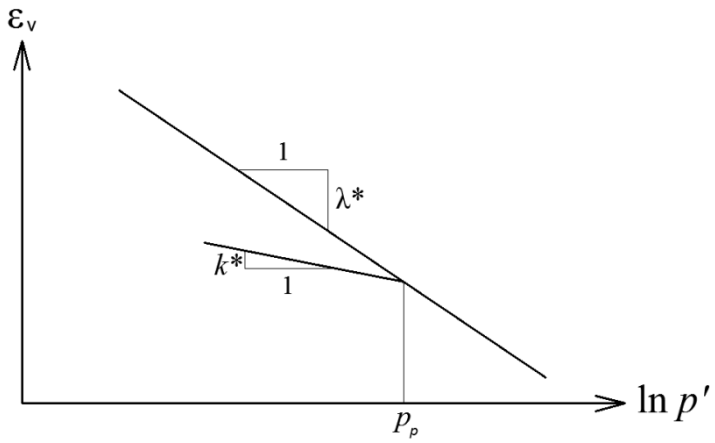


Рис. 3. Логарифмическая зависимость между объемной деформацией и средним напряжением

Как следует из названия, данная модель может эффективно применяться при моделировании оснований, сложенных глинами, илами и торфами с высокой степенью сжимаемости. Более простое аналитическое обоснование по сравнению с моделью HS снижает требования к вычислительной мощности и улучшает сходимость задачи.

Модель слабого грунта с учетом ползучести – Soft Soil Creep (SSC)

К сожалению, ни одна из упомянутых выше моделей не позволяет учитывать ползучесть (вторичную консолидацию) грунтов. Тем не менее, при строительстве на слабых грунтах либо при передаче значительных нагрузок на переуплотненные грунты осадка вследствие ползучести может составлять значительные величины и требует прогноза. С этой целью была разработана модификация модели Soft Soil, учитывающая ползучесть – модель Soft Soil Creep (SSC). Основные положения и способы применения данной модели рассмотрены в работах зарубежных исследователей [12, 13].

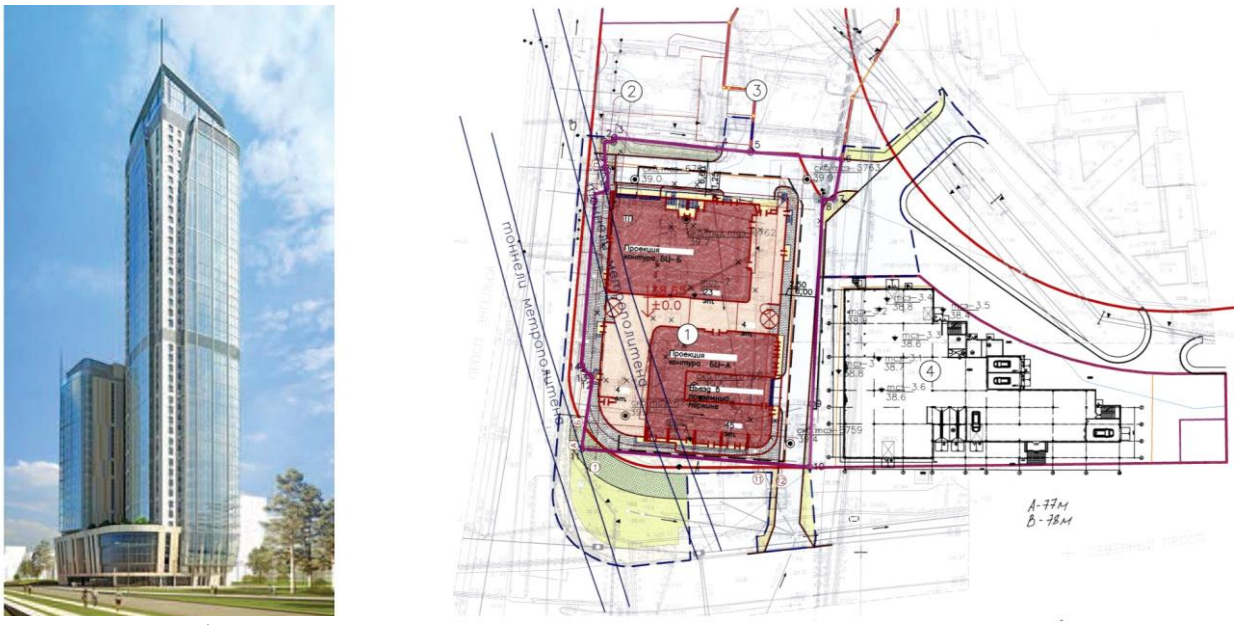
Принципиальное отличие данной модели заключается в введении дополнительного параметра μ^* – модифицированного индекса ползучести. Данный параметр близок к используемому в отечественной литературе коэффициенту вторичной консолидации c_α. В остальном, данная модель не имеет отличий от описанной выше модели Soft Soil.

Модель может применяться для оснований, сложенных грунтами с выраженной ползучестью скелета – слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами.

Применение моделей при расчетном обосновании проектирования

В настоящее время применение вышеперечисленных моделей возможно только при дополнительном финансировании изыскательских работ. Однако это возможно либо при увеличении надежности проектных решений, либо при снижении стоимости строительно-монтажных работ.

Далее рассмотрим опыт применения НОЦ «Геотехника» НИУ МГСУ современных моделей грунтов в расчетном обосновании проектных решений на примере одного объекта высотного строительства в городе Санкт-Петербург (рис. 4).



а) б)

Рис. 4. Высотный комплекс в городе Санкт-Петербург. а – фасад, б – ситуационный план

Проектирование было осложнено наличие двух перегонных тоннелей метрополитена, находящихся непосредственно под комплексом (рис. 4, б), что делало невозможным применение свайного фундамента. При расчете по второй группе предельных состояний осадка комплекса составила 23,5 см, что превышает рекомендуемые для данного типа зданий – 18 см. Однако после дополнительных инженерно-геологических изысканий с целью получения параметров Hardening Soil и проведения повторных расчетов расчетная осадка составила 14 см, что полностью удовлетворило требования нормативных документов и проект успешно прошёл Главгосэкспертизу. Отдельно отметим, что применение современных расчетных моделей сделало возможных применение нехарактерного для данного региона плитного фундамента, что значительно снизило стоимость и сроки строительно-монтажных работ.

Выводы

Эволюционное усложнение инженерных задач строительства, а так же условия рыночной экономики требуют от профессионального сообщества постоянного совершенствования методов проектирования оснований сооружений. Решение подобных задач методами середины прошлого века становится просто невозможным, в результате чего разрабатываются новые инструменты, позволяющие выполнять достоверные расчеты самых сложных объектов и получать экономически выгодные решения.

Однако данные инструменты нельзя применять без определения специфических параметров грунтового основания. Исторически в нашей стране эта задача поставлена перед инженерами-изыскателями. Без понимания

механической природы параметров, верного выбора методов и условий испытания, а в первую очередь – тесного взаимодействия изыскателя и расчетчика на этапе подготовки программы испытаний решить эту задачу нельзя.

Активное обсуждение в профессиональном сообществе нашей страны современных механических моделей привело к появлению организаций, предлагающих определение необходимых параметров, но при этом не обладающих необходимой квалификацией в области геотехники, а в некоторых случаях даже специальным оборудованием. Появляются попытки определения данных параметров по эмпирическим зависимостям и полевыми методами, что противоречит самой сути механической модели грунта как математического отображения нуль-мерного элемента среды. При этом нельзя забывать, что такое безответственное отношение приводит не только к экономическому ущербу, но и к тяжелым авариям.

Целью инженерных изысканий является в первую очередь обеспечение дальнейшего строительного процесса, и поэтому определяемые в ходе этих изысканий параметры должны носить практический характер, быть востребованными при дальнейших расчетах. В противном случае движение отрасли вперед становится невозможным.

Список литературы

1. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Пенза: ПГУАС, 2008. 695 с.
2. Вознесенский Е.А., Никитин М.С., Сенцова Е.А. Методические вопросы определения параметров моделей, учитывающих повышение жесткости грунтов при малых деформациях // Геотехника. 2016. № 2. С. 4–17.
3. Мирный А.Ю. Трехосные испытания грунтов: теория и практика. М., 2015. 144 с.
4. Тер-Мартиросян А.З., Мирный А.Ю., Соболев Е.С. Особенности определения параметров современных моделей грунта в ходе лабораторных испытаний // Геотехника. 2016. № 1. С. 66–72.
5. Тер-Мартиросян З.Г., Тер-Мартиросян А.З. ФГБОУ ВПО «МГСУ». Лабораторные испытания грунтов по объекту: Коммерческий объект, не связанный с проживанием населения, с подземной автостоянкой и встроенной трансформаторной подстанцией по адресу: г. Санкт-Петербург, Выборгский район, пр. Энгельса, д. 107, лит А. Москва, 2014.
6. Тер-Мартиросян З.Г., Тер-Мартиросян А.З. ФГБОУ ВПО «МГСУ». Лабораторные испытания грунтов для уточнения инженерно-геологических условий на стадии строительства объекта: многофункциональный жилой комплекс с подземной автостоянкой» по адресу г. Москва, ул. Минская–ул. Мосфильмовская. Москва, 2015.

7. Brinkgreve R.B.J., Engin E., Swolfs W.M. Plaxis 3D. Руководство пользователя. Санкт-Петербург: ООО «НИП-Информатика», 2011.
8. Burland J.B. The yielding and dilation of clay // Geotechnique. 1965. № 15. P. 211–214.
9. Janbu N. Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests Wiesbaden, 1963. P. 19–25.
10. Schanz T., Vermeer P.A., Bonnier P.G. The hardening-soil model: Formulation and verification. Rotterdam: Brinkgreve R.B.J., 1999. P. 281–290.
11. Soos P. von Properties of soil and rock (in German). Berlin: Ernst & Sohn, 1990.
12. Vermeer P.A., Neher H. The hardening-soil model: Formulation and verification Rotterdam: Brinkgreve R.B.J., 1999. P. 281–290.
13. Vermeer P.A., Stolle D.F.E., Bonnier P.G. From the classical theory of secondary compression to modern creep analysis Wuhan, China, 1998. P. 2469–2478.

Мирный А.Ю.

НИУ МГСУ, НОЦ «Геотехника», г. Москва, nocgeolab@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВТОРИЧНОЙ КОНСОЛИДАЦИИ И ИХ УЧЕТ В ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТАХ

Введение

Пылевато-глинистым грунтам присуще выраженное реологическое поведение – их деформации развиваются во времени без увеличения нагрузок. Традиционно в механике грунтов это объясняется в первую очередь процессами фильтрационной (или так называемой «первичной») консолидации [9]. Тем не менее, даже после стабилизации порового давления и завершения фильтрационной консолидации возможно дальнейшее развитие объемных и сдвиговых деформаций, обусловленное ползучестью скелета грунта.

Развитие деформаций сдвига без приращения касательного напряжения исследовалось в первую очередь специалистами в области длительной устойчивости откосов и склонов, как в нашей стране, так и за рубежом. В этой области наиболее известны фундаментальные работы С.Р. Месчяна [2]. Однако для целей гражданского строительства большее значение имеет рост объемных деформаций, приводящих к осадкам сооружений. Исследованиями ползучести глинистых грунтов в нашей стране занимались С.С. Вялов [1], З.Г. Тер-Мартиросян [3] и другие исследователи. Эти исследования позволили ввести в нормативные технические документы метод определения параметра вторичной консолидации c_α в компрессионном приборе методом логарифма времени (Приложение К ГОСТ 12248).

Использование в качестве естественного основания пылевато-глинистых грунтов, обладающих свойствами ползучести, значительно затрудняет проектное обоснование ожидаемых осадок сооружений. Фактически, в действующих нормативных документах отсутствуют методы расчета осадки за счет вторичной консолидации во времени. В то же время примечание 3 к п.5.6.5 СП 22.13330.2016 гласит: «В необходимых случаях… следует проводить расчет осадок во времени с учетом первичной и вторичной консолидации». Единственным документом, в котором отражена методика выполнения подобных расчетов с применением параметра вторичной консолидации, является ПиН АЭ 5.10-87 «Основания реакторных отделений атомных станций», в котором используется коэффициент вторичной консолидации m_{v2}, отличающийся от c_α и определяемый по другой методике.

При численном моделировании в программном комплексе PlAXIS дополнительная осадка за счет ползучести скелета может быть учтена с помощью модели слабого грунта с учетом ползучести - Soft Soil Creep. Однако методики определения параметров данной модели в действующих нормативных технических документах не представлено. Целью настоящей

работы является систематизация сложившейся ситуации для дальнейшего развития данного направления исследований.

Методика определения параметра вторичной консолидации c_α

Проведение испытаний в приборе компрессионного сжатия позволяет определить параметры консолидации в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ 12248-2010, Приложение К методом логарифма времени (рис. 1).

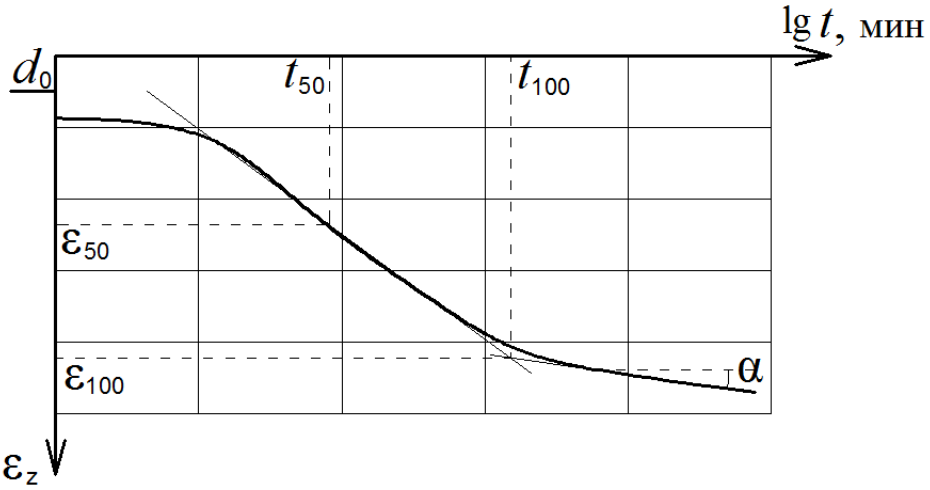


Рис. 1. Схема определения параметра вторичной консолидации логарифмическим методом

Метод заключается в построении зависимости осевых деформаций ε_z от десятичного логарифма времени с начала испытания, выраженного в минутах. После этого проводится построение касательной к последнему прямому участку зависимости, а параметр вторичной консолидации определяется как тангенс угла наклона данной прямой:

$$c_\alpha = tg\alpha = \frac{\varepsilon(t_2) - \varepsilon(t_1)}{\lg(t_2) - \lg(t_1)} \qquad (1)$$

Характерной удобной особенностью данного построения является тот факт, что время может быть принято в любых удобных единицах - секундах, минутах, часах или сутках: разница между логарифмами значений останется постоянной, и значение параметра вторичной консолидации не изменится. В то же время, принципиально использование именно десятичного, а не натурального логарифма, так как при переходе на другое основание изменится и величина искомого параметра.

Данный метод определения параметра имеет существенный недостаток – для достоверного определения ползучести необходимо выдерживать испытание в течение длительного времени - как минимум до 10^4 минут, что составляет около 7 суток. При этом необходимо измерение вертикальных перемещений с

достаточно высокой точностью, так как при малой высоте образца в компрессионном приборе могут быть зафиксированы только довольно значительные изменения относительных деформаций. В какой-то степени компенсировать недостаток точности измерений можно увеличением времени испытания, однако для производственных лабораторий это неприемлемо.

В практике проведения подобных испытаний специалисты НОЦ «Геотехника» столкнулись с ошибкой обработки, связанной с неоднозначной трактовкой схемы определения из ГОСТ. В связи с тем, что ось абсцисс на рисунке К.2 промаркирована в единицах измерения времени, а не логарифме времени, параметр консолидации был определен неверно. Эта методическая ошибка может быть исправлена в последующих редакциях нормативного документа.

Методика учета вторичной консолидации Пин АЭ 5.10-87

Схема проведения испытания для оценки вторичной консолидации незначительно отличается от рекомендаций ГОСТ 12248 - рекомендуется испытывать образцы-близнецы с разной толщиной и при разных режимах фильтрации (односторонней и двухсторонней) для осреднения получаемых значений. Однако порядок построения зависимости тот же, и получаемый тангенс угла наклона tgα совпадает с методикой ГОСТ.

Далее осуществляется переход к коэффициенту вторичной консолидации m_{v2} по следующей формуле (2):

$$m_{v2} = \mathrm{tg}\alpha \frac{1}{\sigma} \ln \frac{t_э}{t_f}, \frac{1}{МПа}, \qquad (2)$$

где $t_э$ – время эксплуатации АЭС, $t_ф$ – время достижения степени фильтрационной консолидации 0,9; σ – давление под подошвой фундамента.

Дальнейший расчет дополнительной осадки за счет ползучести S_α осуществляется по формуле для одномерной задачи с учетом времени вторичной консолидации t_1:

$$S_\alpha = \sigma \cdot h \cdot m_{v2} \cdot \ln\left(\frac{t_1}{t_ф}\right). \qquad (3)$$

Таким образом данная методика может использоваться для расчета дополнительной осадки вследствие ползучести, однако следует различать параметры m_{v2} и c_α, различающиеся и величиной, и размерностью.

Модель слабого грунта с учетом ползучести – Soft Soil Creep (SSC)

Модель Soft Soil (SS) основана на хорошо известной модели Cam-Clay, предложенной Burland в 1965 году [8]. Принципиальное отличие заключается в том, что модель основана на объемной деформации, а не изменении коэффициента пористости, что более удобно с точки зрения механики. Основные положения и способы применения данной модели рассмотрены в работах зарубежных исследователей [10, 11].

Центральной идеей модели является использование логарифмической зависимости (4) между объемной деформацией ε_v и средним эффективным напряжением p', причем для разгрузки/повторного нагружения меняется только коэффициент (5):

$$\Delta\varepsilon_v = -\lambda^* \ln\left(\frac{p'}{p^0}\right), \qquad (4)$$

$$\Delta\varepsilon_v^e = -\kappa^* \ln\left(\frac{p'}{p^0}\right), \qquad (5)$$

где ε_v, ε_v^e – объемные деформации при первичном и повторном нагружении, λ^*, κ^* – параметры модели, p’ – текущее среднее эффективное напряжение, p^0 – среднее эффективное напряжение в начале диапазона.

Применение логарифмической зависимости позволяет обеспечить более адекватное отражение высокой сжимаемости слабых грунтов при моделировании. Параметры модели λ^*, κ^* задают наклон логарифмической зависимости объемных деформаций от напряжений (рис. 2).

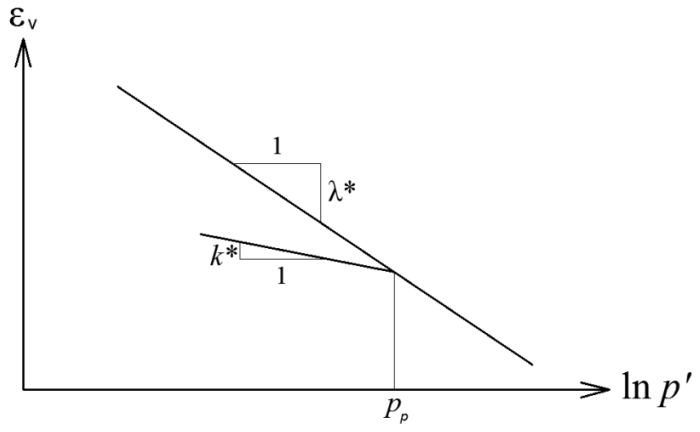


Рис. 2. Логарифмическая зависимость между объемной деформацией и средним напряжением

Принципиально важно верное определение точки p_p на графике, до достижения которой модель будет использовать ветвь повторного нагружения. Эта точка соответствует значению исторического давления, определенного

любым известным методом [4, 5]. Таким образом, в модели учитывается часто встречающееся явление переуплотнения глинистых грунтов.

Помимо двух параметров деформируемости, в модели присутствуют параметры прочности, аналогичные модели Мора-Кулона – удельное сцепление c, угол внутреннего трения ϕ, угол дилатансии ψ. В литературе встречаются рекомендации использовать остаточное значение угла внутреннего трения вместо пикового. Это связано с тем, что пиковая прочность наблюдается при малых деформациях, а рассматриваемые грунты до активизации внутреннего трения претерпевают значительные деформации [7].

В качестве дополнительных параметров в модели используются коэффициент Пуассона при разгрузке ν_{ur}, коэффициент бокового давления при нормальном уплотнении K_0^{nc}, о которых говорилось ранее. Кроме того, присутствует специфический параметр M, который определяет шатровую поверхность текучести и может быть рассчитан по зависимости (6) на основании прочих параметров модели [6]:

$$M = \sqrt[3]{\frac{\left(1-K_0^{nc}\right)^2}{\left(1+K_0^{nc}\right)^2} + \frac{\left(1-K_0^{nc}\right)\left(1-2\nu_{ur}\right)\left(\lambda^*/k^*-1\right)}{\left(1+K_0^{nc}\right)\left(1-2\nu_{ur}\right)\lambda^*/k^* - \left(1-K_0^{nc}\right)\left(1+\nu_{ur}\right)}}, \quad (6)$$

Необходимо отметить, что большинство расчетных комплексов, реализующих данную модель, выполняют расчет автоматически.

Параметры деформируемости данной модели могут быть определены как в камерах трехосного сжатия при изотропном нагружении, так и в компрессионных приборах. Для определения параметров испытания необходимы сведения о переуплотнении, поэтому предварительно может потребоваться определение давления переуплотнения. Параметры прочности могут быть определены любым нормативным способом, однако рекомендуется использовать остаточные значения параметров, что требует проведения испытаний среза «плашка по плашке» либо крутильного среза.

Учет ползучести осуществляется с помощью дополнительного параметра μ^* – модифицированного индекса ползучести. Данный параметр близок к используемому в отечественной литературе коэффициенту вторичной консолидации c_α, но для его определения следует использовать построение графика в масштабе натурального логарифма от времени испытания, а не десятичного

Для определения параметров модели необходимо дополнительное проведение длительных испытаний на консолидацию.

Как следует из названия, данная модель может эффективно применяться при моделировании оснований, сложенных глинами, илами и торфами с высокой степенью сжимаемости и выраженной ползучестью скелета.

Связь между параметрами вторичной ползучести

В связи с тем, что обе рассмотренные методики основаны на предположении о логарифмической зависимости относительной деформации ползучести от времени, между их параметрами существует прямая связь. Однако для корректного перехода от одних параметров к другим следует учитывать методики их определения и аналитическое обоснование моделей: часть моделей выражена в относительных деформациях, другая - в изменении коэффициента пористости. Данные зависимости можно представить в табличной форме для удобства использования при проведении расчетов и испытаний (см. таблицу).

Таблица

Сопоставление параметров различных моделей

Методика	**Параметр первичной сжимаемости**	**Параметр разгрузки (набухания)**	**Параметр ползучести**
ГОСТ 12248-2010 Пин АЭ 5.10-87	m_0	-	$c_\alpha = \mu^*$ $c_\alpha = \frac{C_\alpha}{2,3(1+e)}$ $m_{v2} = c_\alpha \frac{1}{\sigma} \ln \frac{t_э}{t_f}$
Модель Cam-Clay	$\lambda = \lambda^* (1+e)$ $\lambda = \frac{C_c}{2,3}$	$\kappa = \kappa^* (1+e)$ $\kappa = \frac{C_r}{2,3}$	-
Модель SSC	$\lambda^* = \frac{\lambda}{1+e}$ $\lambda^* = \frac{C_c}{2,3(1+e)}$	$\kappa^* = \frac{\kappa}{1+e}$ $\kappa^* = \frac{C_r}{2,3(1+e)}$	$\mu^* = c_\alpha$ $\mu^* = \frac{C_\alpha}{2,3(1+e)}$
Зарубежная практика	$C_c = \lambda(1+e)$ $C_c = 2,3 \cdot \lambda^* (1+e)$	$C_r = \kappa(1+e)$ $C_r = 2,3 \cdot \kappa^* (1+e)$	$C_\alpha = 2,3 \cdot c_\alpha (1+e)$ $C_\alpha = \mu(1+e)$ $C_\alpha = 2,3 \cdot \mu^* (1+e)$

По представленной таблице следует сделать несколько замечаний:

– переход от принятого в отечественной практике коэффициента сжимаемости m_0 к другим моделям невозможен, так как для него принята линейная, а не логарифмическая шкала, и он имеет размерность;

– необходимо различать параметр c_α из отечественной практики, определенный для относительных деформаций и C_α, принятый за рубежом и рассчитываемый для коэффициента пористости;

– коэффициент 2,3 в представленных формулах представляет собой значение ln10 и позволяет осуществить переход от десятичного логарифма к натуральному.

Выводы

В качестве выводов к данной работе хотелось бы отметить следующее:

– учет дополнительной осадки вследствие ползучести скелета следует проводить для сооружений повышенного уровня ответственности, для этого имеется достаточное нормативное обеспечение;

– расчет дополнительной осадки вследствие ползучести скелета возможно проводить как по методике ПиН АЭ 5.10-87, так и численными методами с применением модели Soft Soil Creep;

– методики определения параметров ползучести для различных моделей различаются только на этапе обработки, испытания проводятся одинаково. Таким образом, параметры могут быть определены путем повторной камеральной обработки выполненных испытаний.

Список литературы

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов: учеб. пособие для строительных вузов. М.: Высшая школа, 1978. 447 с.
2. Месчян С.Р. Начальная и длительная прочность глинистых грунтов. М.: Недра, 1978. 207 с.
3. Тер-Мартиросян З.Г. Механика грунтов. М.: АСВ, 2009. 552 с.
4. Тер-Мартиросян З.Г. и др. Осадки фундаментов глубокого заложения в переуплотненных грунтах // Геотехника. 2015. № 1. С. 39–43.
5. Труфанов А.Н. и др. Методы определения параметров переуплотнения грунтов и их практическое применение в условиях Санкт-Петербурга // Геотехника. 2014. № 11. С. 32–39.
6. Brinkgreve R.B.J. Geomaterial Models and Numerical Analysis of Softening. 1994.
7. Brinkgreve R.B.J., Engin E., Swolfs W.M. Plaxis 3D. Руководство пользователя. Санкт-Петербург: ООО «НИП-Информатика», 2011.
8. Burland J.B. The yielding and dilation of clay // Geotechnique. 1965. № 15. P. 211–214.
9. Terzaghi K. von Theoretical Soil Mechanics. John Wiley and Sons, 1943.
10. Vermeer P.A., Neher H. The hardening-soil model: Formulation and verification. Rotterdam: Brinkgreve R.B.J., 1999. P. 281–290.
11. Vermeer P.A., Stolle D.F.E., Bonnier P.G. From the classical theory of secondary compression to modern creep analysis Wuhan, China, 1998. P. 2469–2478.

Скнарина Н.А.

Южный федеральный университет, Институт наук о Земле, г. Ростов-на-Дону, nsknarina@sfedu.ru

ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ДАХОВСКАЯ – ПЛАТО ЛАГО-НАКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Введение

В соответствии с СП 22.13330.2011 [6] для разработки программы геотехнического мониторинга необходимо определить параметры объекта и критерии, характеризующие состояние объекта и его возможные изменения. Объектом исследования – являются потенциально оползнеопасные склоны на участке автомобильной дороги Даховская–плато Лаго-Наки в Майкопском районе Республики Адыгея. В результате проведенных в 2016 году инженерно-геологических изысканий [7] были определены параметры – инженерно-геологические условия развития оползневых процессов территории.

Геологическое строение и инженерно-геологические условия развития оползневых процесса исследуемой территории

Исследуемый участок расположен в пределах юго-восточного левобережного склона водораздельной возвышенности реки Белой. Рельеф участка неровный, с общим уклоном местности на юго-восток. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 622,92 до 1160,67 м.

Согласно структурно-геологической схеме фундамента Западного Предкавказья фундамент Северного склона Большого Кавказа представлен самым молодым его элементом – Герцинским складчатым комплексом. Платформенный чехол делится на две части: нижняя и верхняя. Нижняя, включающая триасовые и юрские отложения, отличается большой дислоцированностью и состоит из трех структурных этажей: 1 – триасовый, 2 – нижне-среднеюрский, 3 – верхнеюрский. Верхняя часть, типично платформенный комплекс, включает два структурных этажа: 1-й – нижний этаж, объединяющий породы меловой системы, палеоцена и эоцена. 2-й – верхний этаж объединяет породы олигоцена, неогена и антропогена.

Непосредственно на территории инженрно-геологических изысканий вскрыты четвертичные техногенные и элювиальные, и юрские отложения осадочного генезиса, относящиеся, в соответствии с ГОСТ 25100-2011 [2], к классам техногенных и природных связных и несвязных дисперсных грунтов, преимущественно с механическими, водно-коллоидными структурными связями, а также к классу скальных грунтов с жесткими структурными связями. Залегание пород преимущественно моноклинальное.

По данным изысканий выделено три потенциально оползнеопасных участка:

участок № 1 (восточный), протяженность – 126 м, угол наклона 17–21 град., в пределах участка № 1 выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

– в пределах слоя-Н ИГЭ не выделялся – насыпной слой: щебенистый грунт, однородный, слабовыветрелый, малопрочный, водонасыщенный;

– в пределах слоя-1 ИГЭ не выделялся – насыпной слой: суглинок тяжелый песчанистый, полутвердой консистенции, непросадочный, незасоленный легко- и среднерастворимыми солями, ненабухающий;

– в пределах слоя-4 выделен ИГЭ-4 – глина легкая пылеватая, тугопластичной консистенции, непросадочная, незасоленная легко и среднерастворимыми солями, ненабухающая;

– в пределах слоя-6 выделен ИГЭ-6 – полускальный грунт, очень низкой прочности;

участок № 2 (южный), протяженность – 154 м, угол наклона 7–36 град., в пределах участка № 2 выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

– в пределах слоя-Н ИГЭ не выделялся – насыпной слой: щебенистый грунт, однородный, слабовыветрелый, малопрочный, водонасыщенный;

– в пределах слоя-2 выделен ИГЭ-2 – суглинок тяжелый пылеватый, полутвердой консистенции, непросадочный, незасоленный легко- и среднерастворимыми солями, ненабухающий;

– в пределах слоя-6 выделен ИГЭ-6 – полускальный грунт, очень низкой прочности, плотный, сильно пористый, сильновыветрелый, размягчаемый, труднорастворимый;

участок № 3 (западный), протяженность – 169 м, угол наклона 17–44 град., в пределах участка № 3 выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

– в пределах слоя-Н ИГЭ не выделялся – насыпной слой: щебенистый грунт, однородный, слабовыветрелый, малопрочный, водонасыщенный;

– в пределах слоя-2 выделен ИГЭ-2 – суглинок тяжелый пылеватый, твердой консистенции, непросадочный, незасоленный легко- и среднерастворимыми солями, ненабухающий;

– в пределах слоя-5 выделен ИГЭ-5 – скальный грунт, прочный, очень плотный, слабопористый, слабовыветрелый, неразмягчаемый, нерастворимый;

– в пределах слоя-6 выделен ИГЭ-6 – полускальный грунт, очень низкой прочности, плотный, сильно пористый, сильновыветрелый, размягчаемый, труднорастворимый.

По данным рекогносцировочных обследований потенциально оползнеопасными являются грунты – слоев-Н и 1, ИГЭ-2 и ИГЭ-4.

Подземные воды приурочены к ИГЭ-2 глубина залегания – 0,9–6,2 м (абс. отм. 657,10–1 000,51). Местным водоупором служат грунты ИГЭ-5 и ИГЭ-6. Сезонные колебания уровня подземных вод составляют 1,0–1,5 м.

В соответствии с СП 14.13330.2014 [4] и ОСР–97 территория по степени сейсмической опасности относится: по картам А (10%) и В (5%) – 8 баллов, по карте С (1%) – 9 баллов (в баллах MSK-64). Категория грунтов по сейсмическим свойствам – третья.

Инженерно-геологические условия определяют параметры объекта исследования, данные параметры легли в основу расчетной модели для определения критериев опасности развития оползневых процессов.

Оценка оползневой опасности склонов

Для определения критериев, характеризующих нормальное и опасное состояние объекта мониторинга, были создана расчетная модель исследуемого объекта – склона.

В основе расчетной модели склона использовались данные физико-механических свойств грунтов, плотность, удельное сцепление и угол внутреннего трения глинистых грунтов. Для грунтов слоя-1, ИГЭ-2 – ИГЭ-4 – испытания проводились по схеме консолидированно-дренированного среза, для грунтов ИГЭ-2 и ИГЭ-4 – испытания проводились по подготовленной поверхности, «плашка по плашке», схема испытания неконсолидированно-дренированный [1, 3].

Каждый участок склона разбит на три профиля в соответствии с морфологией поверхности склона и местами бурения скважин. По каждому профилю проведен расчет устойчивости участка склона [3] в природном состоянии и при особом сочетании нагрузок [7] с учетом возможных сейсмических воздействий. Всего было выполнено 27 вариантов расчета устойчивости склона, учитывающие возможные изменения условий грунтового массива. В табл. 1, 2 приведены расчеты устойчивости склона участка № 1 по профилю 3–3, участка № 2 по профилю 5–5 и участка № 3 по профилю 9–9 и критерии характеризующие состояние устойчивости склона.

Таблица 1

Сводная таблица результатов расчетов устойчивости склонов в природном состоянии

Методы расчета [8]	Профиль 3–3	Профиль 5–5 (верхняя часть)	Профиль 5–5 (нижняя часть)	Профиль 9–9 (верхняя часть)	Профиль 9–9 (нижняя часть)
К. Терцаги	**2,73**	**4,68**	**2,66**	**1,43**	**1,84**
Маслова-Берера	**2,14**	**2,03**	**1,69**	**1,08**	**1,27**
М.Г. Шахунянца	**2,89**	**4,95**	**2,83**	**1,49**	**1,94**

Критерии характеризующие состояние склона

> 1,0	Устойчив	**< 1,0**	Неустойчив

Таблица 2

Сводная таблица результатов расчетов устойчивости склонов при особом сочетании нагрузок

Методы расчета	Профиль 3–3	Профиль 5–5 (верхняя часть)	Профиль 5–5 (нижняя часть)	Профиль 9–9 (верхняя часть)	Профиль 9–9 (нижняя часть)
К. Терцаги	**1,49**	**2,38**	**1,47**	**0,69**	**0,85**
Маслова-Берера	**1,33**	**1,41**	**1,16**	**0,65**	**0,75**
М.Г. Шахунянца	**1,55**	**2,41**	**1,52**	**0,67**	**0,84**

Критерии характеризующие состояние склона

> 1,1	Устойчив	**< 1,1**	Неустойчив

В результате оценки оползневой опасности склон участка № 3 (западный) – является потенциально оползнеопасным. Для данного участка была разработана программа геотехнического мониторинга, в основе которой расчетная модель исследуемого участка со значениями критериев предельно допустимых устойчивых состояний.

Программа геотехнического мониторинга

В состав программы геотехнического мониторинга входят: виды и объемы работ, периодичность наблюдений, сроки и методы выполнения работ.

Программа геотехнического мониторинга включает два раздела отличающихся по видам работ: маршрутные обследования, инструментальные наблюдения.

Маршрутные обследования предполагают проведение ежемесячных наблюдений за состоянием природно-технической системой. Были разработаны формы отчетов по результатам маршрутных наблюдений для систематизации информации и наполнения базы данных системы геотехнического мониторинга.

Инструментальные наблюдения предполагают геодезические наблюдения – контроль кренов и планово-высотных перемещений (измерения по поверхностным грунтовым маркам и скальным маркам на элементах конструкций автомобильной дороги) и инженерно-геологические – контроль напряженно-деформационных состояний массива (измерения горизонтальных глубинных смещений грунтового массива – инклинометрические наблюдения и др.) и измерения положения уровня подземных вод (пьезометрические наблюдения). Режим инструментальных наблюдений – автоматизированный. Периодичность наблюдений – по событию, но не реже одного раза в месяц.

Результаты инструментальных наблюдений оформляются в виде унифицированных отчетов и поступают в общую базу данных системы геотехнического мониторинга. Виды и объемы измерений могут быть скорректированы в зависимости от изменений расчетной модели объекта и критериев системы.

Заключение

Произведена оценка оползневой опасности участка автомобильной дороги Даховская–плато Лаго-Наки с целью разработки программы геотехнического мониторинга. Программой мониторинга предусмотрены критерии характеризующие состояние объекта - нормальное состояние и опасное состояние. Нормальное состояние соответствует – устойчивому состоянию, при обнаружении опасных тенденций развития процесса объект переходит в опасное состояние – не устойчивое и требует принятия корректных мер по его стабилизации. Программа геотехнического мониторинга создана для своевременного предупреждения развития опасных геологических процессов, разработки прогноза и рекомендаций по управлению с целью обеспечения безопасности объекта на всех стадиях его жизненного цикла.

Список литературы

1 ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
2 ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
3 СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания в строительстве.
4 СП 116.13330.2012 «СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения».
5 СП 14.13330.2014 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах».
6 СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений».
7 СП 47.13330.2012 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
8 Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1984. 80 с.

Кан К.[1], Зеркаль О.В.[1], Лю Ц.[2]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, г. Москва, kevinkang8@mail.ru
[2]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, г. Москва

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ В РОССИИ, КИТАЕ И ЕВРОПЕ

Введение

Сейсмические воздействия представляют собой существенный фактор геологического риска, требующий обязательного учета при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Одной из составляющей воздействия землетрясений являются сейсмогенные оползни и другие сейсмоиндуцированные склоновые процессы, широко развитые на Северном Кавказе, Алтае и других регионах Российской Федерации, в провинции Сычуань в Китае, в Италии, Греции и других регионах Европы [1, 16, 19]. Для этих регионов при выполнении количественных оценок устойчивости склонов важен учет высокой сейсмичности. Требования к учету сейсмического воздействия при расчетах устойчивости склонов с учетом ожидаемого динамическом воздействии регулируются национальными или региональными нормативными документами. В Российской Федерации, несмотря на принятие новой версии СП 14.13330.2014 [7], зачастую количественные оценки устойчивости склонов при сейсмическом воздействии выполняются с использованием псевдостатического анализа с применением коэффициентов сейсмичности, определенных в СНиП II-7-81*[5], т.к. в актуализированной версии строительных правил принят иной концептуальный подход, в рамках которого величина сейсмического воздействия оценивается через учет значений ускорения для расчетной сейсмичности. Следует указать, что в ОДМ 218.2.006-2010 [2] рекомендуется для расчетов устойчивости склонов использовать псевдостатический анализ с применением табулированных значений коэффициентов сейсмичности. Однако, предлагаемые к применению значения коэффициентов сейсмичности в СНиП II-7-81* и ОДМ 218.2.006-2010 имеют разные значения для одной и той же интенсивности сейсмического воздействия. При этом, значения коэффициента сейсмичности в ОДМ 218.2.006-2010 наследуется из СНиП II-А.12-69* [6], взамен которого в 1982 г. был введен в действие СНиП II-7-81*.

В Китае также действуют различные нормативные документы, определяющие коэффициенты сейсмичности к расчетной интенсивности сейсмического воздействия. Следует отметить, что самый ранний китайский документ, определяющий требования к учету сейсмичности при расчетах устойчивости склона, импортирован из нормативно документа СССР [20].

Поэтому в большинстве действующих китайских нормативных документах значение коэффициента сейсмичности равны значениям, определенным в российском СНиП II-А.12-69* [10, 11, 14, 16]. Однако, в 2006 г. Министерство земельных и приводных ресурсов КНР разработало и утвердило DZ/T0219-2006 «Технические нормы к проектированию и строительным работам по предотвращению и управлению оползнями» [9], в которых указаны коэффициенты сейсмичности, отличающиеся от других китайских норм. В отличие от России и Китая, Европейский союз принимает иное значение коэффициентов сейсмичности, соответствующие различному уровню сейсмического воздействия [10]. В настоящий работе дается сравнительный анализ используемых коэффициентов сейсмичности, определенных в нормативных документах Российской Федерации, КНР и ЕС.

Учет сейсмического воздействия при расчете устойчивости склонов и откосов

Учет сейсмического воздействия при расчете устойчивости склонов и откосов осуществляется добавлением к расчетным усилиям, так называемой сейсмической силы. Учет сейсмического воздействия может быть осуществлен тремя способами [3]:

1) интуитивный подход;
2) псевдостатический анализ;
3) динамический анализ.

В настоящей работе рассматривается применение псевдостатического анализа исходя из требований нормативных документов. Как показано на рис. 1 при псевдостатическом анализе эффект от землетрясения моделируется путем введения дополнительных инерционных сил, определяемых следующим образом [14]:

$$F_h = k_h W$$

где W – плотность грунта; k_h – горизонтальный коэффициент сейсмичности.

Учет вертикальной составляющей сейсмического воздействия в настоящей работе не рассматривается.

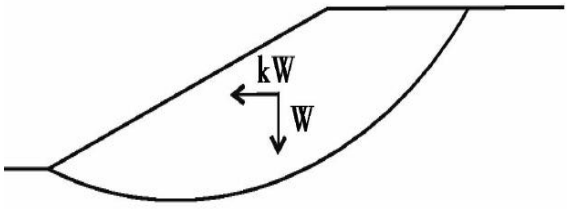


Рис. 1. Схема расчета псевдо-статического анализа (приведено по [15])

Коэффициенты сейсмичности в России, Китае и Европе

В табл. 1–3 показаны коэффициенты сейсмичности, рекомендуемые нормативно-методическими документами к применению при количественной оценке устойчивости склонов при инженерных изысканиях на территории Российской Федерации [2, 4, 7]. В табл. 4–8 приведены коэффициенты, учитывающие сейсмическое воздействие при расчетах устойчивости склонов и откосов в нормативно-методических документах, действующих в Китае [9, 11–13, 15]. Табл. 9 показывает коэффициенты сейсмичности, предусмотренные Еврокодом 8 [10]. Очевидно, что коэффициенты сейсмичности в табл. 1, 2, 4-7 аналогичны или близки, а значение в табл. 8 и табл. 9 отличается от вышеуказанных значений. Приведен пример сейсмической интенсивности 8 баллов, для норм России и некоторых норм Китая коэффициент сейсмичности принимает 0,05 (см. табл. 1, 2, 4–7); для одной нормы Китая коэффициент сейсмичности принимает 0,2 (см. табл. 8); для Еврокода коэффициент сейсмичности принимает 0,1 (см. табл. 9). Можно отметить, что разница в значениях коэффициента сейсмичности, рекомендуемых различными нормативными техническими документами, существенная, составляющая от 2 до 4 раз.

Таблица 1

Коэффициенты сейсмичности m, рекомендуемые для количественной оценке устойчивости склонов (Российская Федерация [4])

Расчетная сейсмичность в баллах	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Коэффициент сейсмичности, *m*	0,01	0,025	0,05	0,10	0,25

Таблица 2

Коэффициенты динамической сейсмичности μ, рекомендуемые для проведения расчетов устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог (Российская Федерация (по [2])

Сейсмическая балльность района	**1-5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Коэффициент динамической сейсмичности μ	0	0,01	0,025	***0,05***	0,1	0,25

Таблица 3

Значения учитываемых показателей сейсмического воздействия для расчетной сейсмичности (Российская Федерация (по [7])

Расчетная балльность	**7**	**8**	**9**
Максимальное ускорение А (для максимального расчетного землетрясения), м/с^2	1,0	2,0	4,0
Уменьшение угла внутреннего трения в грунтах, град	1,5	3	6

Таблица 4

Коэффициенты сейсмичности, рекомендуемые для количественной оценке устойчивости откосов гидротехнических сооружений из грунтовых материалов (Китай (по [11])

Сейсмическая балльность района	**7**	**8**	**9**
Пиковое горизонтальное ускорение	0,1g	0,2g	0,4g
Коэффициент сейсмичности, К	0,025	0,05	0,1

Таблица 5

Коэффициенты сейсмичности, рекомендуемые для количественной оценке устойчивости склонов (Китай (по [12])

Сейсмическая балльность района	**7**		**8**		**9**
Пиковое горизонтальное ускорение	0,1g	0,15g	0,2g	0,3g	0,4g
Коэффициент сейсмичности, К	0,025	0,038	0,05	0,075	0,1

Таблица 6

Коэффициенты сейсмичности, рекомендуемые для количественной оценке устойчивости откосов насыпей железных дорог (для склона с высотой 10 м) (Китай (по [15])

Сейсмическая балльность района	**6**	**7**		**8**		**9**
Пиковое горизонтальное ускорение	0,05g	0,1g	0,15g	0,2g	0,3g	0,4g
Коэффициент сейсмичности, К	0,0125	0,025	0,038	0,05	0,075	0,1

Таблица 7

Коэффициенты сейсмичности Китая, рекомендуемые для количественной оценке устойчивости откосов автомобильных дорог 2 категории (Китай (по [13])

Сейсмическая балльность района	**7**	**8**	**9**
Коэффициент сейсмичности, К	0,025	0,05	0,1

Таблица 8

Коэффициенты сейсмичности, рекомендуемые для количественной оценке устойчивости склонов (Китай (по [9])

Сейсмическая балльность района	**7**	**8**	**9**
Коэффициент сейсмичности, К	0,1	0,2	0,4

Таблица 9

Коэффициенты сейсмичности на примере типа грунта А (ЕС (по [10])

Сейсмическая балльность района	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Пиковое горизонтальное ускорение	0,05g	0,1g	0,2g	0,4g	0,8 g
Коэффициент сейсмичности, К	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4

Анализ чувствительности коэффициента устойчивости к коэффициентам сейсмичности

Анализ чувствительности решает задачу о степени зависимости коэффициента устойчивости от закономерности изменения тех или иных параметров факторов оползнеобразования [8]. Анализ чувствительности позволяет выполнить прогноз изменения коэффициента устойчивости склона в зависимости от изменения одного или нескольких факторов оползнеобразования [17].

В настоящей работе анализ чувствительности проводится на примере склона в районе Красной Поляны (Большой Сочи), имеющего уклон 30° и высоты 5 м, слагаемого аргиллитами (см. рис. 2). Для оценки влияния того или иного учитываемого показателя был выполнен анализ чувствительности для диапазона изменчивости параметров исходных данных [20]: плотность плотных аргиллитов – от 1,8 г/см^3 до 2,0 г/см^3, сцепление – от 10 до 25 кПа, угол внутреннего трения – от 25° до 30°. В тоже время на основе различия нормативных документов коэффициенты сейсмичности *Кс* принимался равным от 0,05 до 0,2.

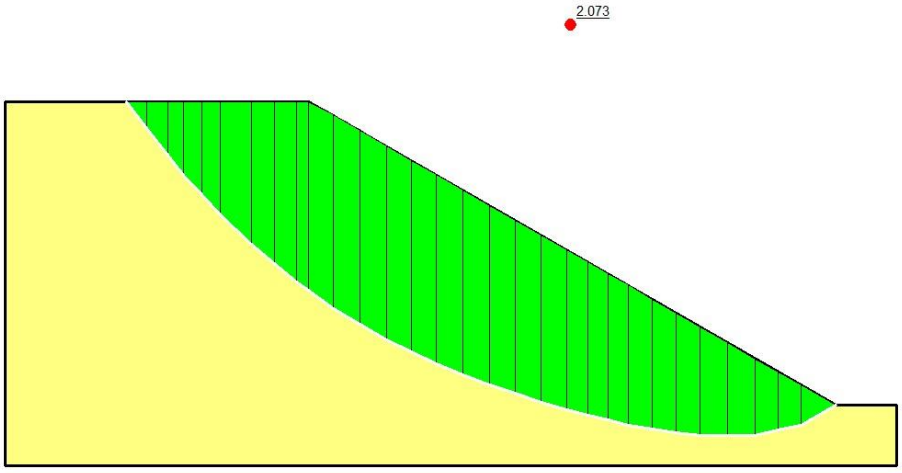


Рис. 2. Геомеханическая расчетная схема

При этом, чем больше степень изменения $К_{уст}$, тем состояние склона (с точки зрения потери устойчивости) более чувствительно к этому показателю. При оценке влияния отдельных показателей на $К_{уст}$ анализ чувствительности проводился с изменением только одного параметра, в то время как остальные величины характеризовались статистически осредненными значениями. Полученные результаты анализа чувствительности приведены на рис. 3. Из представленного рис. 3 видно, что набольшее влияние на устойчивость склона в условиях сейсмического воздействия оказывает изменчивость величины сцепления (*С*) и используемого коэффициента сейсмичности (*Кс*). Иными словами, рассматриваемый склоновый массив наиболее чувствителен (с точки зрения потери устойчивости) именно к характеристикам величины сцепления

(*C*) и коэффициента сейсмичности (*Кс*). Полученные результаты указывают, что для устойчивости рассматриваемого склона изменчивость величин угла внутреннего трения грунтов (φ) менее значима, чем варьирование величины сцепления (*C*) и величины коэффициента сейсмичности (*Кс*). При этом минимальная изменчивость $К_{уст}$ характерна при варьировании плотности грунтов (ρ), указывая на наименьшую чувствительность устойчивости склона к изменению этой характеристики. Проведенный анализ чувствительности показали большое влияние показателей сцепления (корректность их определения) на конечный результат количественной оценки устойчивости склона. Полученные результаты анализа чувствительности также показали значимость выбора величины коэффициента сейсмичности для итоговых оценок устойчивости склона.

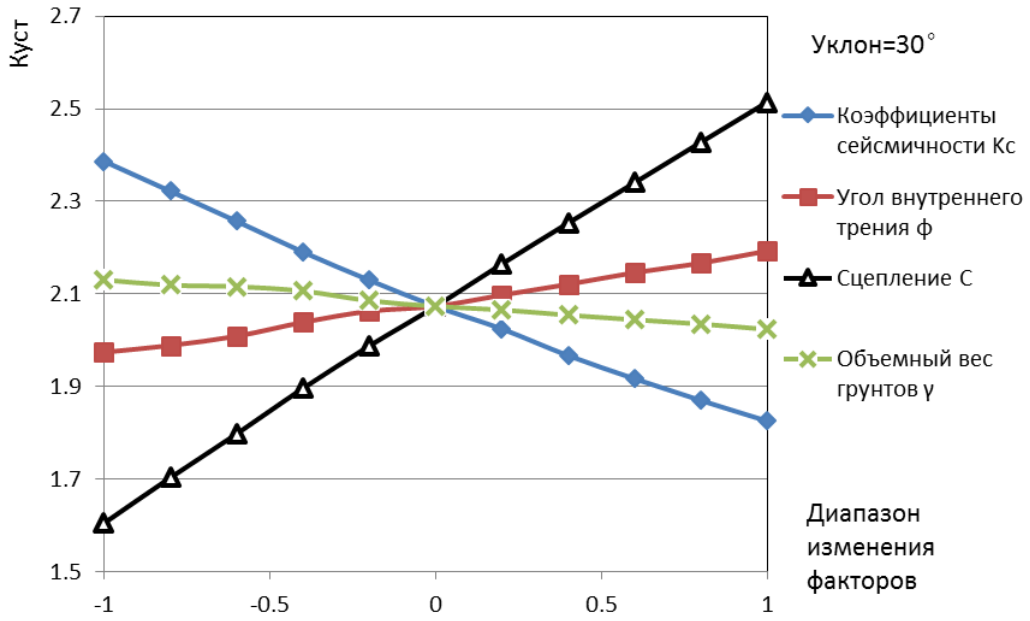


Рис. 3. Схема анализа чувствительности с учетом сейсмического воздействия (результирующее влияние на устойчивость склона – *C* > *Кс* >φ > ρ)

Заключение

Коэффициенты учитывающие сейсмическое воздействие на устойчивость склонов и рекомендуемые нормативно-методическими документами в России, Китае и Европе, различны. Значения применяемых коэффициентов сейсмичности для одних и тех же величин интенсивности сейсмического воздействия может варьировать от 2 до 4 раз. Выполненный анализ чувствительности показывает, что выбор значения коэффициента сейсмичности оказывает существенное влияние на конечный результат количественной оценки устойчивости склона. Очевидно, что научное обоснование и определение применяемых при расчетах устойчивости значений коэффициентов сейсмичности требует всестороннего обсуждения.

Список литературы

1. Инженерная геология России. Т. 2. Инженерная геодинамика территории России / под ред. В.Т. Трофимова и Э.В. Калинина. М.: КДУ, 2013. 816 с.
2. ОДМ 218.2.006-2010 Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог.
3. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. М.: ЛЕНАНД, 2015. 230 с.
4. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов. М.: Стройиздат, 1984. 80 с.
5. СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах.
6. СНиП II-А.12-69* Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования.
7. СП 14.13330.2014 «СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах».
8. Прогноз оползневой опасности на основе анализа чувствительности коэффициента устойчивости к величинам порового давления и сейсмического воздействия / И.К. Фоменко, В.В. Пендин, В.Ю. Ионов, З.М. Хунг // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. 2013. № 6. С. 67–72.
9. China Geological Survey. DZ/T0219-2006 Specification of design and construction for landslide stabilization. Beijing: Standards Press of China, 2006. [In Chinese].
10. Chongqing Construction Commission. GB50330-2013 Technical code for building slope engineering. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014. [In Chinese].
11. Comité Européen de Normalisation (CEN) (2004) Eurocode 8, design of structures for earthquake resistance. Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects. European Standard NF EN 1998–5, Brussels, Belgium.
12. DL5073-112000 Specifications for seismic design of hydraulic structures. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2000. [In Chinese].
13. Global landslide and avalanche hotspots / F. Nadim, O. Kjekstad, P. Peduzzi, C. Herold, C. Jaedicke // Landslides. 2006. Vol. 3 (2). P. 159–173.
14. El-Ramly H., Morgenstern N.R., Cruden D.M. Probabilistic Slope Stability Analysis for Practice. Canadian Geotechnical Journal. 2002. Vol. 39. P. 665–683.
15. Highway Planning and Designing Institute, Ministry of Communications. JTJ044-89 Code for seismic design of highway engineering. Beijing: China Communications Press, 1989. [In Chinese].
16. Krahn J. Stability Modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology/3rd ed. Calgary: GEO-SLOPE International Ltd., 2007. 355 p.
17. Ministry of Railways of the People’s Republic of China. GB50111-2006 Code for seismic design of railway engineering. Beijing: China Planning Press, 2006.

[In Chinese[.
18. Ponomarev A.A., Zerkal O.V. Samarin E.N. Protection of the Transport Infrastructure from Influence of Landslides by Suspension Grouting. Procedia Engineering, 189. 2017. P. 880–885.
19. Yin Y.P. Catastrophic landslides associated with the M8.0 Wenchuan Ms8.0 Earthquake. Bull Eng Geol Environ. 2010. Vol. 70 (1). P. 15–32.
20. Yin Y.P., Wang W. Researches on seismic landslide stability analysis // Journal of Engineering Geology. 2014. Vol. 4. P. 586–600. [In Chinese].

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ НА ШЕЛЬФЕ»

Рыбалко А.Е.[1,2], Локтев А.С.[3], Токарев М.Ю.[1,4], Росляков А.Г.[3,4], Миронюк С.Г.[3], Корост Д.В.[3,4]

[1]ООО «ЦАСД МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва, alek-rybalko@yandex.ru
[2] Санкт-петербургский государственный университет (СПбГУ), Институт наук о Земле, г. Санкт-Петербург
[3]ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва
[4]МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

ПОДВОДНЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ШЕЛЬФОВЫХ МОРЯХ И ИХ ИЗУЧЕНИЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Одной из задач инженерно-геологических изысканий является выявление и анализ влияния опасных геологических процессов на безопасность проектируемых сооружений. В этом отношении гравитационные процессы: оползни в гористо-холмистых в местностях и в береговых зонах морей и рек, солифлюкционные явления в районах с полярным климатом – приносят большой ущерб народному хозяйству и требуют существенных затрат на предотвращение вреда от них.

При проведении морских инженерно-геологических изысканий традиционно считается, что наиболее опасными являются следующие природные процессы: скопления газов в толще осадков, мерзлые породы в разрезе четвертичных и неогеновых отложений, сейсмические толчки, а также ледниковое выпахивание. К гравитационным явлениям, которые, конечно, также рассматриваются как опасные, обычно привлекается меньшее внимание из-за общепринятых понятий о выровненности поверхности шельфа. Между тем, уже сейчас можно сказать, что оползневые и другие гравитационные процессы широко распространены не только на континентальном склоне, но и на поверхности шельфа и могут проявляться даже на очень пологих склонах (слабонаклонных равнинах).

Следует отметить, что представления о выровненности поверхности шельфа, проистекающие из его названия, не всегда справедливы. Так, моря, относящиеся к так называемым «гляциальным» шельфам, т.е. тем участкам континентальной окраины, которые в четвертичное время испытали воздействие ледников, нередко характеризуются достаточно сложным рельефом, сформированными обширными морфоструктурами. Так, в Белом море выделяется крупная отрицательная структура – Кандалакшский прогиб или Кандалакшский грабен. Подобные морфоструктуры отмечаются также на Великих озерах Европы – Ладожском и Онежском. В Балтийском море известны склоны с перепадами глубин около 100 м. Сейсмические и геологические исследования, проводимые совместно последние годы МГУ им. М.В. Ломоносова и ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова», показали наличие оползневых структур самой различной формы и мощности. Особенностью всех этих явлений является тесная приуроченность к зонам современных геодинамических процессов. Они проявляются как в виде сейсмодислокаций, устанавливаемых на суше, так и проявляемых на

сейсмограммах по таким признакам, как линейность, потеря корреляции отражающих рефлекторов, смещению слоев друг относительно друга.

Одним из действенных методов изучения строения рыхлого покрова шельфовых морей является сейсмоакустическое профилирование, различные модификации которого давно стали одним из основных методов инженерно-геологических изысканий на шельфе. Однако, используемые обычно частоты излучения не всегда пригодны для интерпретации самых верхних горизонтов донных отложений. Путь к повышению информативности таких работ хорошо известен: совмещении различных систем сейсмостанций и повышение частоты излучения (даже за счет снижения глубинности зондирования).

Как показали проведенные исследования, для характеристики гравитационных процессов в равной степени пригодны системы с излучателями «Спаркер» и «Буммер». В первом случае несколько возрастает глубинность зондирования, а в число зондируемых объектов попадают и коренные осадочные породы, во втором – обычно лучше разрешенность верхних слоев четвертичного разреза. Интересные данные получены при использовании профилографов с магнитострикционным излучателем, работающих в ультравысоких частотах (1–4 кГц) и позволяющих зондировать верхнюю часть разреза четвертичных отложений с разрешением до 30 см (глубина зондирования преимущественно глинистых отложений достигает 25–30 м, в благоприятных условиях – до 50 м). Примером такого излучателя может служить малосерийный профилограф ВР-300, сконструированный в ФГУНПП «Севморгео» и изготовленный в ОАО «МорФизПрибор». Частота излучения излучателя с регулированием в зависимости от грунтов – 1–4 кГц. Возможности аппаратуры позволяют выполнять:

- стратификацию осадочных слоев с разрешающей способностью до 15 см при глубине зондирования грунта до 340–400 м и глубине места до 400 м;
- послойное определение коэффициента отражения и других акустических характеристик донных осадков;
- автоматическую классификацию грунта на четыре гранулометрических класса – илы, глины, пески, грубообломочные отложения (скальный грунт);
- автоматическое измерение текущей глубины места;
- формирование массивов измеренных глубин слоев с указанием типа грунта и привязкой к текущим координатам, поступающим от приемоиндикатора GPS, необходимых для составления грунтовых карт и разрезов донных отложений;
- архивирование и воспроизведение первичной информации рабочих галсов.

Использованная сейсмоакустическая аппаратура также работает на высоких частотах – 1–4 кГц, но использование более мощных источников излучения позволяет (например, в условиях Белого моря) изучать практически весь разрез четвертичных отложений, а также верхнюю часть разреза коренных пород, сложенных осадочными неметаморфизованными и слабо метаморфизованными породами. Анализ сейсмограмм позволяет оценивать формы геологических тел, определять положение плоскостей отрыва и прочие особенности геологического разреза, из которых и делается вывод о нарушении первичного залегания донных отложений и их деформаций под влиянием гравитационных процессов.

Проявлению в шельфовых областях оползней или других видов нарушений условий залегания донных отложений под влиянием процессов гравитации способствуют:

– сильная обводненность осадков, в том числе по верхнему контакту глинистых отложений или водоупоров иной природы. Вода в данном случае выступает в роли своеобразной смазки, в результате чего резко снижаются затраты физической энергии на преодоление сопротивления силам трения. Поэтому в морских условиях достаточно уклонов в 1–2° для отрыва оползневого тела от склона. Еще меньшие углы достаточны для начала оплывания осадков;

– наличие современных геодинамических движений, чаще всего проявляющихся в виде сейсмических толчков малой интенсивности, является основным провоцирующим фактором развития склоновых процессов. Даже малое сотрясение грунта способно вызвать начало перемещения грунта на более низкие батиметрические уровни. Дополнительным фактором является то, что обычно при неотектонических подвижках грунта возникают дополнительные склоновые поверхности, опять-таки благоприятные для развития гравитационных процессов.

В настоящее время средствами сейсмической акустики, включая собственно сейсмоакустическое профилирование в различном частотном режиме, боковую локацию и многолучевое эхолотирование, изучены гравитационные процессы в Белом, Карском, Баренцевом, Черном и Японском морях. В докладе приводятся примеры этих проявлений, обсуждаются причины и меры по предотвращению возможного урона. Делается вывод о необходимости тщательного изучения всех склоновых поверхностей в морях в пределах лицензионных участков при проектировании инженерных сооружений.

Работа выполнена в рамках темы «Разработка программно-аппаратных комплексов для поиска, разведки, геофизического и геохимического мониторинга разработки месторождений углеводородов, в т.ч. в труднодоступных регионах и сложных природно-климатических условиях» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации» с использованием оборудования, приобретенного по Программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

СОГЛАШЕНИЕ № 14.607.21.0187 О ПРЕДОСТАВЛЕНИИ СУБСИДИИ от 26 сентября 2017.

Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI60717X0187.

Миронюк С.Г.

ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва, mironyuksg@gmail.com

О НЕКОТОРЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДАХ К ОЦЕНКЕ ЧАСТОТЫ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОЦЕДУРЕ АНАЛИЗА МОРСКИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ

Согласно [20] при проектировании подводных трубопроводов должен быть учтен ряд геологических опасностей, среди которых: гравитационные потоки, оползни, землетрясения и др. В морях гравитационные потоки могут формироваться в результате подводного оползания осадков, вызванных сейсмическими событиями, штормовыми волнами, а также вслед за экстремальными паводками [1, 11].

Выделяют [23] четыре основных типа гравитационных потоков различной плотности: турбидные (или мутьевые) (turbidity currents), грязекаменные (обломочные) (debris flow), зерновые потоки (grain flow) и разжиженного осадка (fluidized sediment flow). Имеются и другие их классификации [6, 15, 23, 25]. В частности, А.С. Поляков предлагает обломочный поток, зерновой и турбидные потоки, учитывая, что они имеют общий механизм транспорта, объединить в обломочные потоки, или в потоки гранулированных масс, различающиеся по составу (иловые, песчаные и т. д.) [15].

Гравитационные потоки отличаются от подводных оползней и обвалов главным образом по степени внутренней деформации слоев: деформации максимальны в гравитационных потоках, промежуточные в обвалах и наименьшие при оползнях. Принято считать, что формирование подводных гравитационных потоков разного типа происходит в случае разрушения обвальных масс и оползневых тел по мере их насыщения водой и продвижения вниз по склону. Однако вопрос о преобразовании осадков в мутьевые потоки, несмотря на то что эта проблема была обозначена еще в конце 50-х – начале 60-х годов прошлого века, остается дискуссионным [10, 16]. По плотности флюида (смеси твердой и жидкой фаз) гравитационные потоки делятся на два основных типа: 1) потоки с высокой концентрацией твердой фазы; 2) турбидные потоки со сравнительно низкой концентрацией твердой фазы. Плотность первых колеблется от 1,5 до 2,4 г/см^3, тогда как плотность потоков низкой концентрации (турбидных) изменяется обычно в пределах от 1,03 до 1,3 г/см^3 [7]. Свидетельством существования потоков высокой плотности являются случаи разрывов подводных кабелей [13].

В области морской инженерной геодинамики изучение подводных оползней и других гравитационных перемещений отложений остается до сих пор одной из главных задач [18]. Турбидные потоки представляют большую опасность для трубопроводов. Двигаясь с высокой скоростью, они могут непосредственно воздействовать на трубопровод, размыть основание под ним

на большую глубину, что в свою очередь приводит к образованию свободного пролета.

Применительно к проблеме оценки степени опасности морских геологических явлений, одной из ключевых задач инженерной геодинамики акваторий является определение средней повторяемости (частоты) склоновых процессов. Этот показатель может также рассматриваться как мера «вероятности» возникновения геологического события и использоваться при обосновании необходимости мероприятий по инженерной защите морских объектов (трубопроводов и платформ). Так, согласно СТО Газпром 2-3.7-050-2006 [20], события, включая экстремальные нагрузки окружающей среды, характеризуемые годовой вероятностью 10^{-4} или меньше, рассматриваются как случайные, поэтому они не требуют никаких предупредительных мер для обеспечения конструкционной целостности сооружений.

В настоящее время, в зависимости от этапа работ и полноты исходных данных применяют три методы оценки частоты турбидных потоков: экспертный, основанный на расчетах частоты триггеров, и, наиболее надежный, базирующийся на определении возраста донных осадков.

Величина повторяемости является одним из важных показателей активности геологических процессов и степени их опасности [19]. Частота, с которой в любой точке исследуемой акватории возникают, например, гравитационные потоки, зависит от таких факторов, как рельеф дна моря (в том числе, морфология подводных каньонов и долин), мощность толщ осадков, способных к смещению и вовлечению их в гравитационный поток, состав слагающих толщу осадков, близость области осадконакопления к источнику сноса, сейсмичность области сноса и уровень моря и др.

При этом, как и в отношении частоты геологических процессов на суше (например, селей [14]), установлена следующая закономерность – «частота возникновения геологического процесса данного типа (генезиса) обратно пропорциональна масштабом его проявления» [9]. Объяснение этой эмпирической закономерности дано в работе академика Г.С. Голицына [3].

В России необходимость изучения гравитационных потоков и оценки их частоты впервые возникла при проектировании подводного магистрального газопровода *Джубга-Самсун* («Голубой поток») (строительство завершено в 2002 г.) [2, 4, 8, 22]. В ходе выполнения инженерных изысканий для разработки проекта строительства газопровода «Голубой поток» были выделены следующие гравитационные перемещения осадков – вязкопластические потоки обломочного материала, грязевые и мутьевые потоки. Каждому из них присущи свои специфические типы отложений, которые указывают на их происхождение. При анализе рисков на стадии ТЭО (1998) строительства указанного газопровода, гравитационные потоки были признаны одной из главных угроз его целостности [4] (рис. 1).

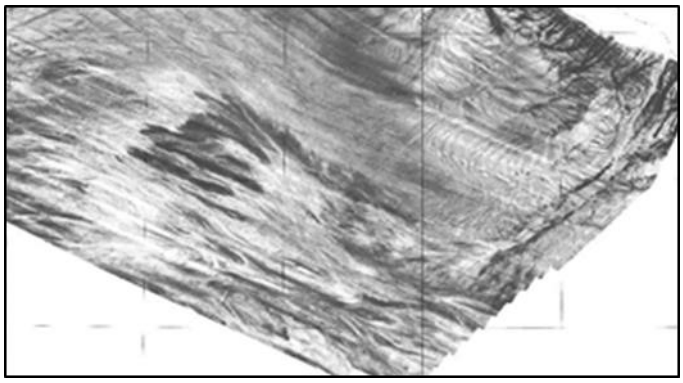


Рис. 1. «Перьевидные» следы движения турбидных потоков в Восточно-Черноморской впадине (центральная часть рисунка) (фрагмент мозаики многолучевого эхолотирования) [5]

Следует отметить, что оценка повторяемости морских геологических процессов имеет свои особенности и трудности. Это связано прежде всего с тем, что в настоящее время отсутствуют (за исключением грязевулканических извержений на шельфе [12] и землетрясений) какие-либо статистические данные о проявлениях опасных геологических процессов в морях, омывающих берега России. Не является исключением в этом отношении и Черное море. Имеются лишь отдельные, разрозненные сведения о проявлении оползневых и других гравитационных процессов в Черноморском бассейне. Практически отсутствуют какие-либо данные о наиболее сильных (экстремальных) событиях, оценка повторяемости которых наиболее важна при расчете на прочность и устойчивость трубопроводов (при указанных расчетах скорость потока, длина его пути и другие параметры рассматриваются как функция среднего периода повторения события).

В силу отсутствия статистических данных о проявлениях турбидных потоков в качестве исходных данных для оценки их повторяемости в коридоре трассы газопровода «Голубой поток» использовались метод экспертных оценок и более объективный метод, основанный на анализе информации об инициирующих потоки явлениях. В качестве таковых рассматривались, в основном, землетрясениях и экстремальные паводки на горных реках, впадающих в море вблизи береговых примыканий газопровода.

Следующий, более надежный метод оценки повторяемости гравитационных потоков был основан на данных литолого-стратиграфического описания керна с целью выявления в отобранной колонке отложений турбидитов и определения их возраста радиоуглеродным методом. Датирование турбидитов выполнялось нами путем определения возраста известковых микрофоссилий методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) в Geochron Laboratories of Cambridge (США, штат Массачусетс). Результатом процедуры по определению возраста турбидитов являлась измеренная последовательность событий для турбидных потоков, включающая зависимость между интенсивностью события (косвенными показателями которой являются,

например, мощность слоя турбидитов, размер частиц и т.д.) и возрастом этих событий, приведших к отложению осадка.

Материалы, полученные с помощью указанного подхода определения возраста, и, соответственно, среднего периода повторения геологических событий в настоящее время все шире применяется при оценке опасности различных геологических процессов, существенно дополняя данные полученные другими методами. Изучается возраст, мощность, состав, текстурные особенности цунамигенных осадков, сейсмогенных отложений коллювиальных клиньев, вулканических пеплов, грязевулканических отложений и других образований, синхронных тем или иным геологическим событиям (цунами, сильным землетрясениям, вулканическим извержениям и т.д.). При этом, чем больше исследованный возрастной интервал, тем больше вероятность того, что в осадочной толще будут обнаружены следы экстремальных (катастрофических) событий, имевших место в прошлом.

Применение метода, основанного на предположении, что основной причиной возникновения вязкопластических потоков обломочного материала на российском и турецком участках трассы газопровода являются сильные землетрясения, показало, что типичная частота плотностных потоков находится в диапазоне от 10^{-2} до 10^{-4} 1/год. Эквивалентный период повторения их изменяется, соответственно, от 100 до 10 000 лет. Прочностные расчеты показали, что наибольшую опасность для газопровода на российском континентальном склоне представляют вязкопластические потоки обломочного материала с частотой порядка 10^{-4} 1/год.

По результатам модельных оценок голландских специалистов из WL Delft Hydraulics мутьевые потоки, возникающие на российском континентальном склоне в верховьях подводных каньонов во время экстремальных паводков рек, характеризуются повторяемостью не чаще 10^{-1} 1/год.

Более точные оценки частоты турбидных поток были выполнены компанией URS Greiner Woodward Clyde с использованием радиоуглеродного метода. Пробы осадков, включающие прослои турбидитов были отобраны в интервале глубин 0,0-3,74 м в каньоне «Голубой поток» на различных участках трассы газопровода. Исследования показали, что частота мутьевых потоков, возникавших, вероятно за счет сейсмических толчков, смещения осадков под действием собственной массы и т. д., составляет 5×10^{-3}-9×10^{-3}1/год.

В ходе реализации проекта строительства газопровода *Джубга-Лазаревское-Сочи* (введен в эксплуатацию в 2011 г.) также рассматривался сценарий возможного динамического воздействия гравитационных потоков на указанный газопровод. Трасса морского участка газопровода ДЛС длиной около 159 км проходит вдоль черноморского побережья в пределах кавказского шельфа и пересекает несколько участков геологических опасностей – погребенные палеоврезы, конус выноса реки Шахэ и площадь морского дна, прилегающая к ее одноименному крупному активному каньону и др.

Большинство верховьев каньонов континентального склона Черного моря заложены на больших глубинах и не оказывают существенного влияния на динамику наносов в береговой зоне. Допускалось, однако рядом специалистов, что по некоторым из них (Мзымтинский, Новый, Шахэ и др.) происходит периодический транзит крупнообломочного и иного материала от устья рек через подзону внутреннего шельфа и верховья каньона к подножью континентального склона.

В частности, в выводах по результатам изысканий (ГНЦ ФГУГП «Южморгеология», 2002) было высказано предположение о возможности формирования в русле р. Шахе селевых потоков, трансформирующихся на внутреннем шельфе в турбидные потоки высокой плотности, способных достичь без разрыва сплошности верховьев каньона р. Шахэ. Обоснованность этого экспертного суждения была проверена нами на основе анализа материалов по селевой опасности долин южного склона Кавказа и, прежде всего, долины р. Шахэ. Анализ публикаций показал, что случаев прохождения селевых потоков по руслу р. Шахе, а также перекрытия и подпора русла реки селевыми отложениями за исторический период не зафиксировано. Установлено, что в изученном районе объективно отсутствуют геолого-геоморфологические предпосылки формирования мощных грязе-водо-каменных селей способных двигаться по основному руслу р. Шахе с выходом их в акваторию Черного моря.

По нашей оценке, вероятность формирования таких селей в период эксплуатации газопровода крайне низкая.

Оценка опасности склоновых процессов была приоритетной проблемой и при изысканиях для строительства газопровода *«Южный поток».* Уже на этапе выбора трассы было признано, что наибольшую опасность для целостности трубопроводов, помимо землетрясений и грязевых вулканов, представляют оползни и гравитационные потоки.

Следы последних были обнаружены с помощью непрерывного сейсмоакустического профилирования и многолучевого эхолотирования в пределах континентального склона, его подножья и в области субабиссальной равнины (рис. 2).

Доказательством существования таких потоков является также наличие песчаных отложений с целыми раковинами и детритом голоценовых морских видов моллюсков в верхней части российского континентального склона (в зоне сероводородного заражения), встреченных в грунтовых колонках ряда станций пробоотбора. В толще присутствует, кроме того, обломки пород флиша различного размера и состава (известняки, мергели, алевролиты, аргиллиты).

Предполагается, что обломочные и турбидные потоки периодически движутся из области шельфа в область подножия континентального склона по тальвегам подводных каньонов и долин, формируя у их устьев конусы выноса. Отложениями турбидных потоков сложены и т. н. осадочные волны,

образованные при многократном выплескивании переносимого ими терригенного материала за борта долин.

Зафиксированы турбидиты и в турецком секторе Черного моря в центральной его части.

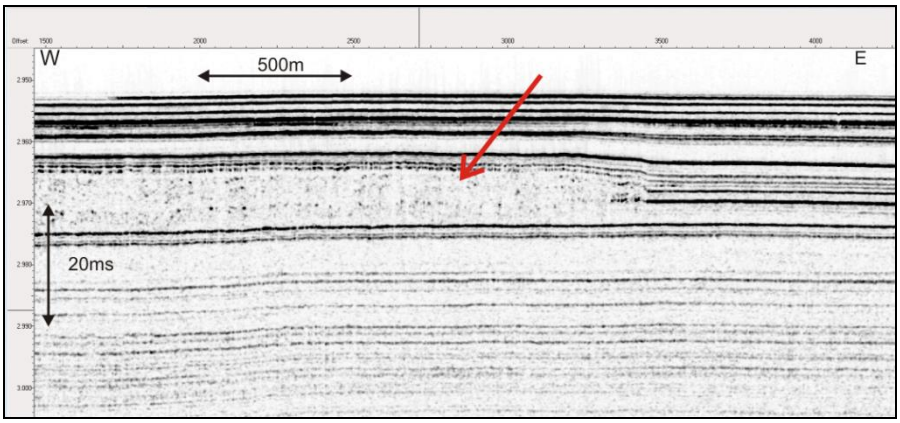


Рис. 2. Отложения погребенного турбидного потока (показаны стрелкой) в пределах центральной части субабиссальной равнины Черного моря (интерпретация А.Г. Рослякова, кафедра литологии и морской геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова)

Широкое распространение плейстоцен-голоценовых конусов выноса, сложенных отложениями турбидных потоков связано здесь с поставкой терригенного материала с турецкого шельфа по подводным долинам рек Сакарья, Кызыл-Ирмак, Ешиль-Ирмак [17, 21].

Литолого-стратиграфическое описание кернов длиной до 11 м с выделением прослоев турбидитов, и их датирование радиоуглеродным методом (в 14CHRONO Centre, г. Белфаст, Северная Ирландия) позволили рассчитать частоту турбидных потоков в субабиссальной области (глубина моря 2 140–2 200 м). Она составила 1×10^{-4}–6×10^{-4} 1/год.

Обобщение результатов, полученных в рамках трех подходов к оценке частоты гравитационных потоков показало, что наиболее объективные данные об их интенсивности можно получить, используя метод, основанный на литолого-стратиграфической характеристике разреза с определением возраста отложений плотностных потоков. Выбор места отбора проб на радиоуглеродный анализ должен проводиться с учетом геоморфологических особенностей местности. Наиболее предпочтительными точками пробоотбора являются прирусловые подводные валы, конусы выноса (фены), тальвеги каньонов и др.

Список литературы

1. Айбулатов Н.А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. М.: Наука, 1990. 272 с.

2. Айбулатов Н.А. Гравитационный перенос осадочного материала на континентальном склоне и безопасность строительства и эксплуатации газопровода Россия-Турция: обз. Информ // Сер. Охрана окружающей среды и промышленная безопасность. М.: ИРЦ Газпром, 2002. 46 с.
3. Голицын Г.С. Объяснение зависимости «частота-объем» извержений вулканов // Доклады Академии наук, 2003. Т. 390. № 3. С. 394–396.
4. Горяинов Ю.А. Управление проектами строительства морских трубопроводов. М.: ЗАО «Формула энергии», 2004. 272 с.
5. Губенков В.В. Современные эрозионно-аккумулятивные процессы в абиссали восточной части Черного моря // Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. М., 2007. С. 59–61.
6. Ионов В.Ю. Опыт исследования подводных оползней для обоснования строительства морских нефтегазовых сооружений // Инженерные изыскания. 2012. № 6. С. 52–63.
7. Кеннетт Дж. Морская геология: В 2-х т. Т. 2. Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 384 с.
8. Козлов С.А., Неизвестнов Я.В., Нарышкин Г.Д., Раскатов В.Н. Особенности инженерно-геологических условий строительства линейных объектов в российском секторе Чёрного моря // Морские инженерно-геологические исследования. СПб.: Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, 2003. Т. 198. С. 73–78.
9. Королев В.А., Трофимов В.Т. Инженерная геология: история, методология и номологические основы. М.: КДУ, 2016. 292 с.
10. Леонидова Н.Л. О некоторых особенностях суспензионных потоков // Океанология. 1972. Т. XII. Вып. 2. С. 262–266.
11. Лонгинов В.В. Очерки литодинамики океана. М.: Наука, 1973. 244 с.
12. Миронюк С.Г. Грязевые вулканы Азово-Черноморского бассейна и прилегающей территории и оценка их опасности для зданий и сооружений // Геориск. № 3. 2010. С. 20–28.
13. Обстановки осадконакопления и фации: В 2-х т. Т. 1.: Пер. с англ. / под ред. Х. Рединга. М.: Мир, 1990. 352 с.
14. Перов В.Ф. Селеведение: учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2012. 271 с.
15. Поляков А.С. Классификация субаквальных гравитационных процессов седиментогенеза // Проблемы литологии, геохимии и рудогенеза осадочного процесса. Т. 2: материалы к 1-му Всероссийскому литологическому совещанию (19–21 декабря 2000 г., Москва). М.: Геос, 2000. С. 121–126.
16. Поляков А.С. Гранулированные среды и седиментогенез / Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование. Обзор. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. 58 с.

17. Пояснительная записка к альбому структурных карт и карт мощностей кайнозойских отложений Черноморской впадины / под ред. Д.А. Туголесова. Геленджик: ГПНИПИ Океангеофизика, 1993. 71 с.
18. Розовский Л.Б. Строительство на акваториях и морская инженерная геология // Инженерная геология. 1979. № 2. С. 11–21.
19. СП 115.13330.2015 «СНиП 22-01-95 Геофизика опасных природных воздействий».
20. СТО Газпром 2-3.7-050-2006. Морской стандарт DNV-OS-F10. Подводные трубопроводные системы. М.: ООО «ИТЦ Газпром», 2006. 431 с.
21. Шимкус К.М. Процессы осадконакопления в Средиземном и Черном морях в позднем кайнозое. М.: Науч. мир, 2005. 280 с.
22. Bruschi R., Bughi S., Spinazzè M., Torselletti E. and Vitali L. Impact of debris flows and turbidity currents on seafloor structures // Norwegian Journal of Geology. 2006. Vol. 86. P. 317–337.
23. Locat J., Lee H.J. Submarine Landslides: Advances and Challenges. Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff. 2000. P. 1–30.
24. Middleton G.V., Hampton M.A. Subaqueous Sediment Transport and Deposition by Sediment Gravity Flows, in: Marine Sediment Transport and Environmental Management / edited by D.J. Stanley, D.J.P. Swift. New York: John Wiley, 1976. P. 197–218.
25. Prior D.B., Coleman J.M. Submarine slope instability. Slope Instability. Chapter 10. New Yourk: John Wiley and Sons, 1984. P. 419–455.

Марченко И.А., Черников Д.И., Науменко Д.А.

ОАО «МАГЭ», г. Москва, info-mf@mage.ru, www.mage.ru

ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ КАРСКОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Введение

Инженерно-геологические изыскания являются необходимой составляющей комплексных инженерных изысканий, предшествующих этапу разработки морских нефтегазовых месторождений. Безопасность и эффективность освоения и разработки месторождений во многом зависит от детальности и качества материалов, полученных в ходе исследований грунтов оснований проектируемых инженерных сооружений нефтегазового комплекса. В морских арктических условиях изыскания осложняются рядом факторов, а требования к безопасности освоения и эксплуатации месторождений возрастают до самых высоких стандартов.

Метод и теория

В последние годы одним из наиболее перспективных и динамично развивающихся направлений освоения морских месторождений являются нефтяные, газовые и газоконденсатные месторождения арктического шельфа Российской Федерации. В настоящее время активно ведутся инженерные изыскания на месторождениях Карского моря [3]. Компания ОАО «МАГЭ» играет ключевую роль в проведении комплексных инженерных изысканий [2, 3]. За последние два года был выполнен широкий спектр работ на площадках проектируемых точек бурения и постановки буровых платформ, включающих в себя следующие виды инженерных изысканий [4]:

- инженерно-геодезические:
  - гидрографические работы (выполнены в период с 2015 по 2017 гг.) – многолучевой эхолот (МЛЭ), гидролокацию бокового обзора (ГЛБО);
- инженерно-геологические:
  - геофизические исследования (выполнены в период с 2015 по 2017 гг.) – непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП) в двухчастотном варианте, сейсморазведка высокого разрешения (СВР), электроразведка (ЗСБ) и магниторазведка (МАГ), термометрия в скважинах;
  - проходка скважин с отбором проб грунта и отбор проб придонных грунтов морскими донными пробоотборниками (проведены в 2016 и 2017 гг.).
- инженерно-гидрометеорологические и инженерно-экологические (проводились в каждый сезон полевых работ).

Одной из главных особенностей Арктического шельфа РФ является распространение многолетнемерзлых пород (ММП), и шельф Карского моря - не исключение [3]. Присутствие данного вида грунтов может оказать существенное влияние на принятие проектных решений при постановке ППБУ или СПБУ, а также создать трудности при бурении разведочных и поисково-оценочных скважин. Для установления состава, состояния и условий залегания мерзлых пород были проведены дополнительные исследования [1].

Помимо стандартных методов геофизических исследований, призванных установить строение верней части разреза, установить присутствие проявлений гравитационных процессов (оползни, турбидитные потоки и др.), а также выделить аномалии, отражающие потенциально опасные зоны (наличие приповерхностного газа, газонасыщенных толщ, разрывных нарушений, трещиноватых зон и др.), начиная с 2015 года компания ОАО «МАГЭ» выполняет морские электроразведочные работы методом становления поля (ЗСБ). Результаты обработки данных ЗСБ дают представление о предполагаемом залегании кровли многолетнемерзлых пород, и позволяют выделить на площади инженерных изысканий участки с возможным присутствием мерзлых пород.

По результатам интерпретации данных ЗСБ в разрезах исследуемой площадки были выделены участки с повышенным (2.8–8.2 Ом*м) удельным электрическим сопротивлением (УЭС) – высокоомные, что говорит о возможном присутствии кровли многолетнемерзлых пород. По итогам анализа геоэлектрических моделей исследуемой площадки, были намечены точки инженерно-геологического бурения на глубины 15–50 м.

Бурение инженерно-геологических скважин проводилось с целью уточнения геофизических данных об инженерно-геологических условиях площадки бурения поисково-оценочной скважины, в том числе для подтверждения данных электроразведки о присутствии и распространении мерзлых пород, определения инженерно-геологического разреза, условий и степени залегания грунтов, а также для установления физико-механических свойств грунтов. Для подтверждения данных о присутствии и состоянии мерзлых пород после проходки каждой скважины проводились внутрискважинные термометрические исследования.

При выполнении инженерно-геологического бурения основной целью является получение максимально ненарушенного керна, пригодного для лабораторных исследований грунтов. Методика бурения инженерно-геологических скважин в районах с распространением многолетнемерзлых пород подразумевает ряд технологических особенностей, предпринимаемых, прежде всего для минимизации растепляющего воздействия снаряда на проходимые породы, и, соответственно сохранения естественного состояния грунтов. В работе рассмотрены особенности методики морского бурения, применяемые в рамках инженерно-геологических работ на шельфе Карского

моря [3, 4], порядок обработки отобранных грунтов в судовой лаборатории [1], а также методика термометрических исследований в скважинах.

Выводы

В работе рассматриваются особенности методики и технологические аспекты инженерно-геологических изысканий на шельфе Карского моря в условиях развития многолетнемерзлых пород. Отличительной особенностью проведенных инженерных изысканий является комбинация ряда методов (ЗСБ – бурение – термометрия). Стоит отметить, что все проведенные исследования были выполнены исключительно силами российских специалистов, без привлечения зарубежных организаций. Описанные технические решения и подход к выполнению исследований могут быть использованы при освоении шельфовых месторождений Арктики, когда необходимо получить данные о распространении и состоянии мерзлых пород.

По результатам проведенных работ были получены данные о залегании и состоянии мерзлых пород на площадке инженерных изысканий, составлены карты инженерно-геологического и геокриологического районирования, и построены инженерно-геологические разрезы.

Список литературы

1. ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация».
2. Кулага А.И. Инженерно-геологические условия площадки строительства скважины глубокого бурения Русановская-5. Мурманск: НПО «Союзморинжгеология», АМИГЭ, 1990.
3. Куликов С.Н. и др. «Комплексная программа геофизических и инженерно-геологических исследований на перспективных буровых площадках в южной части акватории Карского моря в пределах Восточно-Приновоземельского-2 (ВП-2) лицензионного участка» площадка: Университетская-3. Технический отчет, ОАО АМИГЭ, 2015.
4. СП 11-114-2004 «Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений».

Локтев А.С.

ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва, andreiloktev@mail.ru

СТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ

Статическое зондирование (CPT -cone penetration test) является одним из методов исследований грунтов и их свойств при выполнении инженерно-геологических изысканий. К основным преимуществам такого метода относятся: получение различных инженерно-геологических (геотехнических) параметров и свойств грунтов в их естественном залегании, повторяемость, минимальное нарушение грунтового массива, минимальные временные и материальные затраты. Современные технологии позволяют выполнять различные виды зондирования с использованием разнообразных видов зондов и датчиков на значительную глубину. Очевидно, такие преимущества и свойства необходимо использовать при инженерных изысканиях на шельфе и акваториях вообще, имея ввиду особую специфику их природных условий: ограниченный период возможных работ, высокую сложность и стоимость организации изысканий, наличие толщи воды, большую мощность достаточно «слабых» грунтов в разрезе и др.

Вместе с тем в отечественной практике статическое зондирование до сих пор широко не применяется при изысканиях на акваториях. Традиционно проектировщики предпочитают параметры и свойства, полученные по лабораторным данным при пробоотборе вещества в полевых (морских) условиях. Практически такая картина не меняется на протяжении длительного периода с начала широкого освоения шельфа в России и СССР с 1980-ых годов. Показателем этого может служить, в том числе, и неразвитость (неизменность) нормативной базы для таких работ.

Краткий экскурс по нормативно-методическим документам для CPT показывает, что в настоящее время используются различные стандарты и руководства, базирующиеся на опыте 1980-1990-ых гг. Основной стандарт – ГОСТ 19912-2012, определяющий методику работ, фактически не учитывает реальные морские условия и практически не применим для шельфа. Причина в отсутствии требований к необходимости зондов с применением датчика, измеряющего поровое давление. Практический опыт показывает, что величина избыточного порового давления в морских водонасыщенных грунтах (Δu) соизмерима с величиной удельного сопротивления под конусом (удельное лобовое сопротивление-q_c) [3, 14, 15]. Поэтому, не измеряя и не учитывая поровое давление можно получать заведомо недостоверные результаты. Собственно в ГОСТе также нет требований к применению датчика инклинометрии (параметр также отнесен к специальным, т.е. не обязательным), а простой арифметический расчет показывает, что при глубине пенетрации 10 м и отклонении колонны CPT от вертикали на 10^0 погрешность определения

глубины залегания границ составляет 0.15 м; при глубине 50 м уже 0.8 м. ГОСТом же предусмотрено завершение теста при отклонении зонда от вертикали $20^{0,}$ т.е. можно допустить, что при таком критическом отклонении, неточность определения на базе пенетрации даже 10м составит 0.6м. Справедливости ради стоит отметить, что работа по актуализации данного стандарта идет и в актуализированной версии (с учетом применимости для акваторий) эти факторы будут учтены.

Методика полевых (морских) испытаний статическим зондированием подробно изложена в различных международных нормативах и научных работах: ISO 22476-1:2012, ISO 19901-8:2014, EN 1997-2:2007, ASTM D5778, Swedish Geotechnical Society SGF Report 1:93E, Luune et al (1997), Robertson et al (1983, 1986) и др. Здесь приводится исчерпывающая информация о применяемом оборудовании, порядке подготовки и выполнения работ, измерении параметров, их регистрации и предоставляемых данных. Очевидно, при отсутствии отечественных нормативов в этой части необходимо использовать международные, тем более что РФ является полноправным членом ИСО (ISO – International Organization for Standardization).

К наиболее ответственным требованиям, которые в нашей практике зондирования иногда не соблюдаются или же не фиксируются (отсюда и неопределенность – было выполнено или нет?), можно отнести: параметры использованных зондов, принцип и характеристики задавливания, измеренные офсеты на разных стадиях теста, размеры использованных штанг, регистрируемые параметры на всех стадиях теста и частота их регистрации, причина завершения теста, глубина моря, полные калибровочные данные.

Часто выбор зондов для конкретного проекта и типа разреза не производится вообще. Вместе с тем это неправильно, так как зонды снабжаются различными по чувствительности датчиками, с разным диапазоном измеряемых параметров, табл. 1 [9, 10]. Так зонды Класса 1 применимы для слабых грунтов и не пригодны для изменчивых по свойствам разрезов (переслаивание и смесь разных по составу отложений), толщ, сложенных плотными грунтами. Зонды, соответствующие Классу 2, применимы для слоистых разрезов с изменчивыми свойствами (от слабых до уплотненных отложений), с возможностью измерения параметров грунтов только слабых или рыхлых разностей (при использовании CPTU (U – с датчиком порового давления). Самый «грубый» Класс 3 применяется для разнородных по составу и текстуре отложений, преимущественно для идентификации собственно видов отложений и последовательности их залегания. Определение количественных параметров грунтов возможно для тугопластичных (и более плотных) глин и плотных песков; для относительно слабых отложений рекомендуется использовать более чувствительные зонды и датчики (классы 1 и 2). Как показывает опыт, в российской практике обычно такая информация об использованных зондах вообще отсутствует, а подрядчики используют один тип зонда «на все случаи жизни».

Таблица 1

Точность и применимые классы для CPT [9]

Применимые классы	**Тип теста**	**Измеряемые параметры**	**Допустимая минимальная точность**
1	CPTU	Cone resistance, q	35 kPa or 5 %
		Sleeve friction, f	5 kPa or 10 %
		Pore pressure, u	25 kPa or 5 %
2	CPT or CPTU	Cone resistance, q	100 kPa or 5 %
		Sleeve friction, f	15 kPa or 15 %
		Pore pressure, u	50 kPa or 5 %
3	CPT or CPTU	Cone resistance, q	200 kPa or 5 %
		Sleeve friction, f	25 kPa or 15 %
		Pore pressure, u	100 kPa or 5 %

Стандартная скорость пенетрации составляет 20±5 мм/сек [8, 9, 10] или 1,2±0,3м/мин [1], т.е. идентична в отечественной и зарубежной практике. Следует отметить, что на самом деле принцип задавливания может быть разным, т.е. не обязательно с равномерной скоростью, но и с равномерной нагрузкой (при одной постоянной величине можно рассчитывать остальные параметры). Обычно при заданной скорости пенетрации никто не задумывается о способе измерения ее глубины. А это достаточно важно, так как она чаще всего определяется прямым расчетом, при известной скорости пенетрации и времени. Однако, при неоднородном разрезе, наличии переуплотненных прослоев или грунтов, вполне возможно, что такое условие не выполняется, так как использованные механизмы и устройства для создания поступательного движения имеют определенные технические ограничения и часто не успевают «реагировать» на подобную изменчивость, что приводит к получению искаженных результатов. Один из возможных путей решения этой проблемы является использование независимого измерителя глубины зондирования.

Следует также отметить, что изменение скорости пенетрации может существенно влиять на величину измеряемого удельного сопротивления под конусом (лобового сопротивления), q_c. Проведенные экспериментальные измерения показали, что при увеличении или уменьшении скорости задавливания от стандартной будет происходить значительное увеличение измеряемого лобового сопротивления (рис. 1). Т.е. при таких отклонениях возможно завышение определяемой величины (q_c) и «улучшение» свойств грунтов основания.

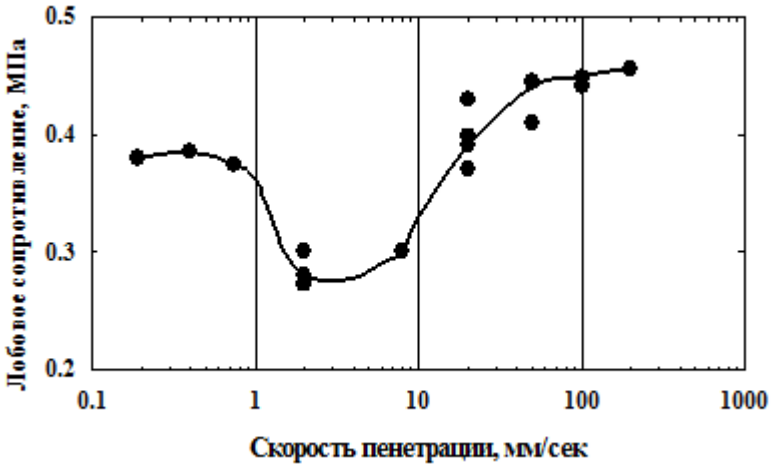


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления под конусом от скорости пенетрации (по Lunne, 1997)

Стандартные причины завершения тестов CPT определяются стандартами [1, 9]: достижение проектной глубины, или допустимой нагрузки, или допустимого отклонения от вертикали. Такие данные также обычно не регистрируются. Вместе с тем это определенный условиями работ параметр. Чаще всего на шельфе задается нагрузка от 50 до 200 КН, т.е. использование устройства, создающего такое усилие на стандартный конус. Обычно применяется конус с площадью сечения S = 10 см^2 (для слабых грунтов возможно применение зонда меньшего диаметра и площади, соответственно более чувствительного). При таких нагрузках масса самой установки CPT, воспринимающей реактивную силу, должна быть соответствующей, т.е. порядка 5-20 т. Это усложняет выбор судна, грузоподъемного оборудования и не всегда соблюдается подрядчиками; и, как следствие, может являться причиной невозможности достижения заданных максимальных нагрузок. Но это уже вопрос и финансовых условий работы, которые здесь не предполагается рассматривать; отметим лишь то, что если исследуемый разрез сложен плотными глинистыми грунтами или песками, то необходимо применять установки, создающие усилие не менее 100-200 КН.

Существенное влияние на точность измерений оказывает состояние датчиков, особенно порового давления. Известно, что они быстро «забиваются» и требуют новой калибровки, поэтому обычная практика подразумевает частую смену зондов (или самих датчиков), обычно, через 15-20 тестов [11, 14]. Это принципиально важно для слабых глинистых грунтов, т.к. погрешность получаемых параметров может быть больше самих величин параметров, как отмечалось выше. Поэтому также важно контролировать все регистрируемые параметры от начала теста (зонд на палубе), до его завершения (зонд опять на палубе) при допустимых офсетах. В противном случае необходимо усомниться в результатах и выявить причину отклонений.

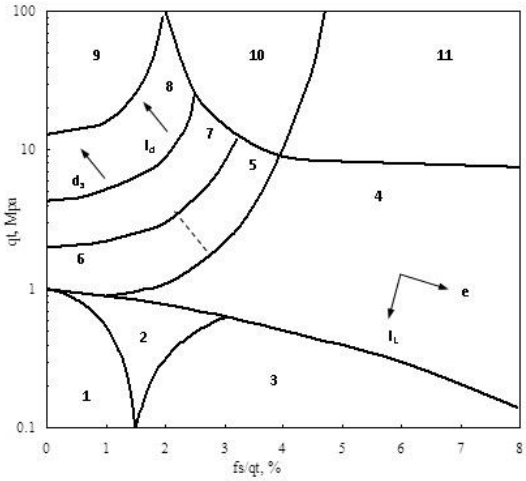
На точность зондирования также оказывает влияние частота измерений, эта характеристика определена по-разному ГОСТом и нормативами ИСО. Международные требования гораздо выше и подразумевают частоту 1 Гц, т.е. каждые 2 см, в то время как ГОСТ требует измерения через 10-20 см (в зависимости от типа зонда), при этом промежуточные значения получаются интерполированием. Для слоистого разреза это может быть критично.

Еще более серьезной проблемой является отсутствие отечественной методики обработки и интерпретации данных статзондирования. Формально можно использовать несколько разных нормативных документов для интерпретации: СП 11-105-97 (Ч. 1), СП 11-114-2004 и «Рекомендации… , 1988» [3-6]. Однако, СП 11-105-97 (Приложение И), который некоторые исследователи применяют, по сути, неприменим для водонасыщенных грунтов шельфа. Во-первых, в нем не учтено избыточное поровое давление (Δu), о существенном влиянии которого уже говорилось; во-вторых, интерпретация основана на измеряемом сопротивлении под конусом (лобовом сопротивлении), т.е. в большинстве случаев даже без учета величины сопротивления трению (f_s); в-третьих, табличные диапазоны весьма большие (даже для глинистых грунтов расчет идет от $q>1$ МПа и с шагом 1 Мпа, меньшие величины определяются интерполяцией). Очевидно, что при таких параметрах интерпретация теряет смысл, так как будет очень грубой; или же допустима для переуплотненных или слаболитифицированных осадков (существенная доля морских грунтов, которые являются основанием для гидротехнических морских сооружений, характеризуются лобовым сопротивлением 0,1-2 Мпа).

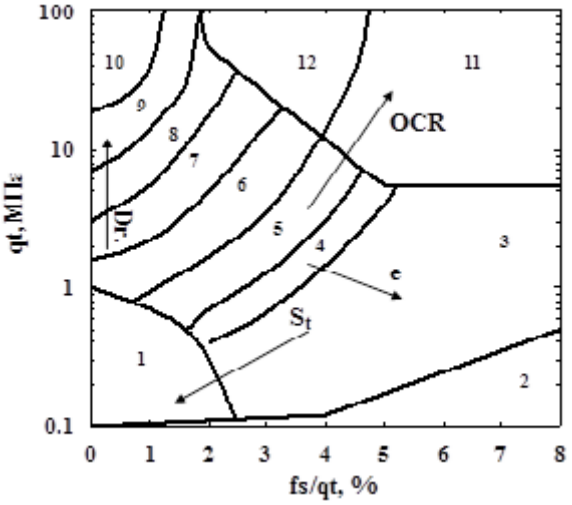
Вместе с тем Приложение М СП 11-114-2004 подготовлено специально для шельфа и основано на эмпирических данных СРТ и лабораторных анализов по российским ГОСТам с использованием зарубежного опыта [3, 11, 12]. Точность и достоверность получаемых по данным нормативно-методическим источникам значительно выше и очевидна. Здесь единственным пожеланием является периодическое обновление региональных корреляций (с накоплением базы данных по различным регионам) и установление таковых для тех морей и акваторий, по которым такие данные отсутствовали.

Еще одной распространенной ошибкой при интерпретации результатов статического зондирования является прямое использование зарубежных классификаций или схем, основанных, на них. Надо понимать, что их применение возможно лишь частично. В первую очередь это касается определения номенклатуры грунта. Однозначное и прямое сопоставление номенклатуры грунтов по ГОСТ 25100-2011 с другими классификациями (ASTM D2487, 2488; BS5930, USCS, Fugro и др.) невозможно в силу отличий в принципах классификаций, методиках определения параметров и используемых приборах [2, 12]. Поэтому последующий «перевод» из западных терминов в ГОСТовскую классификацию уже подразумевает неточность и некоторую вольность. Например, разновидность *суглинок текучепластичный* может быть определена как *soft very u soft clay, silt, silty clay, clayey silt, sandy clay, sandy silty*

clay и т.д. А илы и супеси вообще не вписываются в такие классификации. На рис. 2 приведены для сравнения классификации грунтов по данным СРТ по ГОСТ 25100 и Robertson et al (наиболее употребимая и используемая). Очевидно, что, получив номенклатуру по правой части рисунка сложно однозначно преобразовать ее в термины отечественной системы (по СП 11-114-2004).



1 – ил супесчаный
2 – ил суглинистый
3 – ил глинистый
4 – глина – суглинок тяжелый
5 – суглинок легкий
6 – супесь пылеватая
7 – супесь песчанистая – песок пылеватый
8 – песок пылеватый – мелкий
9 – песок мелкий – средний
10 – песок переуплотненный и слабосцементированный
11 – глина твердая, переуплотненная и слаболитифицированная
d_3 – средний размер зерен
I_d – степень плотности
e – коэффициент пористости
IL - консистенция



1.sensitive fine grained
2.organic material
3.clay
4.silty clay to clay
5.clayey silt to silty clay
6.sandy silt to clayey silt
7. silty sand to sandy silt
8. sand to silty sand
9. sand
10. gravelly sand to sand
11. very stiff fine grained
12. sand to clayey sand
OCR – коэффициент переуплотнения
S_t – показатель чувствительности (глин)
D_r – степень плотности (песка)

Рис. 2. Классификация грунтов по ГОСТ 25100 и Robertson (1988)

Но эти проблемы не распространяются на собственно свойства, которые имеют более глубокий смысл и не зависят от классификационных схем; прочностные и деформационные свойства определяются по общепринятым теоретическим и эмпирическим зависимостям [5, 12, 14, 15].

Список литературы

1. ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.
2. Локтев А.С. Некоторые аспекты и проблемы перевода специальных терминов в инженерно-геологической практике изысканий на шельфе // Материалы международной конференции по освоению Арктики и континентального шельфа РАО. СПб., 1997.
3. Локтев А.С. Современные технологии инженерно-геологических изысканий на шельфе // Статическое зондирование: материалы 6-ой международной конференции по освоению Арктики и континентального шельфа РАО, СПб, 11–13 сент. 2003 г. СПб., 2003.
4. Окунцов Е.И., Федоров С.Л. Рекомендации по методике интерпретации результатов статического зондирования на континентальном шельфе. МНП, Рига, 1988.
5. СП 11-114-2004 Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений.
6. СП 11-105-97 Часть 1. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ.
7. ASTM D5778 Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils.
8. EN 1997-2:2007 Eurocode 7. Geotechnical design- Part 2. Ground investigation and testing.
9. ISO 19901-8:2014 Petroleum and natural gas industries. Specific requirements for offshore structures. Part 8: Marine soil investigations.
10. ISO 22476-1:2012 Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration tests.
11. Lunne T, Robertson K.E., Powell J.J.M. CPT in geotechnical practice. Chapmen & Hall, 2–6 Boundary Row, London, UK, 1997.
12. Lunne T, Loktev A. Russian and Norwegian practice for soil investigation. Stage 1: Comparison of Russian and Western standards: Field work and laboratory testing // Report 20051484-1. NGI. March 2006. 141p.
13. Recommended Standard for Cone Penetration Tests. Swedish Geotechnical Society SGF Report 1:93E.
14. Robertson K.E. and Campanella R.G. Interpretation of cone penetration test. Part I (Sand), II (Clay). CGJ, Ottawa, No.4, November, 1983.
15. Robertson K.E., Campanella R.G., Jillespie et al. Use of piezometer. Proceeding of ASCE Specialty Conference in-situ’86: Use of in-situ tests in geotechnical engineering. Blacks Burg, ASTM, 1986.

Рокос С.И.

ОАО «АМИГЭ», г. Мурманск, sergey.rokos@amige.ru

ТИПИЗАЦИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ГАЗОВЫХ ЛОВУШЕК С АНОМАЛЬНО ВЫСОКИМ ПЛАСТОВЫМ ДАВЛЕНИЕМ В ГРУНТАХ МЕЛКОВОДНОГО ШЕЛЬФА ПЕЧОРСКОГО И КАРСКОГО МОРЕЙ

При бурении инженерно-геологических скважин и проведении геотехнических работ в пределах мелководных районов Печорского и Карского морей неоднократно отмечались выбросы газо-водяной смеси, насыщенной взвешенными грунтовыми частицами (рис. 1). Выбросы происходили в диапазоне глубин от 20 до 50м ниже поверхности дна (весьма малые глубины для такого явления) при проходке толщ четвертичных отложений. Очевидно, что эти выбросы связаны со скоплениями газа с аномально высоким пластовым давлением (АВПД). Присутствие газа в осадках верхней части разреза связано с формированием вечной мерзлоты и ее последующей деградацией [1, 3, 4].

Наличие приповерхностных газовых скоплений несомненно следует рассматривать как природный фактор или как опасное инженерно-геологическое явление. Это явление серьезно осложняющий освоение нефтегазовых месторождений шельфа. Особую опасность оно представляет для морских буровых установок. Зафиксированы многочисленные случаи аварий этих сооружений, связанных с вскрытием приповерхностных зон АВПД [5]. В т.ч. отмечены такие тяжелые последствия этих аварий как случаи полного затопления буровых платформ, гибель персонала, разливы большого количества нефти.

На мелководном шельфе Печорского и Карского морей газ содержится как в глинистых образованиях четвертичной толщи (глинах, суглинках, супесях и илах), так и в грунтах песчаного состава. В глинистых грунтах газ содержится в диспергированной форме (в виде разрозненных пузырьков) и не может создавать высоких пластовых давлений.

Собственно АВПД могут создаваться в сосредоточенных скоплениях-ловушках, приуроченных к проницаемым коллекторам, перекрытым малопроницаемыми покрышками- относительно консолидированными глинистыми отложениями или многолетнемерзлыми породами. Коллекторами обычно выступают пески различной крупности и/или глинистые грунты с частыми прослоями и линзами песков.

В контексте рассматриваемой проблемы очень важным является вопрос о давлении, создаваемом газом в отложениях верхней части разреза. Технология инженерно-геологического бурения не предполагает герметизации скважин и измерения в них давления. Это делает не возможным точную оценку пластового давления в газонасыщенных грунтах.

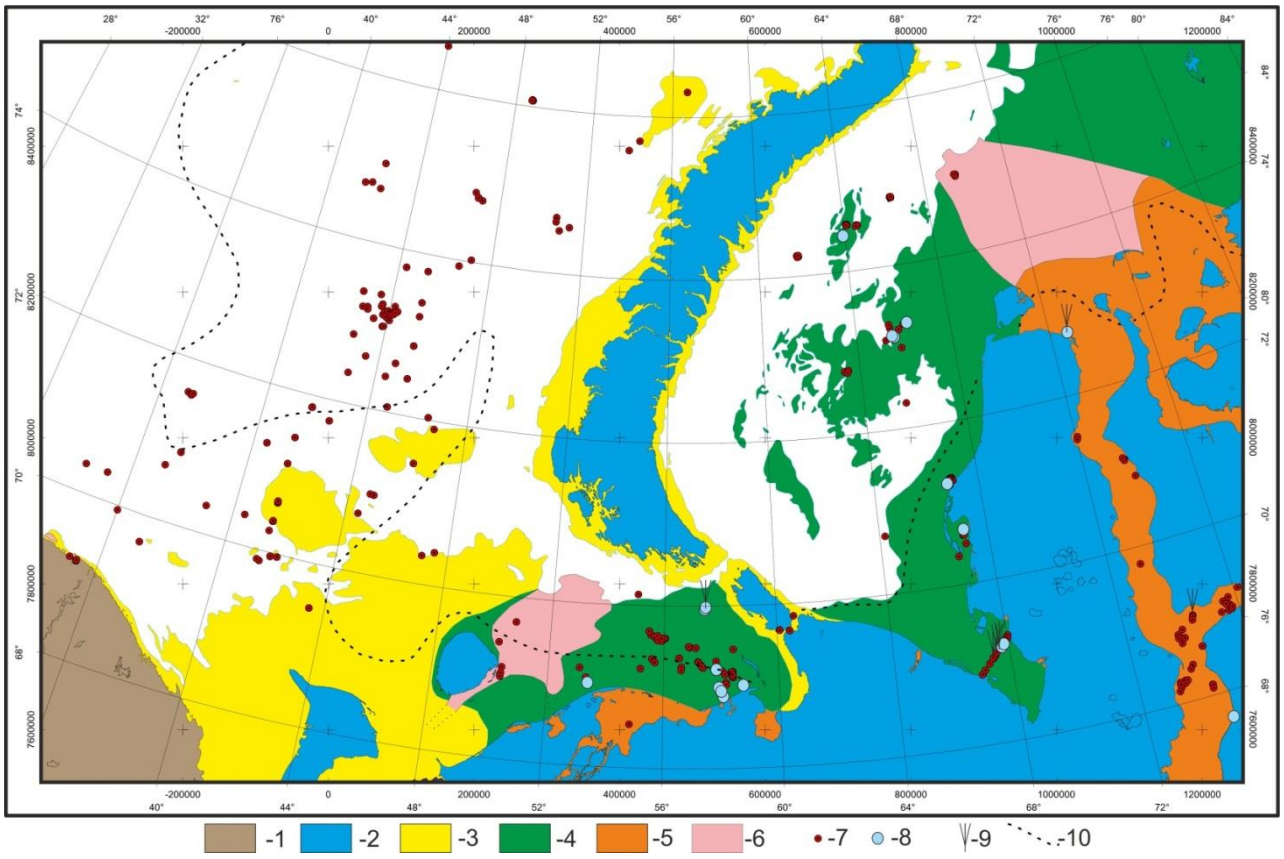


Рис. 1. Схема распространения газосодержащих и многолетнемерзлых грунтов на шельфе Баренцева, Печорского и Карского морей
1 – талые грунты суши; 2 – многолетнемерзлые породы суши (включая морозные и ледники); 3 – (оконтурена изобатой 100м), но не испытавшая промерзания; 4 – область развития газосодержащих осадков и реликтовых многолетнемерзлых пород; 5 – талики, приуроченные к современным эстуариям крупных рек; 6 – талики, приуроченные к древним речным долинам и эстуариям; 7 – опорные инженерно-геологические скважины, не вскрывшие многолетнемерзлые породы; 8 – инженерно-геологические скважины, вскрывшие многолетнемерзлые породы 9 – инженерно-геологические скважины, из которых происходили выбросы газа; 10 – изотерма 0ºС придонного слоя морской воды

О величине аномально высокого давления можно судить лишь на качественном уровне по характеру и интенсивности выбросов (в основном по высоте фонтана газо-водяной смеси над устьем скважины). По этому признаку было отмечено, что довольно интенсивные и мощные выбросы (высота фонтана над устьем до 1-3 м) имели место в песчаных интервалах внутри толщи верхненеоплейстоценовых казанцевско и микулинских ($mIII^1kz$ и $mIII^1mk$) глин и суглинков тугопластично-полутвердой консистенции. Очевидно, что здесь сосредоточенные газовые ловушки приурочены к ограниченным по объему песчаным линзам, залегающим внутри толщ относительно консолидированных глинистых образований (рис. 2, а).

По всей видимости относительно консолидированные глинистые образования играют роль флюидоупоров (покрышек). Эти покрышки препятствуют рассеиванию газовых скоплений и способны сдерживать

относительно высокое пластовое давление, которое создается газом во внутренних линзах песчаного состава, играющих роль коллекторов-ловушек.

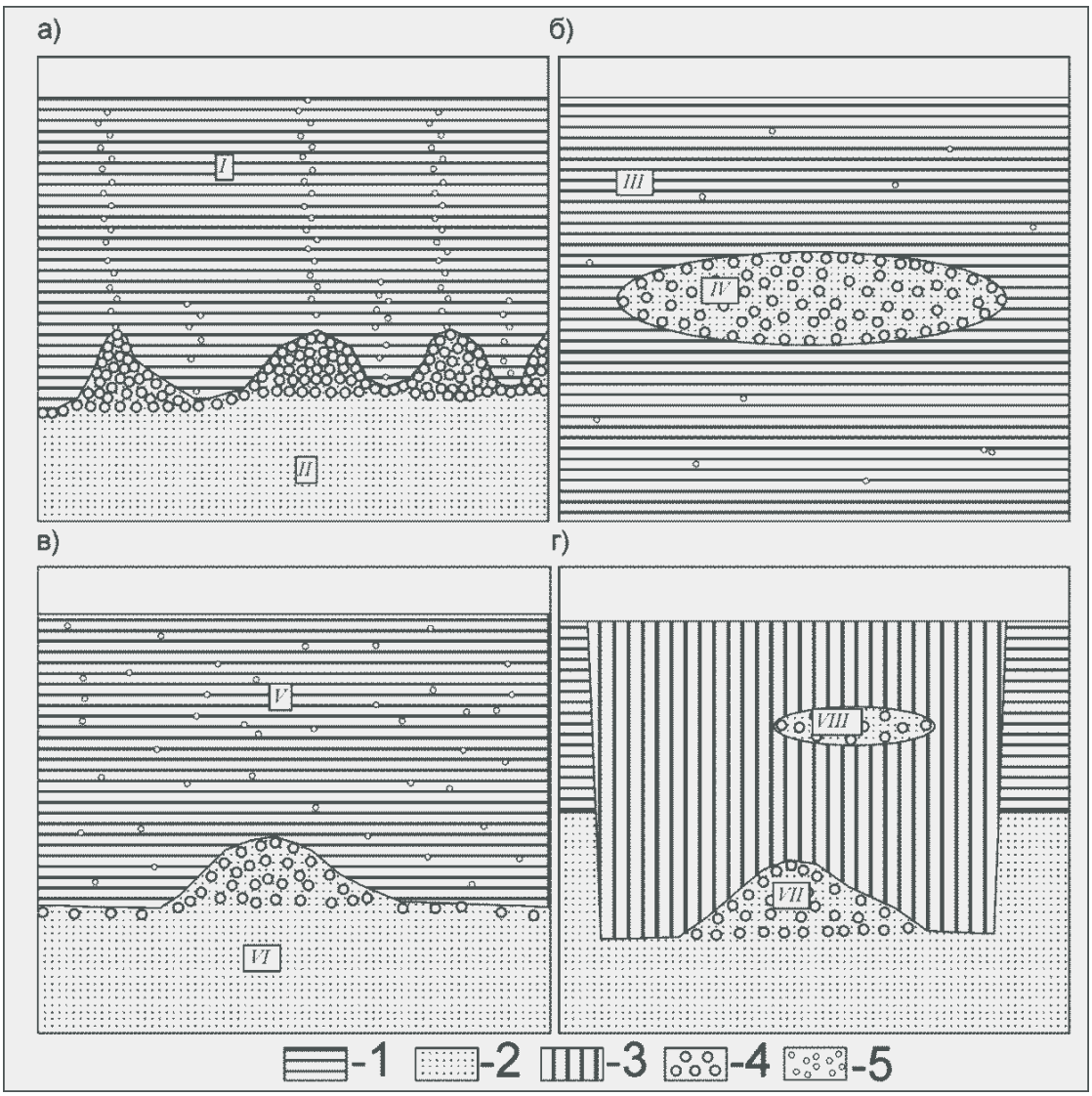


Рис. 2. Схематичные модели ловушек приповерхностного газа, потенциально опасных с точки зрения наличия в них АВПД, в различных типах осадочных толщ
а) газовые скопления в ермаковско-калининских песках, перекрытых каргинско-ленинградскими глинами; б) в локальных песчаных линзах в толще относительно консолидированных казанцевско-микулинских глин и суглинков; в) в древнеголоценовых аллювиальных песках, перекрытых голоценовыми аллювиально-морскими илами; г) подмерзлотные и межмерзлотные сосредоточенные газовые скопления. 1 – глины и суглинки, 2 – пески, 3 – многолетнемерзлые льдистые грунты, 4 – сосредоточенные газовые скопления, 5 – диспергированный газ. I – ленинградско-каргинские глины, II – ермаковско-калининские пески, III – казанцевские глины и суглинки, IV – внутренние песчаные линзы, V – голоценовые глинистые аллювиально-морские осадки, VI – древнеголоценовые аллювиальные пески, VII – подмерзлотные газовые скопления, VIII – межмерзлотные газовые скопления, приуроченные к пористым линзам преимущественно песчаного состава

Менее интенсивные выбросы имели место из верхненеоплейстоценовых калининских и ермаковских ($aIII^2kl$ и $aIII^2er$) песков (высота фонтана менее 1м). В этих песках встречаются сосредоточенные газовые скопления, приуроченные к мелким антиклинальным изгибам подошвы каргинских глин (рис. 2, б). Эти изгибы формируют систему ловушек мелких антиклинальных ловушек.

Сверху данные газовые скопления перекрыты ленинградско-каргинскими образованиями ($amIII^3ln$ и $amIII^3kr$). Ленинградско и каргинские образования, являясь неконсолидированными глинистыми грунтами текучей-текучепластичной консистенции, не могут сдерживать высокого избыточного (по отношению к гидростатическому) пластового давления, которое создается газом в подстилающих ермаковских песках.

Такие же маломощные выбросы наблюдались и при вскрытии подошвы толщи голоценовых аллювиально-морских (amH) глинистых осадков в Обской губе. Здесь газовые ловушки приурочены к древнеголоценовым аллювиальным пескам русловых фаций. Они развиты на участках, где имеют место положительные изгибы подошвы перекрывающей толщи современных аллювиально-морских глинисто-суглинистых осадков (рис. 2, в). Эти осадки также представлены неконсолидированными глинистыми грунтами текучей-текучепластичной консистенции. Как и ленинградско-каргинские образования они не могут сдерживать высоких пластовых давлений, создаваемых в сосредоточенных газовых скоплениях под их подошвой.

Наиболее мощные и интенсивные выбросы были отмечены при бурении инженерно-геологических скважин в толще многолетнемерзлых пород (рис. 2, г). Здесь зоны АВПД приурочены к сосредоточенным скоплениям газа в линзах талых проницаемых песчаных отложений внутри мерзлой толщи (межмерзлотные газовые скопления) или к положительным структурам кровли подмерзлотных талых образований, обладающих соответствующей пористостью (подмерзлотные газовые скопления).

Очевидно, что мерзлые породы обладают значительно более высокой прочностью и меньшей проницаемостью по сравнению с их талыми аналогами. Соответственно внутри мерзлой толщи или под ее покровом могут создаваться относительно высокие давления. Высоты фонтанов газо-водяной смеси, возникавших при вскрытии подмерзлотных или межмерзлотных АВПД достигала 10 м и более.

Из вышеизложенного очевидно, что величина аномально высокого пластового давления в приповерхностной газовой ловушке в значительной мере определяется свойствами отложений покрышки. Чем более консолидированы образования, слагающие покрышки локальных скоплений приповерхностного газа, тем более высоких значений достигает пластовое давление в этих скоплениях.

Четких критериев выявления приповерхностных газовых ловушек с АВПД на мелководном шельфе Печорского и Карского морей по данным сейсмического (сейсмоакустического) профилирования на сегодняшний день не

существует. Это связано со сложными и неблагоприятными условиями распространения сейсмических волн в верхней части разреза данного региона. Сложность и неблагоприятный характер этих условий определяются широким распространением мерзлых и оттаявших грунтов, а также наличием газонасыщенных осадков.

Тем не менее, приближенный качественный прогноз зон и интервалов, опасных с точки зрения приповерхностных газовых ловушек с АВПД, при определенных условиях возможен. К числу этих условий относится, прежде всего, хорошая изученность того или иного района (перспективной структуры, площади месторождения и т.п.). Имея достаточно подробное представление о структуре верхней части осадочного разреза, составе слоев, а также об условиях распространения вечной мерзлоты, можно выделить зоны и интервалы, в которых, с той или иной вероятностью, возможны приповерхностные ловушки с АВПД.

Ключевым здесь является момент, связанный с наличием антиклинальных структур, а также внутренних пористых песчаных линз и/или глинистых грунтов с частыми прослоями песка в глинистых и/или мерзлых толщах. Наиболее опасными с точки зрения АВПД являются интервалы, залегающие непосредственно под подошвами мерзлых массивов.

Список литературы

1. Бондарев В.Н., Длугач А.Г., Костин Д.А., Лисунов В.К, Рокос С.И. Акустические фации посткриогенных обстановок мелководных районов Печорского и Карского морей // Разведка и охрана недр. 1999. № 7–8. С. 10–14.
2. Бондарев В.Н., Длугач А.Г., Костин Д.А., Рокос С.И., Полякова Н.А. Подмерзлотные скопления газа в верхней части осадочного чехла Печорского моря // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 7. С. 587–598.
3. Рокос С.И., Длугач А.Г., Костин Д.А. Свободный газ и многолетняя мерзлота в осадках верхней части разреза мелководных районов шельфа Печорского и Карского морей / Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. С. 40–52.
4. Рокос С.И. Инженерно-геологические особенности приповерхностных зон аномально высокого пластового давления на шельфе Печорского и южной части Карского морей // Инженерная геология. 2008. № 4. С. 22–28.
5. Миронюк С.Г. Эффекты внезапных выбросов газов из донных отложений и их опасность для морских сооружений и буровых судов // http://samlib.ru/m/mironjuk_s_g/06geohazards.shtml.

Здобин Д.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Институт наук о Земле,
Охотинское общество грунтоведов, г. Санкт-Петербург, zdobin_soil@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ БАРЬЕРНОЙ ЗОНЫ «ВЗВЕСЬ-ОСАДОК» ПРИ ОБУСТРОЙСТВЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ

Основная проблема при освоении шельфа в том, что при текущем уровне технологий из 4,1 млн. кв. км российской Арктики для работы доступно менее 40 тысяч. Освоение шельфовых арктических нефтяных и газовых месторождений потребует нестандартных инженерных решений по проектированию, строительству и последующей эксплуатации добычных автономных, полностью роботизированных платформах, крепящихся ко дну, т.к. тяжёлая ледовая обстановка делает невозможным другие технические решения: ледостойкие гравитационные платформы, самоподъемные погружные и плавучие установки, буровые суда для добычи углеводородов.

В связи с тем, что морское дно в районах будущих оснований платформ полностью сложено дисперсными связными органо-минеральными грунтами, находящимися в стадии образования, знания о взвеси как таковой, стадиях образования осадка и об илах как многофазных, термодинамически неустойчивых дисперсных системах станут одним из магистральных направлений грунтоведения.

К сожалению, необоснованная примитивизация инженерно-геологических исследований, как на суше, так и на шельфе свела к минимуму определяемые показатели состава и свойств грунтов. Базисные навыки комплексного исследования состава, строения и свойств морских грунтов практически полностью утрачены. Исключено изучение минералогического состава глинистых минералов, упрощено определение гранулометрического состава твёрдой компоненты, не говоря уже об органической составляющей и микростроении илов. Будущие инженерно-геологические изыскания для размещения подводных добычных комплексах (ПДК) потребуют совершенно других комплексных исследований, охватывающих все сферы взаимодействия инженерного сооружения с окружающей средой. Существующие методы исследования природной среды существенно расширятся и без специалистов по взвеси и гидродинамике придонных течений инженерные изыскания будут не полными.

Кроме этого нынешний уровень знаний о процессах, происходящих в придонном слое грунта достаточно мал, и описывается с точки зрения грунтоведения в лучшем случае в терминах окислительно-восстановительной обстановки в рамках общей теории литогенеза. Между тем ил – локально-фациальное природное тело, состав, строение и физико-химические свойства которого различны в различных районах шельфа.

Поэтому детальные исследования этих вопросов в месте установки ПДК абсолютно необходимый компонент инженерно-геологических изысканий. При большой мощности текучих грунтов, по всей видимости, остро встанет вопрос устойчивости ПДК на морском дне и прежде всего вопросы деформации грунтового основания. Подчеркнём, пока технически не решен принцип взаимодействия ПДК с основанием, но понятно, что для устойчивости в ситуации десятков метров непрерывной секвенции системы «взвесь-осадок-грунт» для тяжёлой платформы (тысячи тонн) потребуются как нетривиальное конструкторское решение, так и уникальный расчет устойчивости. В настоящее время имеются только эскизные проработки будущих ПДК с определённым набором как традиционных (сваи, плита), так и нетрадиционных (донные якоря) способов установки на морском дне.

Совершенно очевидно, что потребуется детальное осмысление вопросов поведение «идеального грунта» под нагрузкой в условиях больших глубин, распределения и поведения взвеси при осаждении в различных гидродинамических обстановках, гипотетическую возможность стабилизации верхней органо-минеральной толщи разреза. На сегодняшнем уровне развития технологий это выглядит фантастически, но, если будет экономическая целесообразность и технологическая возможность это непременно произойдёт. Пока совершенно непонятно каким физико-химическим методом (возможно поэтапно и комплексно) и по какой из четырёх компонент грунта целесообразно проводить закрепление (как версия – органической) – это дело детальных лабораторных и, в случае успеха, последующих длительных полевых натурных экспериментов. Но то, что это реальная перспектива на горизонте планирования ближайшего десятилетия – вне всякого сомнения.

Таким образом, основные вопросы, которые будут рассматриваться при проведении инженерных изысканий под постановку ПДК на морское дно в условиях глубоководного шельфа:

- Взвесь; вертикальные границы, состав (твёрдая и органические части), объем, скорость осаждения и физические свойства (липкость) влияющие на функционирование ПДК во время жизненного цикла.
- Скорость, направленность придонных течений, влияющих на безопасность (размыв, занос) самого ПДК.
- Состав строение, физико-химические свойств и геохимические показатели верхнего слоя донных грунтов.
- Состав строение, физико-механические свойств водонасыщенных глинистых и орано-минеральных грунтов по всему инженерно-геологическому разрезу зоны взаимодействия сооружения и массива грунта.
- Состав, строение и свойства органического вещества донных грунтов; его влияние на другие физико-механические характеристики.
- Современные геологические процессы и явления: перенос и осаждение вещества, оползни, сейсмичность территории и др.

Автор не касаемся других проблем, которые будут возникать при последовательном вовлечении морских месторождений в постоянную эксплуатацию, например, в самостоятельное направление выделяются экологические исследования верхнего десятисантиметрового слоя донных осадков.

На современном этапе освоения шельфа вопросы комплексного изучения состава, строения и свойств донных грунтов не входят в сферу непосредственных инженерных изысканий. Данными проблемами занимаются специалисты по морской геологии и седиментологии, причем каждые в узконаправленной сфере своих профессиональных интересов. Но то, что все вышеперечисленные направления в конечном итоге должны быть интегрированы в фундаментальное морское грунтоведение, кажется совершенно оправданным, ибо только оно в конечном итоге может комплексно оценить все фазы и компоненты грунта и ответственно рассчитать поведение донных грунтов во время строительства и последующей эксплуатации ПДК.

Задачи, вырисовывающиеся при освоении арктического шельфа, следует воспринимать как определенный вызов отечественной науке и технике. Смеем надеяться, что не только крупнейшие профильные корпорации – хозяйствующие субъекты, непосредственно вовлеченные в технологические цепочки, озаботятся этими проблемами, но и государственные структуры обратят на них самое серьёзное и пристальное внимание. Без решения этих вопросов, стратегическое развитие Арктики, как приоритетной территории нашей страны, включающее в себя освоение морских нефтегазовых месторождений, перезапуск северного морского пути, строительство опорных пунктов российского присутствия становится проблематичным, если не невозможным.

Усенков С.М.

Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Институт наук о Земле,
г. Санкт-Петербург, usenkov.swyatoslaw@yandex.ru

ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ МОРСКИХ БЕРЕГОВ К АВАРИЙНЫМ РАЗЛИВАМ НЕФТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ

Тема безопасности при разведке, добыче и транспортировке углеводородов выходит на первый план в связи с резко возросшими экологическими рисками. Особенно это актуально для арктических морей Российской Федерации. Количество связанных с нефтегазовой отраслью проектов, здесь велико и продолжает расти.

Природоохранная информация о районе, который находится под угрозой загрязнения, может быть получена только при наличии карт экологической уязвимости, на основании которых определяются участки берега, требующие приоритетной защиты от загрязнения разлитыми нефтепродуктами. Такие карты разрабатываются как обязательное приложение № 1 к Плану ликвидации разливов нефти (ПЛРН).

До недавнего времени в РФ отсутствовала общепринятая методика построения таких карт. Инициатором создания и согласования с экспертным сообществом и заинтересованными ведомствами Методических подходов по оценке уязвимости различных объектов морской среды к загрязнению нефтью и разработки на их основе карт экологической уязвимости в 2008 году выступил Всемирный фонд дикой природы (WWF). Итогом работы явилась публикация книги «Методические подходы к созданию карт экологически уязвимых зон и районов приоритетной защиты акваторий и берегов Российской Федерации от разливов нефти и нефтепродуктов» [1]. В основу опубликованного подхода положена методология создания интегральных карт уязвимости морских акваторий к разным видам антропогенного воздействия, длительное время разрабатывавшаяся специалистами экологического агентства «ЭКОПРОЕКТ».

Методика в полной мере соответствует подходу к построению карт экологической уязвимости, разработанному Международной ассоциацией представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды (IPIECA). Последняя разработка IPIECA одобрена Международной морской организацией (ММО/IMO; куда входит и Россия) и опубликовано как совместное издание двух этих организаций [4].

В соответствии со стандартом, все карты уязвимости должны строиться на основе топографических карт соответствующего масштаба. Предпочтение необходимо отдавать созданию *электронных* карт, что позволяет включать больший объем информации и обеспечивать удобство их использования.

Картографирование рекомендуется выполнять для трех категорий объектов по уязвимости и одной категории по реагированию:

- Тип побережья и его общая уязвимость к нефтяному разливу (карты уязвимости берегов составляются отдельно).
- Уязвимые биотические компоненты/важные экосистемные компоненты (ВЭК).
- Уязвимые социально-экономические объекты.
- Объекты логистического и операционного реагирования на нефтяной разлив.

Данное сообщение посвящено составлению карт уязвимости берегов.

Факторы, определяющие поведение нефти при разливах. Литературные данные свидетельствуют, что сразу после разлива нефти в море начинаются процессы переноса ее на поверхности и в толще воды (растекание, дрейф, седиментация, затопление); а также процессы выветривания (испарение, растворение, диспергирование, эмульгирование и т. д.). Все они приводят к частичному самоочищению моря и морских берегов от нефти. Исключение составляет эмульгирование, в процессе которого нефть становится более стойкой и объем ее увеличивается. Интенсивность каждого из процессов зависит от изначальных физико-химических свойств самой нефти, преобладающих климатических и гидродинамических условий. Важное значение имеют объемы поступающих в море нефти и нефтепродуктов, тот факт, остается ли нефть в море или выносится на берег. Если нефтяное пятно не достигает побережья, то биологические эффекты сведутся к локальным, быстро восстанавливаемым нарушениям на поверхности моря и в пелагиали. При попадании нефти на берег, последствия могут быть весьма существенными.

При выбросе нефтяного слика на побережье основные проявления загрязнения среды возникают лишь в верхней части береговой зоны, но именно здесь, в зоне контакта трех сред – атмосферы, гидросферы и литосферы – отмечается максимальное сосредоточения и разнообразие жизни. Ущербу здесь могут подвергнуться практически все основные компоненты не только морских, но и прибрежных экосистем.

При соприкосновении нефтяного пятна с берегом, последствия носят тяжелый и затяжной характер, а их вариабельность выше, чем при разливах в открытом море. Поэтому уязвимости морских берегов уделяется особое внимание; для них составляются специальные тематические карты.

Подход к созданию карт. Карты уязвимости берегов к нефтяному загрязнению с использованием индекса экологической чувствительности ESI (Environmental Sensitivity Index). Индекс экологической чувствительности – это базовая интегральная оценка восприимчивости побережья к нефтяному загрязнению. В основе ранжирования лежит качественная и количественная характеристика побережья, отражающая связь между строением берега, литологическим составом осадков пляжа и физическими процессами, происходящими при попадании нефти на берег [3]. Данная система индексов позволяет разбить типы берегов по категориям на шкале от 1 до 10.

Суть базовых принципов заключается в том, что уязвимость возрастает по мере увеличения:

- защищенности берега от воздействия волн;
- проникновения нефти в подстилающий слой отложений;
- времени естественного удержания нефти на берегу и
- биологической продуктивности береговых организмов.

Для прогнозирования поведения нефти на берегу необходимо знание целого комплекса особенностей береговой зоны, среди которых главными являются:

- литодинамический режим;
- экспозиция берега по отношению к равнодействующей гидродинамического воздействия;
- морфометрическая характеристика профиля береговой зоны и пляжа;
- степень изрезанности береговой линии, т. е. наличие естественных геоморфологических «ловушек» нефти;
- литологические характеристики прибрежных отложений.

Методы, которыми ведется исследование берегов и акватории, разнообразны. Оптимальным способом получения данных признана комбинация следующих методов.

- мозаики космических снимков информационной базы геопорталов (Google Earth, Yandex, Космоснимки и др.), а также снимки среднего (n×100 м) и высокого (n×10 м, разрешения, имеющиеся в свободном доступе;
- картографические, литературные и фондовые данные;
- материалы полевых геолого-геоморфологических исследований на морских берегах;
- данные специализированных аэрофото- и видеосъемок морских берегов, проведенных в безледный период года;
- база данных международных проектов по динамике берегов Арктики.

Подбор и анализ спутниковой информации осуществляется главным образом на основе информационной базы Геопорталов (Google Earth, Yandex и другие). Они обеспечивают пользователей космической информацией с разрешением 0,6–30 м, обновляемой не реже, чем через 2–3 года.

Для сбора спутниковой информации использовалась навигационная программа SAS.Планета (SAS.Planet).

Анализ спутниковых снимков и картографических материалов позволяет:

- Оценить объем предстоящих работ.
- Оптимизировать маршруты авиасъемки.
- Выявить общие особенности геоморфологического строения и построить предварительный макет карты морфодинамических типов берегов.

Авиационные исследования береговой зоны проводятся с целью авиасъёмки прибрежных территорий для идентификации экологически уязвимых зон. Основными задачами являются:

- получение данных о геоморфологии участков береговой линии и о характере распределения береговой растительности;
- получение данных о плотности популяций массовых видов морских птиц и морских млекопитающих в прибрежной акватории;
- получение инфракрасных изображений зоны обследования.

Геоморфологические (морфодинамические) исследования берегов проводились с позиции выявления районов приоритетной защиты экологически уязвимых зон. В ходе полевых работ, берега обследовали посредством их посещения группой специалистов с судна на моторной шлюпке.

В результате анализа информации, полученной в ходе авиа и береговых исследований, а также опубликованных данных, составляются карты морфодинамических типов берегов морей.

Заключение

На основе изложенного подхода в докладе приводятся результаты ранжирования участков береговой линии Карского моря по степени уязвимости к нефтяному загрязнению и построена карта уязвимости берегов [2]. Все выделенные типы берегов по уязвимости к разливам нефти можно свести в следующие основные группы:

слабо уязвимые (индекс ESI 1-2) – к данному типу относятся абразионные (выработанные в коренных породах), устойчивые к воздействию, а также термоабразионные и абразионно-солифлюкционные берега. Берега обладают способностью к самоочищению за счёт активного действия прибойного потока. Очистки береговой линии не требуется;

умеренно уязвимые (ESI 3-4) – берегам этого типа соответствуют аккумулятивные и абразионно-аккумулятивные берега (в том числе и термоденудационные) с пляжами, сложенными мелкозернистыми хорошо сортированными плотными песками и открытые приливно-отливные отмели и ветровые осушки (лайды), сложенные литифицированными рыхлыми отложениями. Нефть проникает медленно и на небольшую глубину, что облегчает механическую уборку;

уязвимые (ESI 5-6) – аккумулятивные термоденудационные берега с гравийно-песчаным пляжем и дельтовые аккумулятивные берега. Основная часть нефти не проникает внутрь уплотненных отложений, формирующих дельту. При благоприятных погодных условиях нефтяное загрязнение на поверхности осадков исчезает в течение нескольких месяцев;

высоко уязвимые (ESI 6-9) – аккумулятивные берега с гравийно-галечным пляжем, открытые лагунные аккумулятивные берега и защищенные от волнения приливно-отливные отмели и ветровые осушки. Гравийно-галечные пляжи характеризуются высокопроницаемым субстратом, с проникновением нефти на глубину до 100 см. Нефть может оставаться на месте годами. Защищенные от волнения отмели и осушки являются зонами высокой «биологической

активности», что проявляется в сочетание высокой продуктивности и биотурбации. Угроза биологическому сообществу может быть существенной, прежде всего, для инфауны, что в свою очередь может привести к деградации кормовой базы для других животных. Очистка рекомендуется при очень высокой концентрации нефти.

Список литературы

1. Методические подходы к созданию карт экологически уязвимых зон и районов приоритетной защиты акваторий и берегов Российской федерации от разливов нефти и нефтепродуктов. Мурманск: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2012. 53 с.
2. Усенков С. М. Берега Карского моря: оценка уязвимости к аварийным разливам нефти // Береговая зона - взгляд в будущее. Материалы XXV Международной береговой конференции. М.: ГЕОС, 2014. Том 2. 2014. С. 106–108.
3. Gundlach E.R., Hayes M.O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. Marine Technology Society Journal No. 2(4), 1978. P. 18–27.
4. IMO-IPIECA. Sensitivity mapping for oil spill response. 2012. Vol. 1. Revised edition. London. 36 p.

Рыбалко А.Е.[1,2], Щербаков В.А.[3], Келль Д.[3], Локтев А.С.[1,4]

[1]ООО «ЦКМИ СПбГУ», г. Санкт-Петербург
[2]Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ),
Институт наук о Земле, г. Санкт-Петербург
[3]ФГБУ «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», г. Санкт-Петербург
[4]ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва, alek-rybalko@yandex.ru

ВЫПОЛНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Начиная с 2012 года, в состав «Мониторинга геологической среды шельфа» (МГСШ) было включено составление карты инженерно-геологического районирования шельфа, а также проведение инженерно-изыскательских работ для составления подобных карт. Цели и задач этого блока исследований были определены Агентством Роснедра, как подготовка материалов для принятия им управленческих решений. Эти работы впервые были проведены для прибрежно-шельфовой зоны Японского моря в 2012–2014 гг. в заливе Петра Великого сотрудниками Лаборатории мониторинга недр ФГБУ «ВНИИокеангеология им. И.С. Грамберга». Основная цель работ заключалась в оценке состояния и прогноза развития опасных геологических процессов (ОГП), возникающих под действием природных и техногенных факторов на примере вышеуказанного залива. Следующий этап МГСШ уже был направлен на изучение физико-геологических свойств донных отложений, характеристике опасных геологических процессов (ОГП), а также описанию береговой зоны в местах разрушения.

Инженерно-геологические изыскания (ИГИ) в заливе Петра Великого имеют давнюю историю. Еще в 70-х годах XX века первые ИГИ были выполнены в отдельных участках побережья в связи с проблемой поиска россыпей и в бухте Золотой Рог для обоснования строительства портовых сооружений (В.И. Рынков др.). Впоследствии они проводились перед строительством мостовых переходов в Золотом Роге и на остров Русский, под обоснование строительства завода сжиженного газа на полуострове Ломоносова и пр. В последнем случае, впервые кроме бурения скважин на шельфе и определения в кернах физико-механических свойств донных отложений был использован комплекс геофизических методов, включавший многоканальное сейсмоакустическое профилирование, локацию бокового обзора и площадную съемку рельефа морского дна с помощью многолучевого эхолотирования (МАГЭ, ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова»). Кроме чисто морских исследований был также проведен комплекс наблюдений в береговой зоне, включающий и изучение литодинамических процессов на подводном береговом склоне с использованием прямых наблюдений легководолазами.

В 2016 году ФГБУ «ВНИИокеангеология им. И.С. Грамберга» провела расширенные работы по изучению донных отложений в Амурском и

Уссурийском заливах с предварительным сейсмоакустическим профилированием, по результатам которого были выбраны точки для отбора проб донных грунтов. В этих работах принимали участие и сотрудники нового Центра комплексных морских исследований при Санкт-Петербургском государственном университете. По результатам колонкового пробоотбора было проведено первичное расчленение толщи голоценовых осадков в Амурском и Уссурийском заливах. Сводные разрезы показали, что преимущественно в состав опробованных отложений входили образования так называемой илистой толщи, которая была выделена А.А. Рязанцевым в 1985 году и приведены на рис. 1 (снизу вверх):

– глины песчанистые со скоплениями тонкого песка и наличием глинистых мелких катунов, серого цвета с оливковым оттенком, текучепластичные. Отмечаются ксеноморфные скопления дисперсного органического материала, а также четкие выделения гидротроилита. Часто присутствует примесь тонкопсаммитового материала, вероятно, представленная тонкоперетертым раковинным детритом (mnH_1);

– ракушняковый горизонт. Пески алевроглинистые темносеро-оливковые. Текстура неоднородная, обусловлена гнездообразным распределением раковин морских моллюсков и их детрита. Карбонатность осадка составляет 10 и более процентов. Консистенция близка к текуче-пластичной. Верхний и нижний контакты выделяются по резкому уменьшению примеси раковин и их детрита (mnH_2);

– глинистые и алевритовые миктиты (алевро-глинистые илы) текучей консистенции, темносерые до черных с едва заметным оливковым оттенком. С поверхности тонкий (до 1 см) слой глинистого наилка серого цвета с буроватыми тонами, иногда отмечаются отдельные раковины морских моллюсков и их детрит (mnH_3).

Выявленный трехчленный разрез отражает трансгрессивно-регрессивный режим Японского моря в голоцене, а ракушняковый горизонт, скорее всего, связан с этапом трансгрессии в климатический оптимум, когда возникли условия, благоприятные для развития морской фауны.

Задачей собственно инженерно-геологических изысканий в рамках МГСШ в 2016 году являлись:

1. актуализация карты инженерно-геологического районирования масштаба 1:200 000;
2. выявление и оконтуривание зон проявления опасных геологических процессов: оползней, выхода на поверхность газофлюидов и пр.;
3. получение характеристики физико-механических свойств грунтов, в том числе в зонах проявления опасных геологических процессов;
4. мониторинг в ключевых участках (7 участков) состояния береговой зоны, в том числе литодинамических процессов в прибрежной зоне с использованием эхолотирования и литологических методов.

Акустическое профилирование в обоих заливах помогло точно оконтурить пространственные границы распространения неустойчивых текучих глинистых и субглинистых отложений, выявить подводные выбросы газофлюидов на поверхность морского дна, локализовать зоны проявления гравитационных процессов, в виде оползней и оплываний донных отложений.

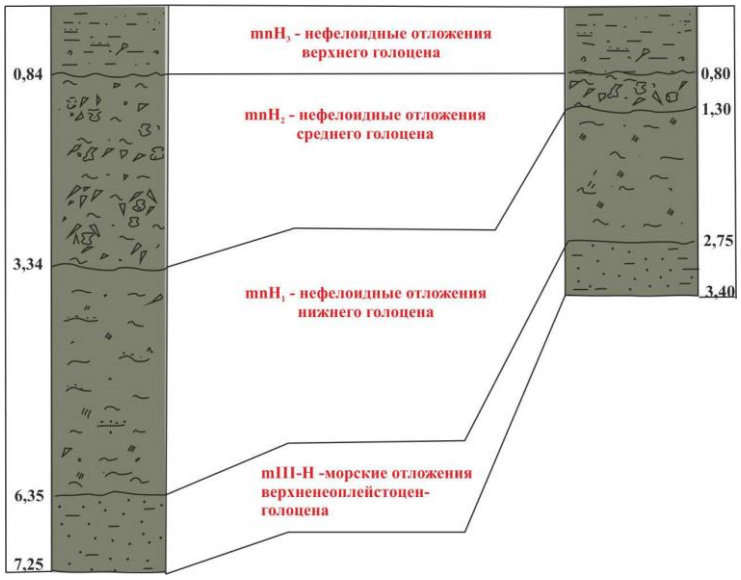


Рис. 1. Сопоставление сводных литостратиграфических разрезов голоценовых осадков в Амурском (слева) и Уссурийском (справа) заливах по данным колонкового пробоотбора 2016 года. Возраст указан в соответствии с данными А.А. Рязанцева (ПримГУ)

Изучение физико-механических свойств донных образований являлось одной из главных задач инженерно-геологических изысканий. Анализы частично выполнялись анализы как на борту судна, так и в стационарной лаборатории в Санкт-Петербурге. Непосредственно в процессе геологического пробоотбора определялись плотность (ρ), природная влажность грунтов (W), сопротивление сдвигу в приборе ПВС-2МЭ и удельное сопротивление с помощью микропенетрометра CONTROLS. Получение указанных характеристик непосредственно в полевых условиях с одной стороны показало, что все указанные грунты, в целом, можно отнести к классу неустойчивых, однако, по своим характеристикам они позволяют провести некоторое районирование, которое позволяет в будущем более правильно планировать расположение проектируемых инженерных сооружений. Конкретные физико-механические характеристики донных отложений приведены ниже.

В Уссурийском заливе верхний слой голоценовых осадков имеет средние показатели: плотность грунта ρ - 1,54 г/см^3; природная влажность W – 90%; сопротивление сдвигу – 4,2 кПа. Средний слой (ракушечный горизонт) характеризуется значительным диапазоном показателей физических свойств. Средние показатели плотности грунта и сопротивления сдвигу увеличиваются до соответственно 1,59 г/см^3 и 6,2 кПа, в то время как влажность (80%) отложений падает. Стоит отметить также повышенную плотность частиц

грунта данных отложений, в среднем составившую 2,73 г/см^3. Нижний горизонт, представленный легкими текучими глинами, по своим показателям близок к отложениям верхнего голоцена: плотность грунта ρ – 1,52 г/см^3; природная влажность W – 99%; сопротивление сдвигу – 4,8 кПа.

Данные определения физико-механических свойств голоценовых отложений в Амурском заливе близки к описанным в Уссурийском заливе. Верхний и нижний слои обладают пониженными плотностью грунта и сопротивлением вращательному срезу и повышенной влажностью. Осадки ракушечного горизонта, наоборот, характеризуются относительно высокой плотностью грунта и прочностью при низкой влажности, а также очень широким разбросом измеренных величин из-за неоднородности грунта.

Опасные геологические процессы, изучение которых является одной из главных задач МГСШ, отражают, в основном, развитие неблагоприятных природных явлений, но могут быть обусловлены (активизированы) и антропогенными причинами. К ним относятся молодые геодинамические движения, гравитационные явления, газопроявления. Наибольшую опасность они представляют в береговой зоне, где отмечается наибольшая концентрация объектов инженерной инфраструктуры, но могут проявляться и в самой акватории.

Одним из видов ОГП в заливе Петра Великого являются гравитационные процессы, которые преимущественно развиты вдоль западного берега Амурского залива, сложенного палеогеновыми отложениями. Вдоль этого побережья проходит разлом, с которым связаны выявленные очаги современных землетрясений, и прогнозируются возможные сейсмологические толчки силой до 6 баллов шкалы Рихтера (А.В. Олейников, Н.А. Олейников). Пространственное совпадение зон активной современной эндогенной геодинамики и развития гравитационных процессов создает очень опасный тренд комплексного проявления геологических опасностей. Именно по этой причине были даны рекомендации проектировщикам завода сжиженных газов сместить положение проектируемых причальных сооружений.

Еще одной из опасностей является газопроявления, связанные с инфильтрацией газов различного происхождения из толщи донных отложений. Он определяется либо по рисунку фонтанов газа, либо по нарушениям сплошности грунтов. Проникновение газа в верхние толщи происходит из нижней части разреза, за счет источников, находящихся глубже зоны распространения и отражения сейсмических сигналов. В разрезе скопления газов часто фиксируются в виде так называемых «ярких пятен», а также изменения амплитуды сигнала. Для изучения газов было отобрано 16 грунтовых и 62 пробы придонной воды. Определялись (метод head space) метан и его гомологи (С2-С5), непредельные УВ: этилен, пропилен, бутен, бутилен; неорганические газы - азот, кислород, углекислый газ, водород, гелий, сероводород. В результате было установлено, что на общем фоне преобладания техногенной и биогенной природы углеводородных газов, выделилось

несколько станций, где по газогеохимическим критериям можно предполагать присутствие миграционной компоненты. Это, в свою очередь, может свидетельствовать о подтоке газов по сети активизированных разломов, т.е. подтверждать современную сейсмоактивность территории.

Основной объем инженерно-геологических изысканий был сосредоточен в береговой зоне на семи участках, характеризующихся различным характером литодинамических процессов. На каждом из участков проводилась серия маршрутных исследований в береговой зоне, а также эхолотное профилирование в прибрежной зоне для мониторинга изменения донного рельефа. В итоге было установлено, что имеет место две группы процессов: один из них связан с разрушением коренных берегов. Второй вид процессов – преимущественно техногенный, обусловленный строительством инфраструктуры: новых гаваней, мостов и пр.

Полученный опыт инженерных изысканий в комплексе МГСШ показывает с одной стороны перспективность этого направления для целей общего инженерно-геологического районирования прибрежно-шельфовой зоны РФ для более тщательного планирования освоения морского дна, с другой стороны, недостатки этого вида работ в отрыве от конкретного объекта строительства. Наибольшую долю, хотя и предварительного характера, имеют геофизические методы, которые охватывают большие подводные территории и после проведения обработки и интерпретации позволяют достаточно достоверно локализовать зоны проявления ОГИ, выявлять и измерять антропогенные предметы на морском дне, предварительно оценивать возможные колебания физико-механических свойств. При этом возможно следует рассмотреть отдельный инженерно-геофизический комплекс исследований на шельфе, введя его в соответствующие нормативные технические документы. Именно этот вид исследований должен стать основным как в комплексе мониторинга, так и собственно инженерно-геологических изысканий в целом. При этом прямые геологические методы должны всегда проводиться при планировании объектов на морском дне для их безопасного строительства.

Клещин С.М., Демонов А.П.

ООО «Сабси Сервей Солюшенс», г. Москва, kleshchin.sergey@subseasurveys.ru

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Введение

В последние десятилетия наблюдается достаточно активное изучение и строительство инженерных сооружений в глубоководных районах. Конечно, существенное снижение стоимости нефти (и газа) в последние годы «ударило» в первую очередь по глубоководным проектам, где стоимость их добычи и транспортировки выше. Однако, глубоководные проекты продолжают развиваться и в текущей обстановке. Вот лишь несколько примеров: бурение глубоководных скважин Черном море (судно Globetrotter II), изучение глубоководных участков в восточной части Средиземного моря (в том числе, активное обустройство крупного газового месторождения Zohr), строительство газопровода Турецкий поток (Черное море) и планируемое строительство газопровода ТАР (Адриатическое море) и др. проекты.

Перед любым строительством или бурением на море проводится комплекс инженерно-геофизических работ (в составе инженерно-геологических изысканий). Как правило, используется стандартный набор методик исследований: многолучевое эхолотирование (МЛЭ), гидролокация бокового обзора (ГЛБО), непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП).

Требования, предъявляемые к инженерно-геофизическим работам (высокая вертикальная и горизонтальная разрешающие способности, точность определения местоположения), накладывают ограничения на методики исследований. В частности, использование поверхностных систем (буксируемых на штанге, вмонтированные в корпус судна или буксируемые вблизи поверхности моря) допускается только на начальных стадиях, для общей оценки условий района работ и выбора площадки для производства детальных работ. Для детальных работ требуется «приблизить» аппаратуру к изучаемому объекту (морское дно и поддонные отложения). Для этого используются разные подходы: производство работ с буксируемым глубоководным комплексом (применяется редко), телеуправляемым подводным аппаратом (ТНПА, ROV) или автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА, AUV). Последний вариант, наиболее хорошо подходит для детальных работ в глубоководных районах в виду сложностей, возникающих при реализации первых двух подходов [1].

Методика работ

В 2017 году в глубоководной части Черного моря проводились инженерно-геофизические исследования с целью определения инженерно-геологических условий района, а также опасных и неблагоприятных процессов и явлений, влияющих на прокладку и обслуживание трубопровода. Работы выполнялись с использованием автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) HUGIN 1000 (производитель Kongsberg, Норвегия).

Схема работ с использованием АНПА приведена на рис. 1. Для позиционирования аппарата использовалась ультракоротко базисная система подводной навигации (USBL) HiPAP 500 и встроенная в АНПА инерциальная система. Точность позиционирования, оцененная по сходимости объектов ГЛБО составила 6-8 метров при глубине моря около 2000 метров. За один проход регистрировались данные МЛЭ, ГЛБО, НСП и CTD (температура, соленость, давление). Параметры сбора варьировались в зависимости от требуемой детальности съемки и, соответственно, меж-профильного расстояния. Схема АНПА приведена на рис. 2.

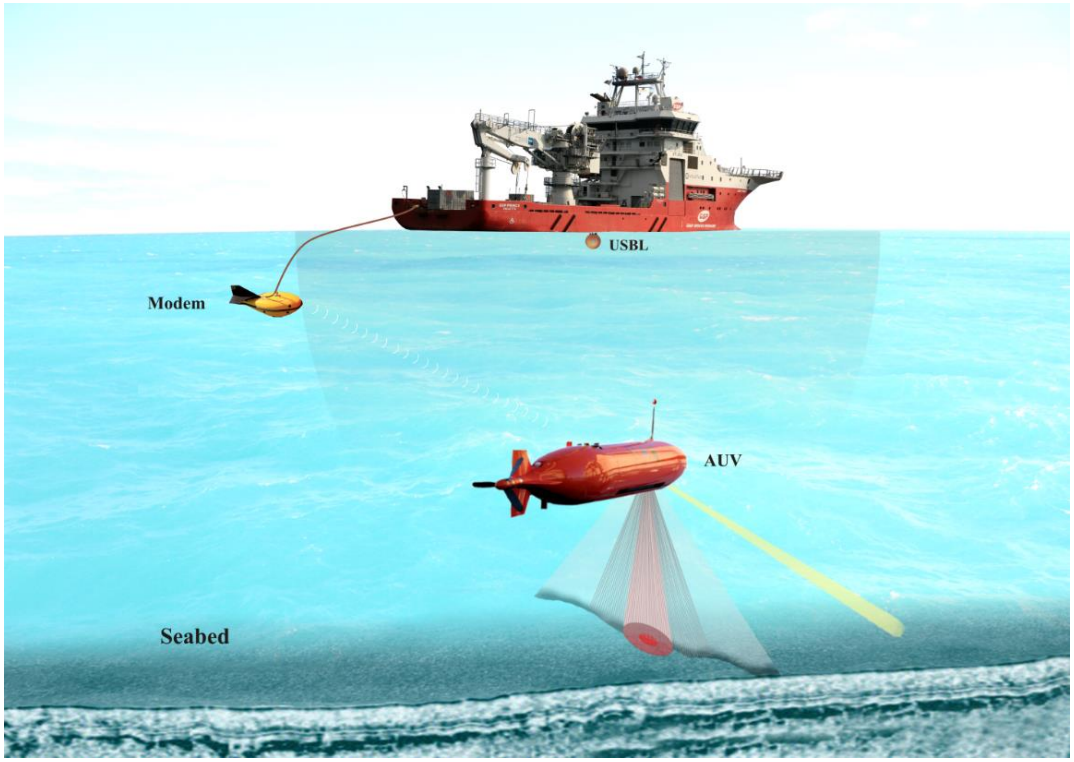


Рис. 1. Схема работ с АНПА

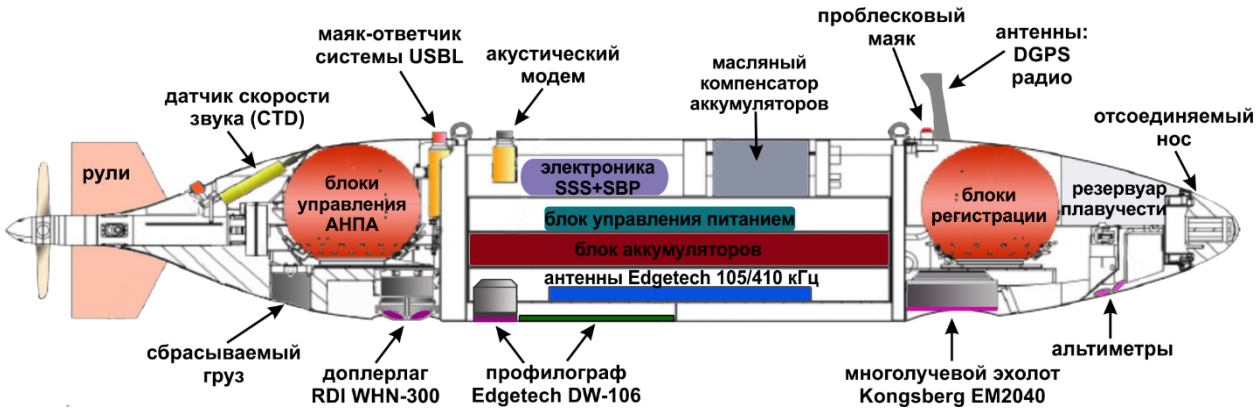


Рис. 2. Внутренняя схема АНПА HUGIN 1000

Алгоритм работы АНПА следующий:

• Аппарат программируется и спускается в воду. Спустя некоторое время после спуска АНПА включает двигатели и начинается погружение.

• Около дна (на заданной альтитуде) аппарат выравнивается и с использованием данных гирокомпаса, доплеровского лага, гидроакустической системы позиционирования (USBL) выходит на начало запрограммированного маршрута съемки.

• После необходимой коррекции координат, курса, глубины, скорости (по акустическому каналу), аппарат начинает движение по заданному маршруту. Скорость хода аппарата около 3,5 узлов. Отдельные кадры получаемой информации, по акустическому каналу поступают на судно для контроля хода инженерно-геологических изысканий.

• Периодически, по акустическому каналу, вводятся поправки в текущие координаты, и производится коррекция маршрута. Требуемая высота движения аппарата над дном поддерживается автоматически, на основе данных альтиметра.

• После отработки участка изысканий «рыба» поднимается на борт судна. Время работы определяется емкостью аккумуляторов, для HUGIN 1000 составляет около 24 часов. На борту производиться замена аккумуляторов. Снятые аккумуляторы устанавливаются на зарядку. Накопленная информация по высокоскоростному интерфейсу переноситься на средства хранения данных для последующей обработки.

• Цикл работ повторяется.

Результаты

В результате проведенных исследований за короткий срок было получено значительное количество геофизических данных (около 6 тыс. км).

Изучаемый район располагался в юго-западной части Черного моря и включал в себя шельф, континентальный склон и абиссальную равнину. Максимальная глубина моря до 2 150 метров. Размер ячейки цифровой модели

рельефа 2 и 5 метров (для разных участков). Максимальная глубина проникновения НСП составила около 120 метров при вертикальной разрешающей способности до 0,3 м. Было выделено более трех тысяч объектов на морском дне из которых около 60 предположительно являются крушениями (в основном лодки).

Комплексный подход к интерпретации данных позволил выявить и интерпретировать множество различных геологических процессов и явлений.

Наиболее распространены в изучаемом районе гравитационные (склоновые) процессы. Отдельные потоки распространяются и на абиссальную равнину. На рис. 3 представлены дистальные части недавних потоков (плотностных?), хорошо проявленных на данных НСП. Однако, на данных ГЛБО проявлен только один поток, что позволяет сделать вывод, что эти два потока произошли в разное время и поток между точками 1 и 2 уже покрыт небольшим слоем современных осадков. Мощность осадков в отложениях потоков до 0,5 метров.

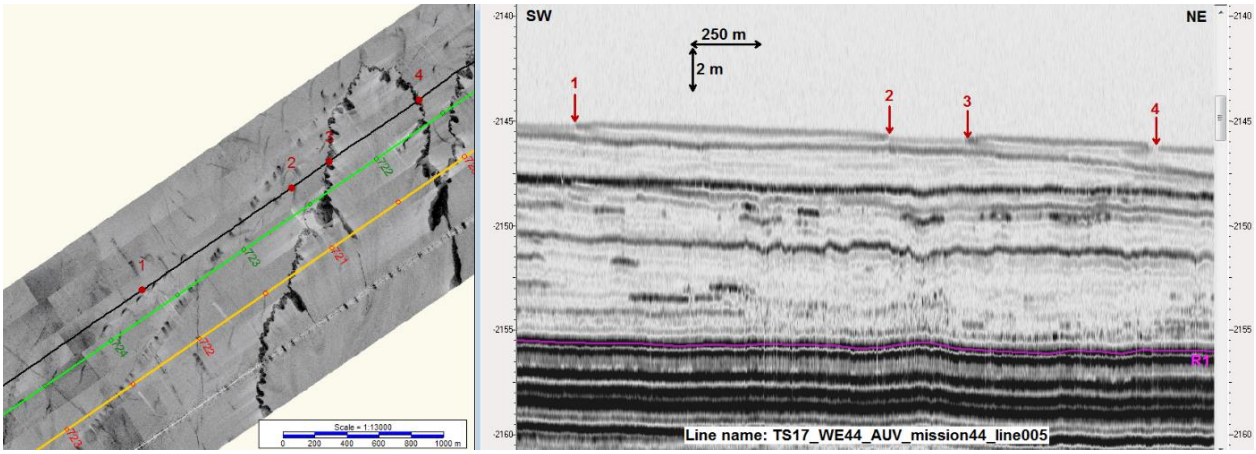


Рис. 3. Мозаичное изображение (слева) и разрез НСП через гравитационные потоки

На континентальном вблизи границы исследуемого района обнаружено несколько грязевых вулканов и локальных поднятий (газовых куполов?) недалеко от них. Пример «классического» грязевого вулкана представлен на рис. 4. У некоторых вулканов вместо конусовидной постройки наблюдается кальдера. В районе распространения грязевых вулканов в верхней части разреза широко развиты газонасыщенные отложения. По данным ГЛБО в описываемом районе наблюдаются многочисленные просачивания газа в водную толщу.

В описываемом районе в рельефе обнаружены локальные депрессии округлой и овальной формы (рис. 5). Отдельные депрессии до 500 метров в плане и глубиной до 10 метров, но часто их размеры не превышают 100 метров и глубиной около одного метра. Внутри самых крупных депрессий наблюдаются более мелкие. На склонах депрессий наблюдаются многочисленные мелкие разломы, проявляющиеся в рельефе.

Предположительно описываемые депрессии связаны с проседанием осадков в результате выхода флюидов.

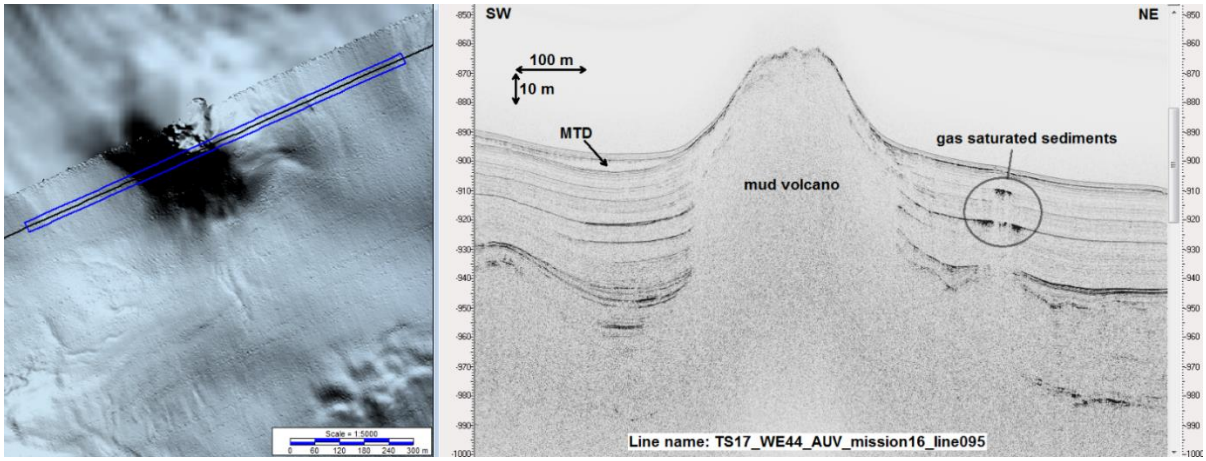


Рис. 4. Пример «классического» грязевого вулкана вблизи границы исследуемого участка

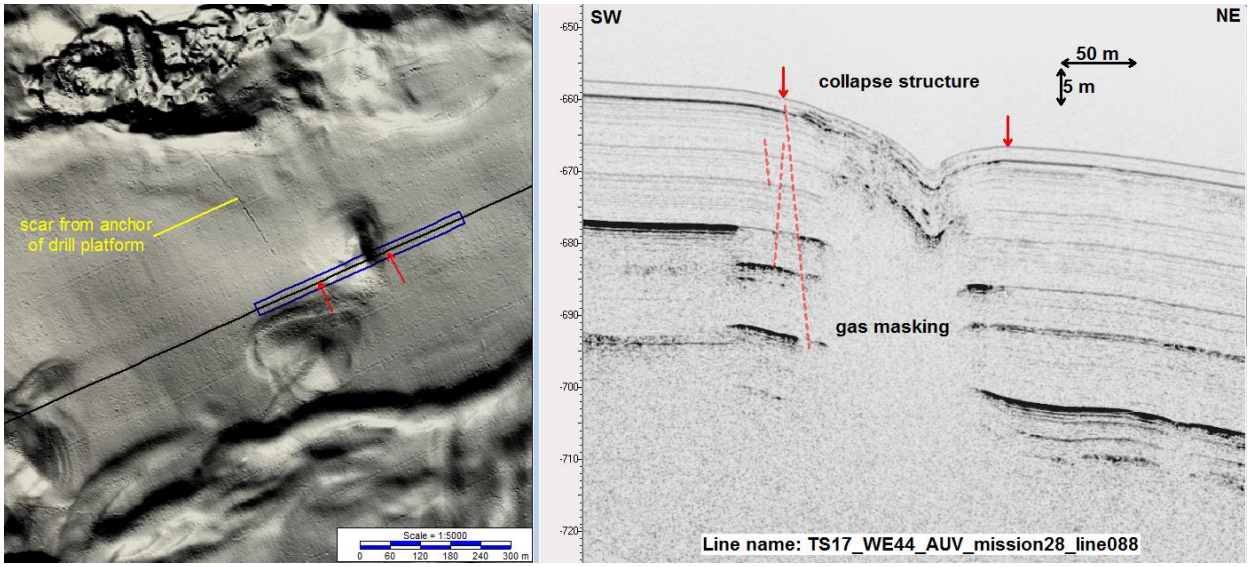


Рис. 5. Пример небольшой депрессии в рельефе. В верхней части ЦМР отчетливо проявлена кальдера грязевого вулкана

Помимо описанных выше опасных и неблагоприятных процессов и явлений на континентальном склоне в верхней части разреза также обнаружены: глубокие разрывные нарушения, проявляющиеся в рельефе, течение верхнего разжиженного слоя осадка с образованием небольших валиков, зарождение небольших осадочных волн, осадочный крип, эрозионные борозды и небольшие пологие каналы, следы просачивания и выходов флюидов.

Список литературы

1. IOGP report 373-18-2 October 2015.

Манжосов С.В., Бабкина А.Е., Сираев А.М.

ООО «Сабси Сервей Солюшенс», филиал в г. Санкт-Петербурге, Manzhosov.sergey@subseasurveys.ru

ИЗУЧЕНИЕ МОРСКИХ ГРУНТОВ ЗОНЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА И АБИССАЛЬНОЙ РАВНИНЫ МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Введение

Статическое зондирование является основным методом инженерно-геологических исследований in-situ донных морских грунтов [3]. Преимуществами данного вида исследований является быстрота выполнения работ при не высокой стоимости, а также применимость данных для получения физико-механических характеристик грунтов и разнообразных геотехнических расчётов [2]. Первая попытка выполнения статического зондирования на море с помощью донной установки (речь не идет об исследованиях с платформы или в скважине) была предпринята компанией Fugro в 1966 году, установка собственного проекта компании называлась Seabull. Опыт, накопленный при разработке и внедрении данной установки, был использован в конструкции последующей модификации, получившей название Seacalf, впервые использованной в 1972 году [7-9]. Основной принцип работы большинства донных установок статического зондирования с тех пор остается неизменным, при этом постоянно растут требования к качеству данных, глубине пенетрации и максимальной рабочей глубине воды, что создаёт предпосылки к разработке точных и надежных измерительных приборов, тяжелых донных рам с мощным приводом и более совершенных и безопасных спускоподъемных систем. В данной статье приведён опыт компании «Сабси Сервей Солюшенс» при выполнении статического зондирования в зоне континентального склона и абиссальной равнины при глубине воды свыше 2 000м и проходке по грунту свыше 25 м.

Выполнение статического зондирования в глубоководных районах

Рассматриваемое исследование является первым опытом российских компаний применения статического зондирования в зоне глубин от 100 м до 2 150 м. Работы проводились в сентябре-октябре 2017 года в акватории Чёрного моря. Требованиями к выполнению инженерно-геологических изысканий было предусмотрено зондирование с проходкой 20 м по грунту в зоне шельфа, континентального склона и абиссальной равнины. Таким образом, требовалось провести пенетрацию различных морских фаций, существенно отличающихся по генезису, а значит и по физико-механическим характеристикам. В техническом плане это означает:

– оборудование должно быть способно обеспечить большие нагрузки (свыше 10 тс по суммарному усилию) для проходки плотных песков различных фракций, встречающихся в пределах зоны шельфа;

– оборудование должно сочетать в себе возможность функционирования при высоких давлениях, создаваемых столбом воды, без потери чувствительности датчиков. Это является ключевым моментом при работе в пределах абиссальной равнины, преимущественно сложенной слабыми грунтами (текучими илами) с типичным показателем сопротивления недренированному сдвигу 3-6 кПа (по лабораторной крыльчатке);

– необходимо строить колонну штанг достаточной высоты для проходки 20 м по грунту (технологически необходимо, чтобы высота колонны была на 3-5 метров больше глубины проходки), а также разработать систему вывода за борт и спуска оборудования на дно в данной конфигурации.

– качество данных, вне зависимости от глубины, должно соответствовать международным стандартам ASTM D 5778-07 [4], ISO/FDIS 22476-1:2006 [6], BS 5930:1990 [5], включая данные по поровому давлению.

Для решения поставленных задач специалистами компании «Сабси Сервей Солюшенс» был выполнен комплекс технических усовершенствований донной установки статического зондирования ROSON 75/100 kN производства A.P. v.d. Berg Machinefabreik B.V., с целью увеличения максимальной рабочей глубины до 2 300 м.

Указанные выше технические сложности были успешно преодолены, на каждой из более чем 50 точек была достигнута либо превышена требуемая глубина проходки. Полученные данные статического зондирования отлично коррелируют с материалами сейсмоакустического профилирования и результатами донного пробоотбора.

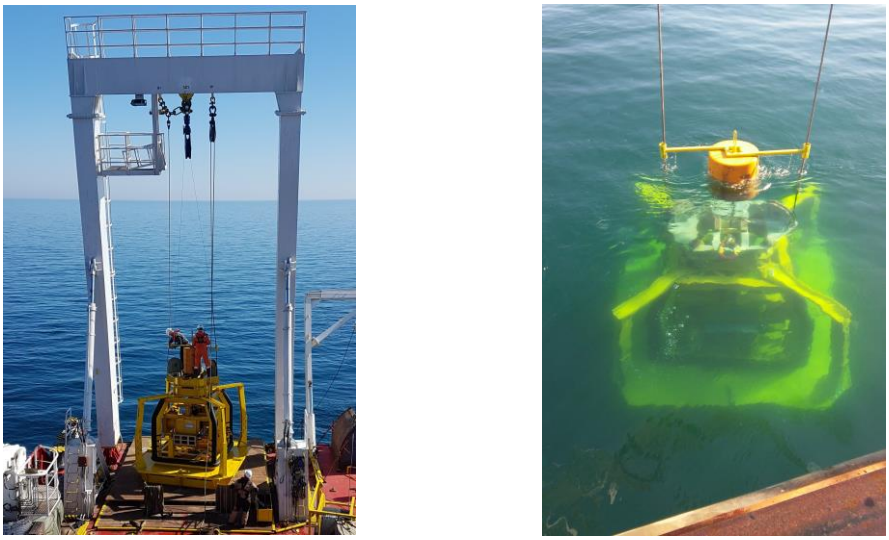


Рис. 1. Установка статического зондирования в конфигурации 15 тонн

Результаты исследований

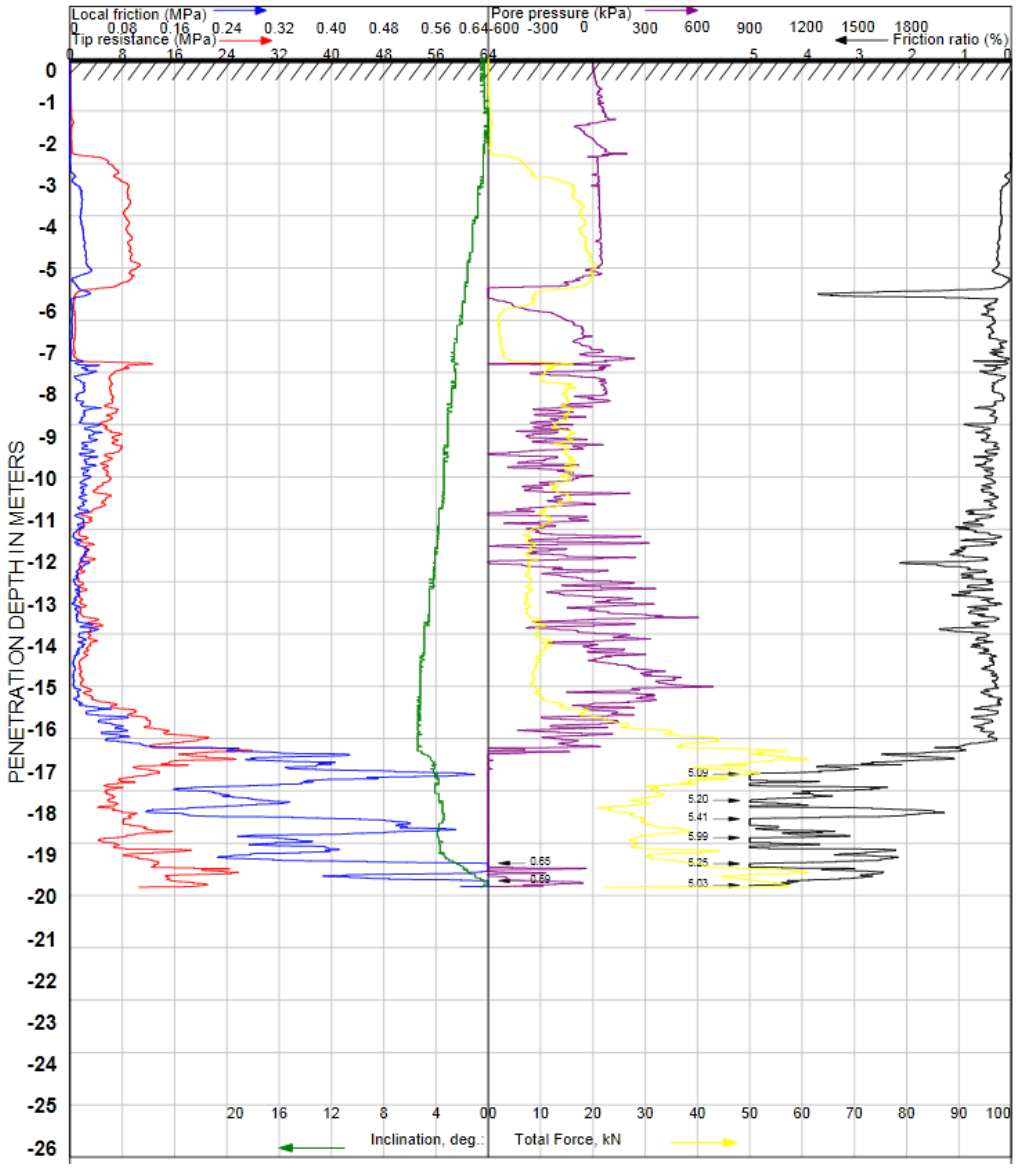


Рис. 2. Пример результатов статического зондирования

В результате анализа данных статического зондирования в разрезе были выявлены признаки опасных геологических процессов и явлений:

– газонасыщенные грунты (выявлены по аномально высокому поровому давлению и подтверждены пробоотбором);

– рыхлые водонасыщенные пески, склонные к динамическому разжижению;

– грунт на 80-90% сложенный раковинным детритом (характеризуются низким лобовым сопротивлением и низким боковым трением, также подтверждено пробоотбором);

– прослои однородного пылеватого песка в зоне абиссальной равнины – отложения турбидитных потоков;

– тела подводных оползней (были картированы с помощью съёмки рельефа дна с автономного подводного аппарата).

Для глубоководных отложений характерно нарушение структурных связей в грунте за счёт дегазации поровой жидкости при падении давления с двухсот и более атмосфер в месте залегания грунта до атмосферного давления, происходящего при подъёме грунта на поверхность. В связи с этим прочностные характеристики, даже определяемые в судовой лаборатории сразу после извлечения керна из грунтоноса, оказывались несколько заниженными относительно аналогичных характеристик, выведенных в результате интерпретации данных статического зондирования [1].

Выводы

Метод статического зондирования на акваториях принимает все большее распространение за счет высоких показателей производительности. Это подтверждается опытом выполненных работ, где в среднем выполнялось по 3-6 станций в сутки при глубине воды в диапазоне 800-2 200 м, что существенно превосходит темпы буровых работ, ввиду отсутствия необходимости строительства буровой колонны на всю глубину толщи воды и многократного спуска скважинного инструмента на каждый рейс проходки. Высокая сходимость результатов стратификации разреза по данным статического зондирования и пробоотбора является основным критерием для применения метода в изысканиях под линейные сооружения в пределах сходных геологических и геоморфологических условий, где буровые скважины или станции пробоотбора могут использоваться только в качестве опорных точек. В случае проведения исследований в зоне больших глубин прочностные свойства, установленные из результатов статического зондирования, являются более точными, чем определённые на образцах в лаборатории.

Список литературы

1. ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
2. Локтев А.С. Статическое зондирование как метод исследования грунтов на шельфе // Материалы международной конференции «Нефть и газ Арктического шельфа». 2004.
3. СП 11-114-2004 Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений.
4. ASTM D 5778-07 Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils. 2007.
5. BS 5930:1990 «Code of Practice for Site Investigations». 1990.
6. ISO/FDIS 22476-1:2006 Geotechnical Investigation and Testing. Field Testing. Part 1: Electrical Cone and Piezocone Penetration Tests. 2006.

7. Lunne T., Andersen K.H. Soft Clay Shear Strength Parameters for Deepwater Geotechnical Design // Proceedings of the 6th International Offshore Site Investigation and Geotechnics Conference. London, UK, 2007. P. 151–176.
8. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. 2001.
9. Lunne T. The CPT in Offshore Soil Investigations – a Historic Perspective. NGI, Oslo, Norway, 2011.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

Коновалов В.П.

ФАУ «Главгосэкспертиза России», г. Москва

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФАУ «ГЛАВГОСЭКСПЕРТИЗА РОССИ» И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Многие из присутствующих в зале коллег-изыскателей неоднократно контактировали с нашей организацией в рамках прохождения экспертизы полученных ими результатов инженерных изысканий. Однако, стоящая перед ними достаточно узкая и конкретная, а главное ограниченная определенным сроком задача – получить положительное заключение экспертизы – вряд ли давала им возможность и время более или менее подробно ознакомиться с деятельностью «Главгосэкспертизы России», с тем, как она работает и развивается, какие проблемы она испытывает. Попытаюсь вкратце осветить эти вопросы в своем докладе, однако хотел бы сразу заметить, что, поскольку по роду своей профессии являюсь государственным экспертом в области инженерно-геологических изысканий, в целом содержание моего выступления будет посвящено именно этому аспекту изыскательской отрасли.

Прежде всего, хотелось бы напомнить о задачах государственной экспертизы, которые достаточно чётко сформулированы в основополагающих документах строительной нормативной базы. Так, Градостроительный кодекс РФ (статья 49, п. 5) гласит:

«Предметом экспертизы являются оценка соответствия проектной документации требованиям технических регламентов, в том числе санитарно-эпидемиологическим, экологическим требованиям, требованиям государственной охраны объектов культурного наследия, требованиям пожарной, промышленной, ядерной, радиационной и иной безопасности, а также результатам инженерных изысканий, и оценка соответствия результатов инженерных изысканий требованиям технических регламентов».

Причём, государственной экспертизе подлежит вполне определённый спектр объектов, перечень которых сформулирован в Постановлении Правительства РФ № 145 от 5 марта 2007 года. Вряд ли стоит воспроизводить здесь весь этот список. Люди, систематически занимающиеся изысканиями, должны быть хорошо с ним знакомы.

Совершенно очевидно, что для качественного выполнения указанных задач, требуется наличие команды высоко квалифицированных профессионалов строительной отрасли, в совершенстве владеющих всем спектром знаний, необходимых современному специалисту и открытых для развития и инноваций. Такой командой мне представляется коллектив

ФАУ «Главгосэкспертиза России», на данный момент кроме головной организации включающий 12 региональных филиалов (Екатеринбургский, Казанский, Красноярский, Крымский, Ханты-Мансийский, Омский, Ростовский, Самарский, Санкт-Петербургский, Саратовский, Северо-Кавказский и Хабаровский) и состоящий из 1 354 работников.

Порядок деятельности экспертных организаций не представляет собой нечто замершее на века, а непрестанно совершенствуется и развивается. Среди новаций в этой области следовало бы упомянуть то новшество, которое многие из вас уже отметили: с 2016 года «Главгосэкспертиза России», а с 2017 года все государственные экспертные организации перешли к электронной форме передачи данных. В этих целях Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства утвердило требования к формату электронных документов, представляемых для проведения государственной экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий и проверки достоверности определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства, которые утверждены Приказом от 12 мая 2017 г. № 783/пр.

Кроме того, усовершенствована система интерактивного взаимодействия с заявителем (СИВЗ) и началась ее опытная эксплуатация. Окончательное внедрение этой системы позволит всем экспертам работать в формате сквозного процесса и даст дополнительные возможности заявителям — предоставлять документы, подписывать договоры и заключения, работать с замечаниями экспертов в личном кабинете.

Ещё одним значимым нововведением в нашей работе можно признать запуск с 1 января 2018 года Единого государственного реестра экспертных заключений, который будет представлять собой уникальную государственную информационную систему, позволяющую аккумулировать информацию по всем заключениям и проектам, проходящим экспертизу как в государственных, так и в негосударственных экспертных организациях, оценивать эффективность предлагаемых технических решений и решать многие другие задачи. Для удобства пользования данной системой на сайте «Главгосэкспертизы России» размещена видео-инструкция по работе в Государственной информационной системе Единый государственный реестр заключений экспертизы проектной документации объектов капитального строительства (ГИС ЕГРЗ).

К числу перспективных новаций можно отнести инициированный «Главгосэкспертизой России» ввод так называемой нулевой стадии экспертизы – оценки инвестпроекта на предпроектном этапе с целью обеспечения существенного повышения качества исходных данных для проектирования и точность бюджетного планирования.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что «Главгосэкспертиза России» в своей деятельности не стоит на месте и не ограничивается простым рассмотрением проектной документации и результатов инженерных изысканий, а стремится к усовершенствованию всех

аспектов своей работы, идя в ногу со временем и задачами, которые оно перед нами ставит.

В связи с тем, что одной из основных задач эксперта является установление соответствия результатов инженерных изысканий техническим регламентам, современное состояние нормативной базы, регламентирующей изыскания, и перспективы её развития имеют для нас важное, если не определяющее значение.

Людям, пришедшим в изыскания не вчера, достаточно хорошо известны все происходившие в течение по крайней мере последних 15 лет в этой сфере пертурбации, далеко не всегда положительно повлиявшие на её функционирование.

Всем памятно введение Федерального закона № 184-ФЗ от 27.12.2002 «О техническом регулировании», который одним махом перевёл фактически всю действовавшую на тот момент нормативную базу в разряд документов добровольного применения. Последствия этого знаменательного события, как и следовало предполагать, оказались удручающими.

Утверждённое несколько позже Постановление Правительства РФ № 20 от 19.01.2006 с одной стороны, казалось бы, придало полную легитимность изысканиям как самостоятельной отрасли строительной деятельности, с другой стороны, весьма озадачило изыскательское сообщество внезапным рождением нового вида изысканий – инженерно-геотехнических изысканий. Более десятка лет прошло с тех пор, десятки статей на эту тему опубликованы лучшими умами отечественной инженерной геологии, а до сих пор так достоверно не установлено, что же всё-таки необходимо подразумевать под этим понятием и какими нормативными документами регламентируется их выполнение.

Предпринятые впоследствии действия по так называемой актуализации и гармонизации нормативных документов в области инженерных изысканий, также оставили неоднозначное впечатление. Ваш покорный слуга имел счастье недолгое время входить в одну из комиссий, осуществлявших такую деятельность и сформированную в составе Национального Объединения Изыскателей, поэтому некоторые представления о том, как это иной раз происходило, имеются.

К вершинам нормотворческой деятельности упомянутой комиссии смело можно отнести создание СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96». Можно достаточно долго перечислять и комментировать различные положения этого нормативного документа, вызывающие вопросы и вступающие в противоречие с другими нормами, но остановлюсь лишь на некоторых, наиболее ярких.

Во-первых, нормативный документ, озаглавленный как «Общие положения», содержал в себе как общие положения, регламентирующие инженерные изыскания в целом, так и вполне конкретные требования к выполнению отдельных изыскательских работ: количество и расположение

инженерно-геологических выработок, их глубины, методы испытаний грунтов и их комплексирование и т.д. Складывалось такое ощущение, что авторы отнеслись к этому своду правил как к своей лебединой песне и, стремясь окончательно самовыразиться, постарались включить в его состав всё, что только пришло на ум, ни считаясь с тем, соответствует ли содержание документа его названию, не представляя себе, как должна выглядеть в целом строго иерархически выстроенная система нормативно-технической базы инженерных изысканий.

Во-вторых, фактически была уничтожена возможность в необходимых случаях выполнять инженерно-геологические изыскания для разработки проектной документации поэтапно. А такая необходимость возникает сплошь и рядом, например, в случае расположения объекта на территории, где прежде изыскания не выполнялись вовсе или выполнялись слишком давно. И хотя в пункте 4.19 была оставлена лазейка в виде выполнения инженерных изысканий для рабочей документации, как их производить и какими требованиями руководствоваться, так и не указано.

Крайне неудачной следует признать предпринятую в данном своде правил попытку объяснить изыскателям, что же такое «инженерно-геотехнические изыскания». Так, в начале главы 6 сказано, что инженерно-геологические изыскания выполняются для выбора типа фундамента, а инженерно-геотехнические – для построения расчётной геомеханической модели взаимодействия здания с основанием. Однако окончательный выбор фундамента и осуществляется как раз чаще всего на основании построения такой модели, то есть в этом аспекте (цели и задачи работ) эти два искусственно разделённых вида изысканий сливаются в единое целое.

Дальше – больше: в пункте 6.1 приводится перечень основных видов работ, входящих в состав этих видов изысканий, из которого видно, что и в инженерно-геологические, и в инженерно-геотехнические изыскания входят абсолютно одинаковые виды работ. Отсюда возникает вполне естественный вопрос: по какому принципу произошло это разделение?

Из других странностей данного свода правил в его инженерно-геологической части можно назвать:

– фактическое исключение роли проектной, конструкторской и прочих организаций в изысканиях: необходимость их присутствия или участия не отмечена даже при составлении задания на изыскания (кто же сообщит изыскателю хотя бы сведения о предполагаемых типах и глубине заложения фундаментов, о нагрузках и др.);

– отсутствие учёта такого существенного фактора, как уровень ответственности здания или сооружения при назначении количества и расположения инженерно-геологических выработок (таблица 6.1, где учитывается только категория сложности инженерно-геологических условий);

– из приложения «И», посвящённого статическому и динамическому зондированию, совершенно исчезло всякое упоминание о применимости этого

приложения исключительно к четвертичным отложениям, что весьма существенно и не вполне обоснованно расширяет спектр использования зондирования.

Отдельно следует остановиться на крайне неаккуратных формулировках как с точки зрения геологической терминологии, так и с точки зрения просто русского языка, когда результат, воплощённый в тексте свода правил, вероятнее всего не имел ничего общего с тем, что замышляли авторы.

Например, в пункте 6.6 заложена здравая мысль: придать легитимность специальным частям СП 11-105-97 (II–V), но, если внимательно вдуматься в смысл последнего в этом пункте предложения, становится очевидным, что, скажем, часть III вышеуказанного СП, посвящённая специфическим грунтам, должна быть использована не в районах их распространения, а почему-то только в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений. Всего лишь маленькая оплошность – в данном предложении пропустили упоминание о районах распространения специфических грунтов – и важнейший документ фактически потерял легитимность. Забегая вперёд, сразу скажу, что более нигде в рассматриваемом СП 47 13330.2012 ссылок на специальные части СП 11-105-97 нет.

Или другой пример неаккуратности в использовании специальной терминологии. Требование, содержащееся в пункте 6.7.1 о необходимости выделения слоёв грунтов по **типам,** при буквальном его исполнении в соответствии с ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» позволяет подразделять грунты в процессе изысканий на просто осадочные, магматические и т.д. без разделения на граниты, пески, суглинки и прочее, что, очевидно, по предположению авторов, должно было дать огромную экономию средств при выполнении изыскательских работ.

В важнейшее приложение А, определяющее категорию сложности инженерно-геологических условий, также вкралась серьёзная оплошность: критерием отнесения к III-й (сложной) категории обозначено наличие «более 4-х слоёв» грунтов. Пропущено слово «литологических», и получилось, что, выделив 5 инженерно-геологических элементов, мы автоматически попадаем в III-ю категорию сложности. И в моей экспертной практике уже были случаи обоснования сложной категории ссылкой на это буквально воспринимаемое положение.

Ситуация, сложившаяся в изысканиях в связи с выходом в свет рассматриваемого СП 47 13330.2012, усугубилась тем, что параллельно с сугубо изыскательскими нормативными документами актуализировались, разрабатывались, продолжают разрабатываться и утверждаются своды правил, по основному своему содержанию относящиеся к проектно-конструкторской деятельности, но имеющие в своём составе требования, направленные на регламентирование изыскательских работ. Это СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений, СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты, СП 120.13330.2012 Метрополитены и др.

Главной бедой в этом смысле является отсутствие какого-либо нормотворческого контакта между уважаемыми организациями, одни из которых разрабатывают собственно изыскательские нормы, а другие – так называемые «проектные» нормативные документы, хотя в полной мере таковыми называть их нельзя. Результатом явилось наличие многочисленных противоречий в трактовке одних и тех же положений, запечатлённых в этих сводах правил. Мало того, достаточно часто эти противоречащие друг другу положения норм одновременно отнесены к обязательным в соответствии с «Перечнем национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», утверждённого Постановлением Правительства РФ № 1 521 от 26 декабря 2014 года.

Один из многочисленных примеров: в п. 6.13.4 СП 22.13330.2011 требования к изучению динамических свойств обращены к текучим глинистым грунтам, тогда как пункт 6.7.2.14 СП 47 13330.2012 распространяет их на все глинистые водонасыщенные грунты, а это далеко не одно и то же. И оба пункта являются обязательными.

Совершенно очевидно, что одновременно выполнить два обязательных и противоречащих друг другу положения не представляется возможным ни при каких условиях. И здесь в сложной ситуации оказываются отнюдь не только изыскатели, но и эксперты, сталкивающиеся с этим довольно часто.

Создание такой дисгармоничной системы нормативных документов, которую временами и системой-то сложно назвать, приводит порой к недопустимой ситуации, когда эксперт, не найдя нужной ясности в действующих нормах по изысканиям, вынужден принимать решение по усмотрению (что недопустимо) или апеллировать к законам более высокого ранга – правильным, но, как правило, не разъясняющим конкретную спорную проблему.

Возможность работать в условиях действия чётких непротиворечащих друг другу, составленных профессионалами нормативных правил, – мечта не только представителей изыскательского, но и экспертного сообщества.

Надежда на осуществление такой возможности у Вашего покорного слуги появилась только после ознакомления с проектом «Концепции развития инженерных изысканий в Российской Федерации», разработанной Михаилом Игоревичем Богдановым и его командой и опубликованной в № 5 журнала «Инженерные изыскания» за 2013 год. В нём было всё, по чему истосковалось изыскательское сердце: строгая иерархия, логика, преемственность и уважение по отношению к тому багажу всего лучшего накопленного в изысканиях за прежние годы, порядок и направления предстоящего нормотворчества, даже возможность избавления от принятых ранее не вполне удачных решений и т.д.

Появление в последние годы новых нормативных документов, разработанных последователями данной «Концепции», свидетельствует о том,

что наши надежды подтверждаются реальностью и последовательно воплощаются.

Конечно, не всё так радужно, и ко вновь появившимся документам есть некоторые вопросы. Но в целом, положение скорее обнадёживает, чем удручает.

Если говорить о новом вступившем в действие СП 47.13330.2016, то он прежде всего, наконец, в отличие от предыдущего полностью соответствует своему названию и представляет собой именно «Общие положения». Поскольку рассматриваемый документ носит общий характер, он не содержит каких-либо конкретных требований к назначению видов и объёмов изысканий. Но в связи с этим, а также с тем, что в нем полностью отсутствуют ссылки на единственные существующие после его выхода нормативные документы по этому вопросу (СП 11-105-97, части I, II и т.д.), назначение видов и объёмов изыскательских работ до выхода соответствующих актуализированных норм представляется несколько затруднительным.

Но в связи с тем, что указанные своды правил (СП 11-105-97) разрабатывались и выпускались в развитие обязательных положений и требований СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения, а вновь утверждаемый СП 47.13330.2016 является результатом пересмотра СП 47.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», логически и юридически правильным представляется до выхода соответствующих актуализированных норм использовать действующие СП 11-105-97 в тех аспектах инженерно-геологических изысканий, которые не освещены (или освещены в недостаточной степени) в новом СП 47.13330.2016.

Важнейшим считаю новое положение о возможности выполнения инженерно-геологических изысканий для разработки проектной документации в два этапа по сравнению с СП 47.13330.2012, в котором только допускалась возможность выполнения неких дополнительных работ в рамках рабочей документации, причём они никак не регламентировались. С выходом нового свода правил заложены основы двухэтапного (при необходимости) выполнения изысканий для проектной документации, что существенно при производстве работ в условиях нехватки исходной информации.

Следует надеяться, что в целом новый свод правил в сочетании с ожидаемыми к выпуску сводами правил по отдельным видам изысканий обеспечит возможность более или менее нормальной работы изыскательской отрасли.

Однако, сложная ситуация с параллельной разработкой так называемых «проектных» сводов правил, имеющих в своём составе требования, обращённые к различным аспектам изыскательских работ, по-прежнему существует.

Почти одновременно с вышеупомянутым СП 47.13330.2016 в июне этого года утверждён обновлённый СП 22.13330.2016 Основания зданий и

сооружений, содержание которого совместить с существующими изыскательскими нормами вряд ли будет возможно.

Отныне, согласно новому СП-22.13330.2016, главным критерием при назначении объёмов и видов изыскательских работ будет являться «геотехническая категория объекта» – понятие, складывающееся из сочетания уровня ответственности объекта и категории сложности инженерно-геологических условий территории и ни в каких нормативных изыскательских документах, более не встречающееся.

Если заглянуть в историю этого термина, можно вспомнить, что он присутствовал в ряде трудов питерской геотехнической школы (Владимир Михайлович Улицкий и его соратники) и в дальнейшем появился в Москве, поскольку был введён действие МГСН 2.07-01 «Основания, фундаменты и подземные сооружения», где этот термин фигурировал. Но до сих пор ни в одном федеральном документе он не появлялся. И вот свершилось! Теперь, исходя из порядка определения геотехнической категории объекта, приведённого в рассматриваемом СП-22.13330.2016 (таблица 4.1.), к объектам II (средней) категории сложности отнесены в числе прочих и объекты пониженного уровня ответственности, находящиеся в сложных инженерно-геологических условиях. А далее, внимательно изучив весь рассматриваемый свод правил, мы убедимся, что для таких объектов (утрируя, для временного сарая на склоне или иной бытовой постройки в потенциально-опасном в карстово-суффозионном отношении районе) теперь следует выполнять непосредственные испытания свойств грунтов (п. 4.11) вплоть до штамповых и прессиометрических опытов (п.п. 5.3.6, 5.3.7 и др.), а также и геотехнический мониторинг (п. 4.16).

Этот же термин появился и в ряде других свежих сводов правил: СП 248.1325800.2016 Сооружения подземные. Правила проектирования, Изменение № 1 к СП 24.13330.20112 Свайные фундаменты.

Складывается отчётливое впечатление, что среди авторов рассматриваемого свода правил волей судьбы не случилось ни одного изыскателя, а к организациям, параллельно с ними работающими над новыми собственно изыскательскими нормами, они не сочли необходимым обратиться. Ведь если бы хотя бы одно опытное изыскательское око мельком проглядело этот текст, от его внимания не ускользнули бы положения, явно не соответствующие как старым, так и новым изыскательским нормам. К примеру, п. 4.8 гласит, что «объемы и состав инженерных изысканий должны быть установлены в техническом задании на изыскания», тогда как всякий изыскатель свято помнит о том, что как в старом СНиП 11-02-96, так и в действующих нормах это строжайше запрещено.

В целом, сложившаяся ситуация, как уже говорилось выше, не смертельна и всё-таки внушает оптимизм, но требует общих согласованных усилий всех лиц и организаций, заинтересованных в нормализации

деятельности изыскательской отрасли. И поверьте такая нормализация нужна всем, кто работает в изысканиях, включая экспертные организации.

Со стороны руководящих органов принимается ряд усилий в этих целях: так, следует упомянуть принятое Правительством РФ Постановление, утвердившее «Перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (№ 1521 от 26 декабря 2014 года) и Приказ Федерального Агентства по техническому регулированию и метрологии № 1650 от 25 декабря 2015 года, утвердивший «Изменения, которые вносятся в перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», утвержденный приказом Федерального агентства от 30 марта 2015 года № 365». Это ни что иное, как попытка, расставляя акценты в этом огромном облаке часто не вполне соотносящихся друг с другом нормативных положений, указать на те позиции, которые должны быть выполнены при любых условиях.

К планируемым мероприятиям государственного уровня следует отнести разработанный Минстроем законопроект, которым вносятся изменения в № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и Градостроительный кодекс Российской Федерации, который предусматривает введение новых нормативно-технических документов строительных норм обязательного применения и строительных правил – документов добровольного применения, а также создание федерального реестра нормативных документов в целях исключения противоречий и дублирования требований в действующей нормативно-технической базе в строительстве и др.

Возможно и здесь, может быть, не всё складывается идеально гладко, но необходимым условием нормальной работы изыскательской отрасли, в том числе в нормотворчестве, являются именно согласованные действия, не допускающие разнонаправленных, а часто и противоположных усилий в движении к единой и общей цели. Для этого крайне необходимо, чтобы утверждение новых нормативных актов, имеющих какое-либо отношение к изысканиям, проходило после рассмотрения и согласования с изыскательским сообществом.

И здесь хотелось бы обратиться к широкому изыскательскому сообществу с убедительной просьбой активнее участвовать в работе над выдвинутыми на обсуждение нормативными актами. Если бы такое полноценное участие имело место, значительная часть описанных выше недостатков, неточностей, противоречий, откровенных ляпов не смогли бы просочиться в окончательные утверждённые варианты нормативных документов. А бурно реагировать по поводу несовершенства норм только после

того, как Ваша изыскательская продукция начала испытывать трудности при прохождении экспертизы, уже несколько поздновато. Эксперты – такие же пользователи нормативно-технической базы инженерных изысканий во всей её полноте и всём несовершенстве и так же страдают от заложенных в ней недостатков и противоречий.

Не так давно в нашу организацию обратился главный редактор независимого электронного журнала В.Н. Ананко с просьбой дать ответы на ряд животрепещущих вопросов по части инженерных изысканий, которыми завален его информационный ресурс. Изучив эти вопросы, мы пришли к ожидаемым выводам: подавляющее большинство вопросов касались именно противоречий и ляпов в действующих нормах. Здесь в качестве единого ответа на все эти вопросы может быть ответный вопрос: «А где Вы, господа-изыскатели, находились, когда все нормативные документы, которые сейчас вызывают у Вас искренний гнев, проходили всенародное обсуждение, когда они утверждались?». Но раз уж этот момент проскользнул мимо Вас незаметно, авторы всех документов известны, и в подполье они не уходили. Сейчас вполне логично будет обращаться именно к ним, требуйте разъяснений, получайте их… Ещё раз повторю, эксперты не являются авторами норм, а так же, как Вы пользуются ими, насколько это возможно.

Подводя черту под сказанным, хочется сказать следующее: наше общее непрерывное и активное участие в формировании нормального климата в изыскательской деятельности – непременное условие успешного воплощения созданной пассионарным лидером Ассоциации «АИИС» и его командой «Концепции развития инженерных изысканий в Российской Федерации», и этот оптимистический призыв обращён ко всему изыскательскому сообществу: не только к изыскателям, трудящимся в любой из более чем полутора тысяч организаций, входящих в эту Ассоциацию, но и к каждому изыскателю, работающему в нашей стране.

Кочев А.Д.[1], Богданов М.И.[2]

[1]ООО «Транспроектинжиниринг», г. Москва, a.kochev@mail.ru
[2]ООО «ИГИИС», г. Москва, mail@igiis.ru

РАЗРАБОТКА НОВОГО СВОДА ПРАВИЛ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ»

Почти треть площади суши Земли занимают закарстованные территории, на которых зачастую образуются провальные воронки и воронки оседания. Прогноз таких деформаций, приводящих к значительным потерям и человеческим жертвам, является крайне затруднительным, что связано прежде всего с многофакторностью рассматриваемых процессов.

Точность и правильность таких прогнозов и оценок опасности негативных процессов на закарстованных территориях определяются в основном полнотой и качеством инженерных изысканий, во многом зависящих от уровня разработанности методической базы и профессионализма изыскателей.

В связи с этим очевидна актуальность разработки Свода правил для производства инженерных изысканий на закарстованных территориях.

Это стало особенно важным после вступления в силу с 1 июля 2010 г. Технического регламента № 384-ФЗ «О безопасности зданий и сооружений», поскольку часть действующих технических нормативных документов по инженерным изысканиям на закарстованных территориях утратила юридическую силу. Несмотря на это, во многих регионах РФ продолжают пользоваться таковыми, что связано либо с отсутствием новых регламентирующих правил, либо с тем, что они не утверждены на правительственном уровне.

Поскольку авторы доклада по специфике своей деятельности во многом непосредственно связаны с инженерно-геологическим изучением условий г. Москвы, необходимо немного подробнее остановиться на проблемах разработки Приложения к СП для изысканий применительно к закарстованной территории г. Москвы.

В соответствии с СП 47.13330.2012, п. 6.7.2.8, «Полученные результаты должны содержать исходные данные для разработки противокарстовых мероприятий (в том числе категории устойчивости территорий относительно интенсивности образования карстовых провалов и их расчетные диаметры)». Согласно Постановлению Правительства РФ от 26.12.2014 года № 1521 данный пункт СП остается обязательным.

Проектировщики ожидают от результатов инженерных изысканий помимо всего прочего возможный диаметр провала или воронки для учета этих параметров в конструкциях фундаментов. В тоже время предоставить такую информацию для условий Москвы на сегодняшний день крайне

затруднительно, если не сказать невозможно, что связано с отсутствием адекватных расчетных схем, описывающих сложный механизм так называемого карстово-суффозионного процесса (КСП) и учитывающих условия и факторы его протекания. Государственная экспертиза требует от изыскателей значения расчетных диаметров карстовых или карстово-суффозионных провалов, или воронок (КСВ) в случае расположения участка работ в опасных или потенциально опасных районах по развитию современных КСП в г. Москве. Оценка опасности проводится согласно «Карте опасности древних карстовых форм и современных карстово-суффозионных процессов» [2] (рис. 1) и «Инструкции по проектированию зданий и сооружений в районах города Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов» [1], которые требуют серьезного переосмысления и изменений.

Рис. 1. Фрагмент карты опасности древних карстовых форм и современных карстово-суффозионных процессов

Следует остановиться подробнее на принципах и критериях районирования, предлагаемых ГБУ «Мосгоргеотрест» и Институтом геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН и регламентируемых при оценке опасности КСП.

Прежде всего, представляется нелогичным выделение двух категорий опасности – древних карстовых форм и современных КСП. Последние теснейшим образом связаны с древними карстовыми формами, которые являются приемником песчаного материала, выносимого из покровной толщи через сквозные нарушения в глинистом относительно водоупорном экране. В нашем случае опасность одна – возможность развития КСП с образованием КСВ на поверхности земли, что может нарушить устойчивость зданий, сооружений и коммуникаций. На наш взгляд, использование критерия

районирования по степени закарстованности карбонатного массива не представляется возможным при масштабе карты 1:10 000 [3], поскольку данный показатель обладает крайне сильной изменчивостью как по глубине, так и по латерали. Оценить степень закарстованности можно лишь при выполнении детальных инженерно-геологических изысканий (ИГИ) в масштабах 1:200–1:500, хотя инженерно-геологическое сообщество уже давно ожидает разработок высокоточных геофизических методов, способных оценивать с высокой достоверностью состояние карбонатного массива и перекрывающего его глинистого экрана.

Возвращаясь к рассмотрению критериев опасности древних карстовых форм, можно видеть, что к неопасным на рассматриваемой «Карте…» ГБУ «Мосгоргеотрест» (рис. 1) отнесены районы, где карбонатные породы залегают под верхнекаменноугольными глинами. Однако КСВ могут образовываться и в таких типах разрезов, где известняки перекрыты верхнекаменноугольными глинами, а карбонатные породы сильно трещиноваты и закарстованы (открытые полости глубиной более 1 м). В таком случае эти районы могут быть и опасными.

Некоторые неточности наблюдаются при выборе и использовании критериев районирования для оценки опасности современных КСП. Так, одним из критериев выделения опасных территорий в Аннотации к рассматриваемой «Карте…» (рис. 1) указана приуроченность к доледниковым и современным речным долинам. При этом не уточняется, на основании каких выявленных закономерностей и как проводится граница опасного района. «Приуроченность» – это слишком абстрактная характеристика опасности; необходима формализация данного критерия для обоснования выделения границ на карте. Приуроченности же опасного района к современной гидросети вовсе не наблюдается, как видно на рис. 1. Скорее наоборот, неопасные районы в северо-западной части города тяготеют к долине р. Москвы.

В пределах опасных районов по возможности развития КСП зафиксированы и детально изучены КСВ в местах, которые на «Карте…» соответствуют неопасным районам по наличию древних карстовых форм, что противоречит природе развития КСП.

Важнейшее условие развития КСП в Москве – мощность юрского и верхнекаменноугольного глинистого слабопроницаемого экрана, – в перечне критериев выделения разных по опасности территорий в рассматриваемой «Карте…» отсутствует.

При изучении карты районирования ГБУ «Мосгоргеотрест» создается впечатление, что опасный район по возможности развития КСП оконтурен только по одному принципу – по площади распространения известных КСВ, граница которой проведена достаточно условно. Расстояния от воронок до границ опасного района всюду различные. Хочется отметить, что в условиях мегаполиса не исключены варианты, когда некоторые воронки специально не обследовались, не были задокументированы, возможно были просто засыпаны,

забетонированы или заасфальтированы. Поэтому резонно предполагать наличие других мест, где протекали КСП с образованием воронок, не зафиксированных впоследствии.

Все это привело к серьезным отличиям, наблюдаемым при сравнении карты районирования, выполненной по рассмотренным выше принципам, и карты, учитывающей все типы геолого-гидрогеологических условий изученных КСВ (рис. 2) [3].

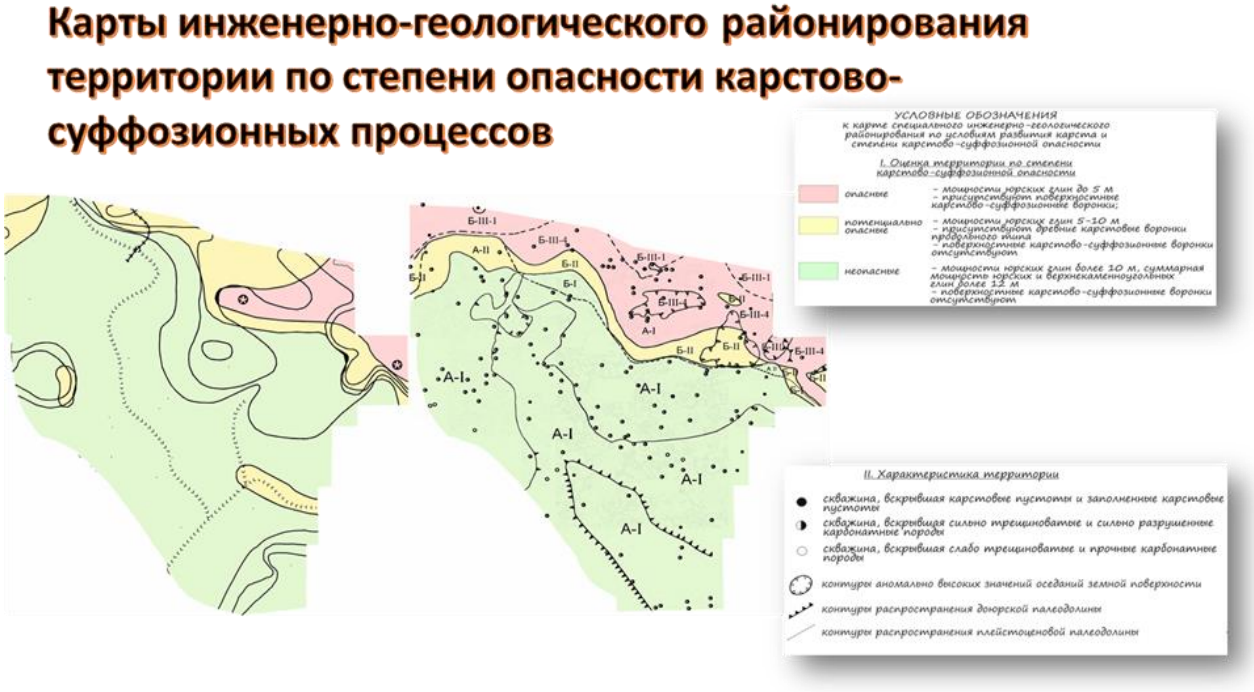


Рис. 2. Карты инженерно-геологического районирования территории по степени опасности КСП, составленные специалистами ГБУ «Мосгоргеотрест» и ИГЭ РАН (слева) и специалистами ПГО «Гидроспецгеология» (справа)

Таким образом, для условий г. Москвы практически невозможно пользоваться регламентирующими «Картой…» и «Инструкцией…» для оценки опасности КСП. Назрела настоятельная необходимость разработки новой инструкции, уточненной и дополненной новыми данными, полученными по результатам детальных инженерно-геологических исследований на закарстованных территориях г. Москвы, а также необходима новая 3-я редакция «Карты…» с использованием результатов анализа всех КСВ в Москве, их типизации и районирования территории на этой основе по степени опасности данных процессов.

В Москве всего выявлено 42 воронки, генетически связанных с древними карстовыми формами. Все они расположены на северо-западе города и приурочены к 3-й надпойменной террасе р. Москвы. Поэтому можно предложить проведение детальных исследований для составления карты районирования по опасности развития КСП, ограничившись лишь северо-западным сектором г. Москвы. Это резко сократит затраты на такие

исследования и, соответственно, на проектные и строительные работы на всей территории Москвы.

Для закарстованной территории г. Москвы, а именно, для северо-запада города, при оценке глубины сжимаемой толщи часто оказывается, что ее значение меньше (часто значительно), чем глубина залегания кровли карбонатного массива. То есть буровые скважины часто не достигают карбонатных пород, а иногда и юрских глин, поэтому степень закарстованности известняков и доломитов, а также мощность относительно водоупорных глин, определяют по указанной выше «Карте…» [2], что представляется некорректным и влечет за собой ошибки в оценке опасности участка изысканий. Это лишний раз подтверждает необходимость разработки четких критериев оценки опасности КСП и создания на их основе инженерно-геологической карты районирования по степени опасности развития КСП на территории северо-запада г. Москвы.

Следует добавить, что использование статистических методов оценки опасности КСП в Москве не представляется возможным в силу малого количества воронок. К тому же среди них выделяется 7 типов геолого-гидрогеологических условий их образования, каждый из которых требует отдельной статистической обработки.

Приоритет следует отдавать детерминистским методам математического прогноза для оценки карстовой опасности на конкретных объектах или комбинировать их со статистическими. Вероятностный подход, на наш взгляд, возможно использовать для целей подготовки документов территориального планирования.

В настоящее время предпринимаются серьезные усилия по созданию коллектива специалистов из различных регионов РФ для разработки соответствующего СП. При этом предлагается организовать рабочую группу из 5–6 специалистов, которые бы непосредственно разрабатывали первый вариант СП, после чего включилась бы в работу экспертная группа в количестве порядка 20–30 специалистов из разных регионов РФ, представляющих к тому же различные направления в области изучения карстовых и сопутствующих им процессов. Рабочая группа анализирует полученные предложения и рекомендации и после корректировки выставляет на публичное обсуждение второй вариант СП уже для более широкой аудитории специалистов, размещая текст СП на сайте СРО «АИИС». Таким образом, процесс разработки СП претерпел бы несколько итераций, учитывая мнения многих специалистов, в разных областях исследующих закарстованные территории РФ.

Важнейшей задачей разработки всех СП прежде всего является определение основных терминов и понятий, например, таких как: карст, карстовая опасность, карстовая воронка (полость, провал), закарстованная территория, диаметр карстового провала, карстовые деформации, карстово-суффозионный процесс, районирование закарстованной территории и др.

Мнения многих специалистов в отношении определения терминов различны, а порой и полярны, поэтому предлагается организовывать круглые столы, на которых проводилось бы глубокое и содержательное обсуждение спорных терминов для выработки единого подхода к определениям или для принятия компромиссных решений. Это необходимо с целью избежания ненужных споров и больших потерь времени. Мы должны сознавать, что инженерно-геологическое сообщество давно ждет СП для производства инженерных изысканий на закарстованных территориях; существующий неформализованный подход приводит к серьезным ошибкам в оценках опасности, а это, в свою очередь, – к завышению сметной стоимости на строительство или к деформациям и разрушению объектов строительства.

Достаточно непростым мероприятием оказалось формирование состава участников разработки рассматриваемого СП. Это связано с большим разбросом специалистов по территории РФ с различными типами закарстованных территорий, разными механизмами протекания этих процессов. Наблюдаются значительные отличия в методиках изучения. Даже в одном и том же регионе, на одном объекте можно наблюдать разные подходы при осуществлении прогнозов и оценок опасности карстовых деформаций. Да и в целом в карстоведении ощущается дефицит профессионалов, причиной которого могли быть экономический кризис 90-х гг. XX в. и отсутствие должного финансирования исследовательской деятельности.

При формировании коллектива экспертов необходимо учитывать и специализацию – инженерная геология, гидрогеология, геофизика, геодезия, проектирование и др., чтобы детальнее и объективнее охватить все аспекты будущего СП.

При разработке СП обязательным условием должно быть соответствие и согласованность с другими СП, а также должен сохраняться принцип методологического единообразия.

Закарстованные регионы обладают своими особенностями, отличающимися условиями и факторами протекания карстовых процессов и связанных с ними деформаций. В этой связи предлагается общую часть СП составить на основе единой методической базы для всех регионов РФ, т.е. учесть только общие принципы проведения инженерных изысканий применительно к любой закарстованной территории. А правила проведения изысканий с учетом региональных особенностей предлагается сформировать в Приложениях к СП, например, для условий г. Москвы, Нижегородской области, Пермского края, Башкортостана, Татарстана и др. Тем более, что такие Приложения будут в основном создаваться на базе существующих региональных ТСН, рекомендаций и другой нормативно-методической литературы.

Немаловажной задачей при разработке СП является изучение и использование опыта проведения изысканий на основе ранее существующей

нормативно-методической базы, включая зарубежный опыт инженерных изысканий на закарстованных территориях.

Список литературы

1. Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов. М.: Мосгорисполком, 1984 г. 14 с.
2. «Карта опасности древних карстовых форм и современных карстово-суффозионных процессов» масштаба 1:10 000. М.: ГУП «Мосгоргеотрест», ИГЭ им. Е.М. Сергеева РАН., 2012, 2-я редакция.
3. Кочев А.Д., Чертков Л.Г., Зайонц И.Л. К вопросу инженерно-геологического районирования территории северо-запада г. Москвы по степени опасности развития карстово-суффозионных процессов // Материалы науч.-практ. конференции «Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения». М.: Геомаркетинг, 2017. С. 24–40.

Панасьян Л.Л.[1], Сас И.Е.[2]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, г. Москва, liyli@zmail.ru
[2]Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», лаборатория лазерно-ультразвукового неразрушающего контроля, г. Москва, ivan_sas@bk.ru

СОПОСТАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ В МАССИВАХ С АКУСТОЭМИССИОННЫМИ ЭФФЕКТАМИ ПАМЯТИ (НА ПРИМЕРЕ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ ВОРОНЕЖСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ)

Введение

В настоящее время, основным методом изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) горных пород является численное моделирование. Обоснованная оценка устойчивости массивов, склонов, бортов карьеров, подземных объектов затруднена без анализа распределения величин естественных напряжений [4]. Важным и перспективным является сопоставительный анализ напряжений, полученных в результате модельного и натурного изучения. Такой анализ позволяет: на начальном этапе исследований выявить потенциально опасные участки неоднородных массивов пород. Полевые и лабораторные методы позволяют получить значения напряжений и установить направление их действия в разных областях (точках) изучаемого массива. Многие методы обладают большой трудоемкостью и реализуются не во всех ситуациях, поскольку имеют ряд ограничений по применимости [8]. Одним из методов, позволяющих изучать НДС массива горных пород, является метод акустической эмиссии (АЭ).

Явление акустической эмиссии (АЭ) и эффект памяти

Акустической эмиссией (АЭ) называется процесс излучения упругих волн малых энергий, возникающий в результате необратимых или частично обратимых изменений структуры твердых тел под влиянием внешних и внутренних факторов различной физической природы [3].

В настоящее время, в соответствии с ГОСТ Р ИСО 12716-2009 [1], акустическая эмиссия определяется как класс явлений, заключающийся в излучении упругих волн, возникающих в процессе перестройки внутренней структуры твердых тел, или переходных волн, вызванных таким же образом.

Использование метода АЭ, при изучении НДС массива горных пород, основан на акустоэмиссионном «эффекте памяти».

Способность к сохранению и, при определенных условиях, воспроизведению информации об испытанных природно-генетических и техногенных воздействиях является одной из наиболее общих качественных особенностей горных пород и потому может рассматриваться как их

фундаментальное свойство. Конкретные проявления этого свойства получили названия эффектов памяти [5]. Они заключаются в связанных с предысторией испытанных воздействий особенностях откликов горных пород на динамику различных тестовых физических полей [6]. Общие особенности эффектов памяти состоят в следующем:

- Невоспроизводимость откликов горных пород на циклические воздействия (нагревание, механическое нагружение и др.) вплоть до достижения значений ранее испытанных воздействий.
- Зависимость характера откликов от соотношения режимов: (продолжительности, цикличности, скорости нагружения и др.).
- Зависимость интенсивности и характера откликов от влияния внешних помеховых факторов.
- Сохранение основных закономерностей откликов при переходе к более крупным или более мелким масштабам исследования [7].

Таким образом, АЭ эффект памяти заключается в невоспроизводимости АЭ вплоть до максимального напряжения предшествующего цикла, когда параметры АЭ скачкообразно восстанавливаются до уровня, соответствующего этому максимальному напряжению (ГОСТ 27655-88 [2]). Таким образом, чтобы получить рост АЭ активности необходимо увеличивать напряжение от цикла к циклу, «превзойти» предыдущую нагрузку.

Изучение НДС массива с применением метода АЭ

При изучении напряженно-деформированного состояния массива скальных грунтов в Воронежской области, в лабораторных условиях, с применением метода АЭ, исследовались пробы, отобранные при бурении скважины с глубин до 800 м. Из отобранных проб были изготовлены образцы, которые впоследствии подвергались одноосному сжатию с постоянной скоростью 300 кг/мин и одновременной регистрацией сигналов АЭ с использованием прибора СДС-1008. В процессе испытаний при одноосном нагружении регистрируются различные параметры акустической эмиссии: время наступления события, максимальная амплитуда (ADC) в единицах квантования АЦП (аналогово-цифровой преобразователь) и дБ, энергия в дБ и счёт АЭ. Для анализа использовались следующие параметры: счёт АЭ (ΣN), время наступления события (импульса) и сумма импульсов (Σi), а также амплитуда и энергия сигналов. При обработке данных использовалась программа фирмы «СДС» – Маэстро 1.2.2 [9]. Схема испытаний приведена на рис. 1.

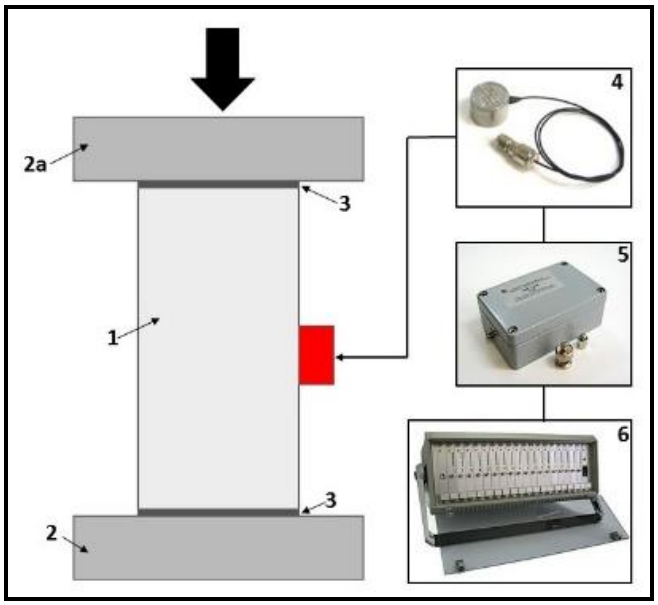


Рис. 1. Схема нагружения образца с одновременной регистрацией АЭ: 1 – образец, 2 – нижняя неподвижная плита пресса, 2а – верхняя подвижная плита, 3 – пленка для предотвращения трения, 4 – АЭ датчик GT 301, 5 – усилитель сигнала 1008-PA40, 6 – системный блок

Так как общепринятая методика ограничивает временной интервал анализируемых параметров, для более точной идентификации эффекта памяти использовался параметр «*R*» – отношение приращения суммы счета АЭ к сумме импульсов АЭ в конкретный момент времени, что позволяет оценить приращение суммы счета АЭ в течение всего времени наблюдения. Затем анализируется связь «*R*» со счетом *N* –- характеристикой импульса АЭ, что затруднено из-за сложного распределения этой величины (рис. 2) и связано с тем, что на графике еще отражены неизвестные воздействия на породу до проведения опытов.

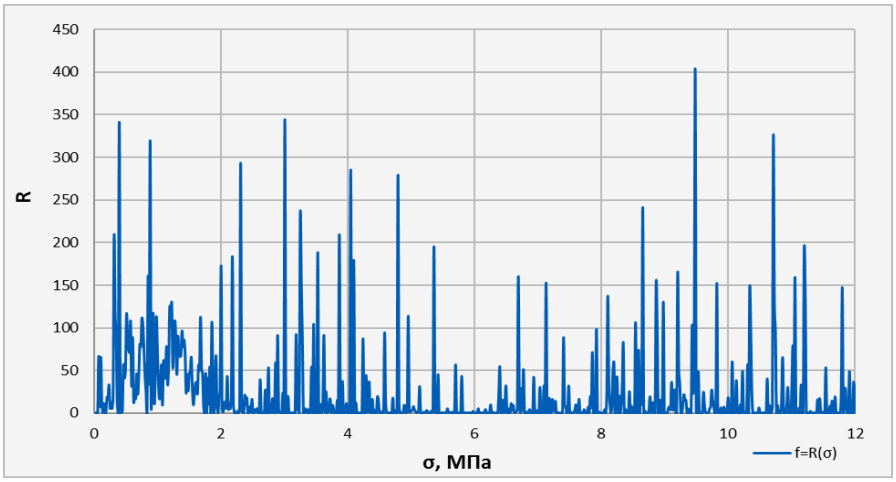


Рис. 2. Пример зависимости параметра «*R*» от напряжения (σ), полученной при проведении исследований

Величины напряжений, установленные методом АЭ, впоследствии сравнивались с величинами вертикальных напряжений, установленных в соответствии с гипотезой Н. Динника о распределении напряжений в соответствии с ρgh (ρ – плотность породы, g – ускорение свободного падения, h – глубина отбора образца.

Результаты исследований

По результатам исследований установлено, что точность восстановленных напряжений методом АЭ составляет, в среднем, 82% (при сравнении с величинами вертикальных напряжений, рассчитанных в соответствии с гипотезой Н. Динника – ρgh). Следует отметить, что диагностика проявления АЭ эффекта памяти, в некоторых случаях, затруднительна.

При использовании дополнительного расчетного параметра «*R*» (который представляет собой приращение суммы счета к сумме зарегистрированных импульсов) удалось повысить точность установления величин напряжений до 90% и более. Также для более эффективной диагностики эффекта памяти дополнительно использовались зависимости «напряжение–деформация» которые позволяли по характерному перегибу также диагностировать АЭ эффект памяти.

Для примера сравним зависимости, приведенные на рис. 3–5. В данном случае использование альтернативной методики по параметру «*R*» позволило увеличить точность восстановления напряжений методом АЭ более чем на 10%. Также следует отметить, что диагностика восстановленного напряжения с применением параметра «*R*», в рассмотренном случае, более объективна (наглядна).

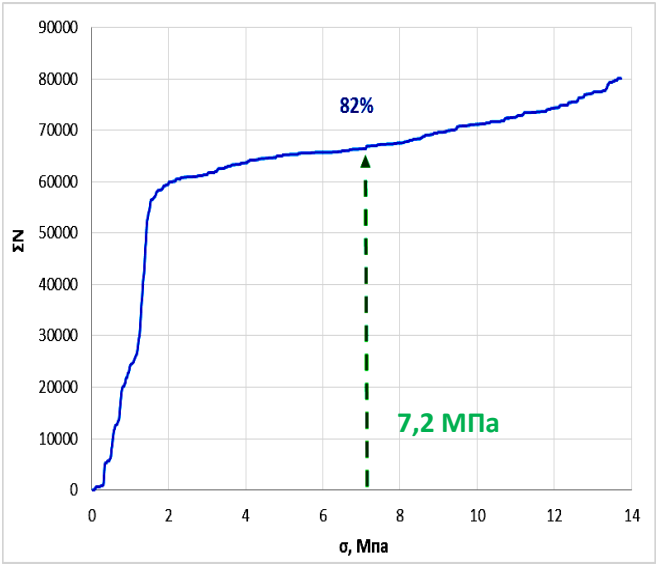


Рис. 3. Результаты исследования образца гранита, отобранного с глубины 227,9 м (вертикальное напряжение ρgh – 8,8 МПа, Σ*N* – сумма импульсов)

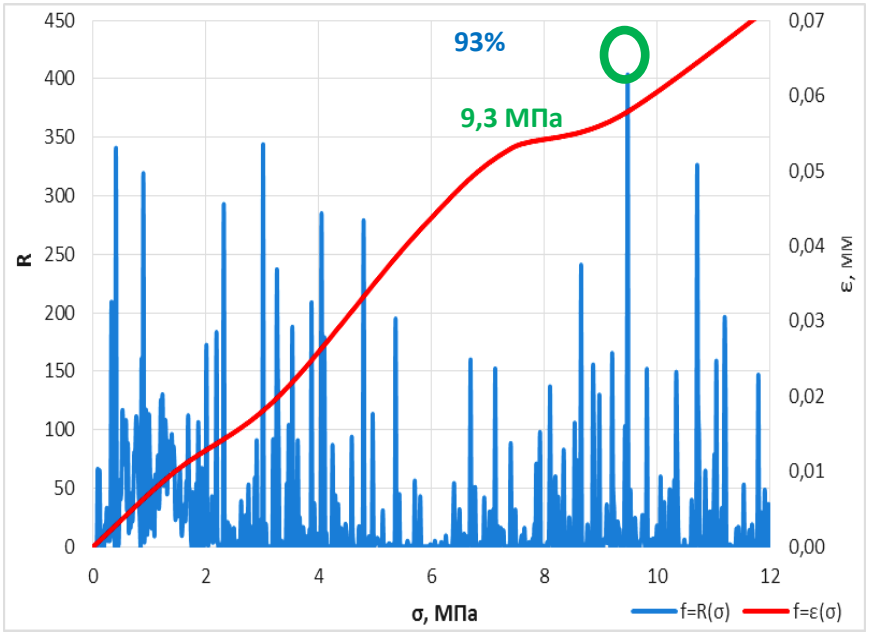


Рис. 4. Результаты исследования образца гранита, отобранного с глубины 227,9 м с применением параметра «*R*» и кривой деформации образца при одноосном сжатии (вертикальное напряжение ρgh – 8,8 МПа)

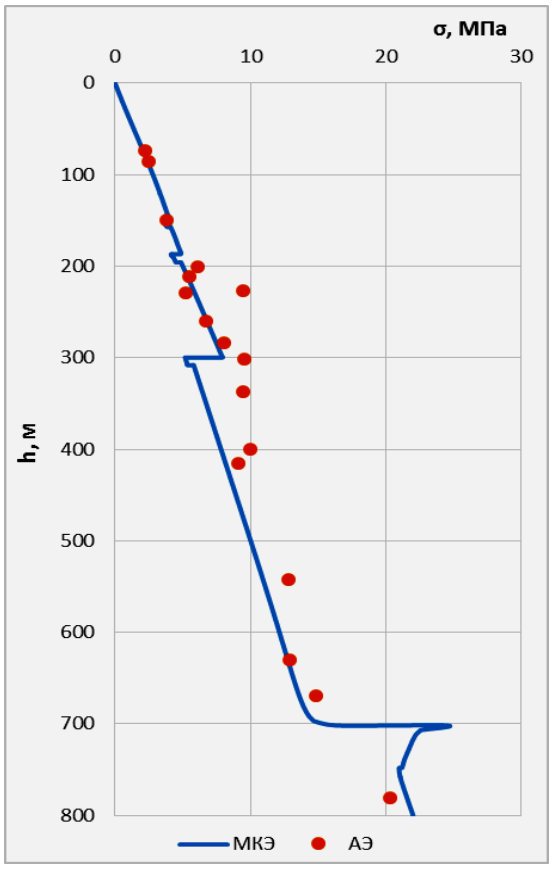


Рис. 5. Сравнбительная характеристика распределения величин (полученных с помощью численного метода МКЭ) вертикальных напряжений (σ) с глубиной (*h*) и величины восстановленных напряжений методом АЭ

Выводы

Результаты исследований свидетельствуют о том, что использование метода АЭ при изучении напряженно-деформированного состояния является обоснованным, а полученные результаты весьма информативными. На рис. 5 представлена зависимость роста величин вертикальных напряжений (σ) с глубиной (h) и величины восстановленных напряжений методом АЭ.

Точность восстановления напряжений с помощью АЭ составила более 80% (максимальное значение 93%) независимо от глубины отбора образцов. Также следует отметить, что использование параметра «R» при анализе результатов АЭ показало свою эффективность (более 50% восстановленных напряжений выявлены с помощью параметра «R»).

Таким образом, в ходе выполненных исследований, представлен пример работ по верификации величин напряжений в массиве грунтов с результатами лабораторных исследований. Комплексирование методов, в конкретных случаях, может дать более объективную картину о распределении полей напряжений в изучаемых средах.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 12716-2009 Контроль неразрушающий. Акустическая эмиссия.
2. ГОСТ 27655-88 Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения.
3. Грешников В.А., Дробот Ю.В. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. М.: Изд-во стандартов, 1976. 272 с.
4. Панасьян Л.Л., Петровский М.А. Об использовании эффекта Кайзера для оценки напряжений в горных породах // Инженерная геология. 1984. № 2. С. 114–119.
5. Панасьян Л.Л., Лавров А.В., Мастюков А.Г. О показателе сохранности акустоэмиссионного эффекта памяти в некоторых типах пород. М.: Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2001. № 1. С. 55–58.
6. Ржевский В.В., Ямщиков В.С., Шкуратник В.Л. Термоэмиссионные эффекты памяти горных пород // Докл. АН СССР. 1985. Т. 283. № 4. С. 843–845.
7. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения: справочное пособие. М.: ГУП «НТЦ по безопасности в строительстве Госгортехнадзора России». 2003. Сер. 28. Вып. 4. 392 с.
8. Степанов В.Я., Балалаева С.А. Исследование напряженного состояния массива горных пород неоднородного строения методом конечных элементов. СО АН СССР, ФТПРПИ. 1975. № 3. С. 26–31.

9. Sas I.E., Cherepetskaya E.B. Features of Numerical Modeling In Situ Stress State Massive of Rocky and Issues of Verification of the Data // Applied Mechanics and Materials. 2016. Vol. 843. P. 36–44.

Косинова И.И.

Воронежский государственный университет, геологический факультет, кафедра экологической геологии, г. Воронеж, kosinova777@yandex.ru

О НАПОЛНЕНИИ РАЗДЕЛА ПРОГНОЗА ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА НА КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В СИСТЕМЕ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве» («АИИС») совместно с рядом производственных изыскательских организаций в 2016 г. разработала документ СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения, который является актуализированной редакцией СНиП 11-02-96. Данный СП утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1033/пр и введен в действие с 1 июля 2017 г. Разработка СП проводилась большим коллективом авторов, основной целью которых было желание максимально оптимизировать требования к инженерным изысканиям с учетом сложной социально-экономической ситуации в строительстве. В терминологическом разделе документа под инженерными изысканиями предлагается понимать «изучение природных условий и факторов техногенного воздействия в целях рационального и безопасного использования территорий и земельных участков в их пределах, подготовки данных по обоснованию материалов, необходимых для территориального планирования, планировки территории и архитектурно-строительного проектирования». Выделяя целевые позиции данного определения следует обратить внимание на его следующие структурные элементы:

– изучение природных условий;

– изучение факторов техногенного воздействия;

– обеспечение рационального и безопасного использования территорий;

– обоснование материалов для территориального планирования, планировки территории и архитектурно-строительного проектирования.

В терминологии инженерно-экологических изысканий введено новое понятие-инженерно-экологическая карта, которая предполагает графически отображать:

А) современное экологическое состояние компонентов окружающей среды;

Б) прогноз его изменения во времени.

При этом две обозначенные позиции соединены союзами и/или.

Методология построения данных карт в СП не представлена и их построение переложено на плечи и знания исполнителя. В результате в отчетах по инженерно-экологическим изысканиям данных карт как не было ранее, так и нет поныне. Это закономерно, так как вопрос разработки научно-методического аппарата инженерно-экологического картографирования является задачей

специальных эколого-геологических исследований. При этом должны быть разработаны:

– принципы инженерно-экологического картирования;
– используемые критерии;
– методы и способы систематизации и интегрирования информации;
– классификация экологических состояний.

Разработанный алгоритм в понятной форме должен быть изложен в нормативном техническом документе. Это необходимо как для взаимопонимания заказчика и исполнителя изысканий, так и для экспертов, рассматривающих представленные отчеты. Отдельным вопросом является проблема масштабирования инженерно-экологических карт. Так для строительства отдельных объектов капитального строительства, площадь которых составляет один и чуть более га, построение подобных карт не имеет смысла. Это связано с количеством точек почвенных наблюдений. В данном случае при необходимости могут быть выстроены только карты радиационной обстановки, которые имеют в основе достаточное количество точек. Несомненно, что при обосновании материалов для территориального планирования, планировки территории и архитектурно-строительного проектирования построение инженерно-экологических карт является обязательной задачей.

В анализируемом СП предлагается пробоотбор для инженерно-экологических изысканий совмещать с инженерно-геологическими точками. Это принципиально неверно, т.к. точки экологических наблюдений должны, в первую очередь, быть ориентированы на неблагоприятные источники воздействий. Последние могут быть как природного, так и техногенного характера. В качестве примера можно привести территории разломных зон, в пределах которых фиксируется целый набор негативных воздействий – от химических эманаций до сейсмических подвижек. В данном случае при территориальном планировании необходимо систему пробоотбора и точек наблюдений ориентировать на основные элементы разломной зоны.

Возможные техногенные воздействия описываются на уровне маршрутных наблюдений. Требования СП предполагают описание близлежащей территории с фиксированием негативных источников. Некоторые изыскательские организации систематизируют данную информацию в виде Паспорта участка изысканий. В нем дается привязка объекта строительства, определяется его местоположение, указывается направление современного использования территории, особенности ландшафта, почв. Здесь же фиксируется техноструктура участка с указанием всех объектов возможного воздействия. Подобный Паспорт является обоснованием для схемы опробования, которая может быть равномерной, ассиметричной, векторной и т.п.

Особой проблемой является строительство на участках с длительно существующими техногенными воздействиями. Широко известен тот факт, что

в настоящее время застраиваются территории бывших промышленных предприятий, полигонов отходов, неудобий. Как правило, и заказчикам, и изыскателям известна предыстория участка строительства. В этом случае очень важной становится проблема детальности изученности территории, что также является обоснованием сети опробования и наблюдений.

Вторым «белым пятном» в изысканиях является прогноз экологической ситуации во времени. Прогнозирование представляет собой достаточно сложную и специфическую сферу научной и практической деятельности. В нормативных технических документах также отсутствует алгоритм прогнозирования. Его проведение предполагает наличие следующей информации:

– оценка экологического состояния территории;

– оценка экологических аспектов эксплуатации и деятельности проектируемого объекта капитального строительства, либо особо опасного объекта;

– выбор метода и проведение прогнозирования: натурные модели, математические, геоинфильтрационные, картографические и т.п.

В настоящее время этот важный заключительный раздел отчетов по инженерным изысканиям представляет собой рассуждения о влиянии техники в процессе строительства, размещении отходов этого же строительства и т.д. Экспертная деятельность в области инженерно-экологических изысканий демонстрирует повсеместное отсутствие обоснованного прогноза влияния объекта строительства на компоненты окружающей среды. В результате цель проведения инженерных изысканий – обеспечение рационального и безопасного использования территорий – не решается. Это же «белое пятно» проецируется далее в проектную документацию в раздел «Охрана окружающей среды», в котором также прилагаются расчеты выбросов в атмосферу строительной техники, размещения отходов и т.п. Отсутствие прогнозных решений обесценивает и рекомендации к мониторингу, основы которого также должны быть приведены в отчетах по инженерным изысканиям.

Несомненно, что обременение дополнительными элементами моделирования и прогнозирования весьма негативно будут встречены в среде изыскателей. На фоне общего секвестрования стоимости изысканий, привлечение специалистов в данных областях окажется для многих просто непосильным. Внесение данного требования в СП по инженерно-экологическим изысканиям должно сопровождаться четким и понятным алгоритмом действий, данный вид работ должен войти в сметную документацию.

Обобщая вышеизложенную информацию, можно сделать следующие выводы:

1. Для проведения инженерно-экологических изысканий необходимо разработать методологию инженерно-экологического картирования с обоснованием используемых принципов и критериев оценки.

Обоснование сети опробования и точек наблюдений должно производиться с учетом природных и техногенных факторов негативного воздействия.

2. Для материалов территориального планирования, планировки территории и архитектурно-строительного проектирования проведение инженерно-экологического картирования должно быть обязательным элементом изысканий для обоснования принятия решений по обеспечению рационального и безопасного использования территорий.
3. Прогнозирование развития экологической ситуации должно войти в отдельный раздел СП по инженерно-экологическим изысканиям с детальным обоснованием методов прогнозирования и использования полученных данных в материалах проектирования.

Чернянский С.С.

ООО «Рэмболл Энвайрон Си-Ай-Эс», г. Москва, schernyansky@ramboll.com

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЧВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

В современном российском законодательстве получает все большее распространение понятие «качество жизни», распространяющееся, среди прочего, на комплекс природных условий проживания населения. И, если требования к качеству атмосферного воздуха и питьевой воды определены достаточно четко и регулируются, то качество почв, напротив, остро нуждается в терминологическом и нормативном обеспечении.

Документы, которыми определяются общие направления развития государства и его территорий, рассматривают качество почв в контексте повышения их плодородия (Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Указ Президента РФ от 31.12.2015 г. № 683), соответствия химического состава нормативным требованиям к уровню загрязнения (Экологическая доктрина Российской Федерации. Утв. Распоряжением Правительства РФ от 31.08.2002 г. № 1225-р), развития методов и технологий обнаружения и прогнозирования опасных свойств (Государственная программа «Охрана окружающей среды» на 2012-2020 годы. Утв. Постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 326).

Рамочное федеральное законодательство России, несмотря на отсутствие в нем закона о почвенном покрове или охране почв, в целом обеспечивает правовые основы для оценки качества рассматриваемого компонента природной среды. В частности, в Земельном кодексе (утв. Федеральным законом от 25.10.2001 № 136-ФЗ в ред. от 29.07.2017 г.) определено содержание качества, охраны и мониторинга земель (ст. 13, 37, 57, 67); в Законе о землеустройстве (от 18.06.2001 г. № 78-ФЗ в ред. от 13.07.2015 г.) содержатся положения об изучении состояния земель (ст. 9) и оценке их качества (ст. 12). Также этот Закон относит материалы почвенных обследований и инженерно-экологических изысканий, оценки качества земель к самостоятельному виду землеустроительной документации; наконец, Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (в ред. от 29.07.2017 г.) «Об охране окружающей среды» предписывает необходимость сохранения почв при проектировании и осуществлении хозяйственной и иной деятельности (Глава VII), а также закладывает основы для ведения Красной книги почв Российской Федерации (ст. 62).

Действительно, несмотря на рекордную почвообеспеченность, территория России остается ареной прогрессирующей деградации почв, некоторые из них полностью утрачивают способность к восстановлению. Между тем, Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН A/68/232 закрепляет международное признание почвенного покрова как основы развития сельского и лесного хозяйства, существования и разнообразия экосистем,

продовольственной и экологической безопасности растущего населения. Недавний 2015-й год был объявлен Международным годом почв, и его научная повестка включала целый ряд важнейших событий мирового почвоведения, в том числе выпуск новой редакции Всемирной хартии почв, одно из положений которой предусматривает создание глобального банка данных о почвенном покрове. Последний, очевидно, может формироваться путем слияния национальных банков данных при условии их базирования на общих принципах и соответствия единым стандартам – понятийно-классификационным, техническим и прочим.

Россия, несмотря на очевидные природные и исторические предпосылки, а также остроту проблем нерационального использования и деградации почв, пока не может служить образцом создания такой информационной системы, хотя научная общественность профильных НИИ и классических университетов активно участвует в обсуждении и реализации международной «почвенной» повестки. Как отметил директор Почвенного института им. В.В. Докучаева акад. А.Л. Иванов, «российская аграрная наука сохранила компетенцию мирового уровня, но индифферентность государства к ней сделала тщетными все попытки технологической модернизации» [2].

Государственный стандарт определяет почву как самостоятельное естественноисторическое органоминеральное природное тело, возникшее на поверхности земли в результате длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов, состоящее из твердых минеральных и органических частиц, воды, воздуха и имеющее специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие для роста и развития растений соответствующие условия (ГОСТ 27593-88 Почвы. Термины и определения). Данное определение в основном соответствует научному представлению о почвах и их совокупности – почвенном покрове, – которое формировалось в течение 150 последних лет при ведущей роли отечественной школы почвоведения.

Согласно Государственным докладам о состоянии и использовании земель в Российской Федерации, в течение последних десятилетий происходит устойчивый прирост доли нарушенных земель, требующих восстановления. Во многом это обусловлено кризисной ситуацией, сложившейся в области нормативно-правового обеспечения инженерных изысканий и другой деятельности, связанной с изучением, оценкой, использованием, охраной и мониторингом почвенного покрова.

Основным источником требований к почвенным исследованиям в составе инженерно-экологических изысканий являются положения актуализированного свода правил СП 47.13330.2016: п. 8.1.4 – в части исследования и оценки загрязнения почв, а также сбора материалов предшествующих исследований о состоянии почвенного покрова, п. 8.1.11 – в части почвенных картографических материалов как необходимого элемента графической части отчета. Одним из нововведений 2017 года можно считать определенный в п. 8.1.7 срок давности

для использования материалов инженерно-экологических изысканий прошлых лет: для почвенных условий он принят наибольшим – 5 лет при изучении незастроенных (неосвоенных) территорий и 3 года – для застроенных (освоенных).

Необходимую детализацию положений, касающихся изучения почвенного покрова, на данный момент обеспечивает устаревший СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания в строительстве. С его анонсированным обновлением связывают надежды на терминологический и нормативный прогресс в рассматриваемой сфере с учетом развития науки о почвах в России и за ее пределами, современной практики российского и мирового землепользования.

Так, в 2011–2014 гг. в России увидело свет сразу несколько крупных обобщений, формирующих информационную основу для изучения, инвентаризации, мониторинга почвенных ресурсов: Национальный атлас почв [7], Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации [3], Единый государственный реестр почвенных ресурсов [1]. В дополнение к этому на базе Почвенного института им. В.В. Докучаева создается федеральный архив почвенных карт. Всё перечисленное пока существует в научной реальности без законодательно оформленного перехода в практику инженерно-экологических изысканий. Последний осложняется нижеследующими основными проблемами.

Во-первых, необходимы разработка и утверждение единой терминологии в области почвоведения и смежных прикладных направлений деятельности – инженерных изысканий, рекультивации земель, почвенно-геохимического мониторинга и т.д. На данный момент официальными источниками терминов в этой сфере являются федеральные стандарты, содержание которых не гармонизировано. В частности, ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация дает весьма узкое (по сравнению с вышеприведенным) определение почвы как поверхностного слоя дисперсного грунта, состоящего из неорганических и органических веществ и обладающего плодородием. Региональное законодательство еще более усиливает терминологическую запутанность федерального. Так, в Законе г. Москвы «О городских почвах» (№ 31 от 04.07.2007 г.) почва рассматривается как «поверхностный слой земли, состоящий из минеральных и органических веществ, воды, воздуха, почвенных организмов, продуктов их жизнедеятельности, являющийся средой обитания растений, животных и микроорганизмов, а также выполняющий экологические функции». В отличие от вышеприведенных определений, здесь сделан акцент на экологических функциях почв, поддержание которых в условиях городской среды является одной из основных задач принятого закона.

Один из основных признаков почвы – ее вертикальная стратификация на генетические горизонты – также остро нуждается в принятии единой терминологии. Так, Земельный кодекс РФ (ст. 13) оперирует понятием «почвенный слой», по смыслу синонимичным понятию «почва» или «почвенный покров». В ГОСТ 21.302-96 Система проектной документации для

строительства (СПДС). Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям мы встречаем уже «почвенно-растительный слой» – этим термином определяется один из характерных инженерно-геологических элементов. Важнейшее в контексте рекультивации почв понятие – плодородный слой почвы (ПСП) – определяется в ГОСТ 17.5.3.05-84 Охрана природы (ССОП). Рекультивация земель. Общие требования к землеванию как горизонт, характеризующийся активным плодородием и отвечающий перечисленным в стандарте количественным критериям. Близкими синонимами ПСП можно считать «гумусированные горизонты почвы» (ГОСТ 17.5.1.03-86[3]) и «почвогрунт» в терминологии Закона города Москвы «О городских почвах». Последнее противоречит определению и классификационным критериям почвогрунтов, заложенным в Классификации и диагностике почв СССР [5]; в новой классификации почв [4] для них уже используется термин «техногенные поверхностные образования» с подразделением на реплантоземы, урбиквазиземы и литостраты.

Во-вторых, единая терминология в области изучения, использования и охраны почвенного покрова может и должна быть принята в рамках единой официально утвержденной национальной классификации почв, которой в настоящее время не существует. Классификация 1977 года [5] фактически используется изыскателями и землепользователями, но она не распространяется на всю территорию России и не в полной мере соответствует современным требованиям практики инженерных изысканий, рекультивации и мониторинга почв, почвоохранной проблематике. Разработка новой системы, начавшаяся в 1980–81 годах, не завершена до сих пор; редакция этой классификации, выпущенная Почвенным институтом им. В.В. Докучаева в 2004 г. [4], и разработанный на ее основе полевой определитель почв [9] находят ограниченное применение (главным образом, по инициативе крупных компаний-застройщиков и отдельных специалистов-изыскателей) и часто используется параллельно с системой 1977 г. для обеспечения терминологической преемственности фондовых и вновь полученных данных о состоянии почвенного покрова. Анализ публикаций журнала «Почвоведение» и других профильных периодических изданий последних лет показывает, что исследователи почв черноземной и каштановой зон, других земледельчески освоенных территорий чаще используют классификацию 1977 г., тогда как почвы речных долин, Российского Севера и застроенных территорий удобнее классифицировать, используя систему 2004–2008 гг.

Практические требования к классификации почв вытекают непосредственно из тех оснований, по которым выполняются инженерные изыскания почвенного покрова:

1) отчуждение/отвод земель (например, для строительства);

[3] ГОСТ 17.5.1.03-86. Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель

2) проектирование хозяйственной деятельности, предполагающей использование почвенного покрова как средства производства (например, сельское или лесное хозяйство);

3) проектирование земляных работ, в том числе предусматривающих передачу или, наоборот, завоз грунтов в зону строительства;

4) создание особо охраняемой природной территории (ООПТ) или рекреационной зоны либо проектирование любой деятельности в границах существующей ООПТ/рекреационной зоны;

5) проектирование работ по рекультивации, благоустройству, озеленению, охране или консервации земель;

6) оценка воздействия проектируемой или осуществляемой хозяйственной деятельности на окружающую природную среду;

7) оценка качества почв земельного участка, уровня их загрязнения, размеров ущерба почвенному покрову и контактирующим средам.

Действующие нормативно-правовые акты, определяющие требования к разрабатываемой почвенной документации материалов инженерных изысканий, недостаточно проработаны именно в части, касающейся изучения и оценки состояния почвенного покрова: содержание пп. 4.14–4.16, 4.18–4.29 свода правил СП 11-102-97 устарело и требует корректировки; санитарные нормы СанПиН 2.1.7.1287-03 в одних случаях избыточны, а в других – неопределенны; гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2511-09, изначально разрабатывавшиеся для почв сельскохозяйственных угодий, остро нуждаются в дополнении новыми элементами и веществами, а также принятии раздельных требований к качеству почв различных функциональных зон – жилых, рекреационных, промышленных, транспортных, ООПТ и др.; требования к отбору проб, заключенные в п. 3.3 ГОСТ 17.4.4.02-84[4] (интервалы 0–5 и 5–20 см), СанПиН 2.1.7.1287-03 (0–20 см), СП 11-102-97 (0–30 см) и других документах, противоречивы и требуют унификации.

Отсутствуют и единые принципы выполнения почвенной съемки. Ряд организаций-заказчиков предписывает изыскателям использование Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования [8]; в других случаях могут использоваться Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель [6]. Чаще всего почвенная съемка выполняется произвольно, без опоры на какие-либо методические разработки, что делает невозможным сопоставление ее результатов с фондовыми данными и дальнейшее использование для создания единой базы данных о состоянии почвенного покрова России.

Между тем потребность в такой базе данных очевидна: на основе единой классификации и с привязкой к системе кадастрового учета земель может быть создана географическая информационная система федерального уровня, в

[4] ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа

структуре которой необходимо присутствие блоков «почвенный покров» и «качество почв», пополняемых по результатам новых изысканий и доступного для всех заинтересованных сторон. Эта же система могла бы являться источником региональных и локальных (для ранее обследованных территорий) фоновых концентраций загрязняющих веществ в почвенном покрове. Согласно постановлению Правительства РФ от 9 августа 2013 г. № 681 «О государственном экологическом мониторинге и о государственном фонде данных государственного экологического мониторинга», в государственный фонд данных войдет информация о результатах наблюдений и оценки состояния и загрязнения почв, собранная на пунктах государственной системы наблюдений. Включение результатов инженерно-экологических изысканий почвенного покрова в государственный фонд данных не предусмотрено.

В настоящее время информация о фоновых концентрациях загрязняющих веществ в почвенном покрове присутствует лишь в некоторых изданиях Государственных докладов о состоянии окружающей природной среды, ряде информационно-методических писем регионального уровня (например, «О контроле грунта, перемещаемого в ходе проведения строительных работ на территории г. Москвы». Письмо ЦГСЭН в г. Москва. № 30-05-239 от 14.06.2002 г.). В отсутствие фоновых концентраций в приведенных источниках принято использовать значения СП 11-102-97, характеризующие почвы основных типов Европейской части РФ, но и данные показатели нуждаются в регулярной (например, один раз в 10 лет) корректировке, без которой все выполняемые расчеты и оценки качества почв становятся неадекватными реальной ситуации. Наконец, наименее изученные почвы обширной Азиатской части РФ были и остаются «белым пятном», не обеспеченным актуальными данными о качестве и уровне деградации.

Крайне важным представляется пересмотр обязательного перечня количественных параметров для оценки качества почв. В существующем виде (СанПиН 2.1.7.1287-03) содержит ряд неопределенностей, осложняющих составление аналитической программы инженерно-экологических изысканий. В частности, для некоторых функциональных зон предписывается необходимость определения в почвах содержания сернистых соединений, детергентов, канцерогенных веществ и радионуклидов. При этом состав соединений однозначно не фиксируется. В сложившейся практике инженерно-экологических изысканий принято из числа канцерогенов определять содержание лишь одного соединения – бенз(а)пирена, а в составе радионуклидов – изотопы цезия-137, радия-226, тория-232 и калия-40. Поскольку анализ проб почв и грунтов выполняется по утвержденным методикам, необходимо гармонизировать и стандартные, и расширенные перечни показателей качества почв именно с содержанием аналитических методик, аттестованных для применения в РФ.

Цитированные выше нормативные документы наполняют отчеты по инженерно-экологическим изысканиям и материалы оценок воздействия на

окружающую среду (ОВОС) не только неоднозначной терминологией («чистая категория загрязнения», «слой чистого грунта», «сельскохозяйственные почвы загрязненных территорий», «почвы населенных мест» и т.п.), но и мнимыми оценками качества почв, основанными, в частности, на расчете значений суммарного показателя загрязнения Zc, который включен в так называемый стандартный перечень химических показателей п. 6.4 СанПиН 2.1.7.1287-03.

Согласно п. 6.10 тех же СанПиН, все исследования по оценке качества почвы должны проводиться в лабораториях, аккредитованных в установленном порядке. Большинство лабораторий при анализе проб почв ограничивается строгим следованием определенной методике без учета специфики вещественного состава почвенной массы. В результате в протоколах, имеющих юридическую силу, может содержаться информация о качестве почв, не соответствующая действительности. Наиболее распространенный пример – высокий мнимый уровень содержания нефтепродуктов и фенолов в пробах органогенных горизонтов почв, обусловленный аналитическим сигналом природных битуминозных веществ торфа, перегноя и растительных остатков. Для решения этой проблемы необходимы корректировка методик анализа почв и дополнительная подготовка специалистов, занятых в химическом анализе и интерпретации его результатов: каждая проба почвы – это сложная четырехфазная субстанция, работа с которой требует высокой квалификации аналитика.

При столь необходимом пересмотре санитарно-гигиенических нормативов качества почв представляется перспективным рассмотрение накопленного в данной сфере международного опыта. Ранее (СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства) законодатель уже допускал в определенных случаях использование в России так называемых «Голландских списков» – принятого в Нидерландах набора количественных параметров почв, разделенных на три категории – фоновые, целевые и уровни вмешательства. Перспективным для внедрения в российских условиях представляется также опыт Финляндии, где требования к качеству почв зависят от условий землепользования. Принятая во Франции система нормирования учитывает не только условия использования почв, но также их свойства, происхождение, приуроченность к естественным геохимическим аномалиям и ряд других факторов. Наконец, в практике инженерных изысканий Великобритании закреплено использование природоохранных стандартов качества почв и привязанных к ним методик оценки экологического риска, обусловленного загрязнением.

В свете изложенного, современная практика выполнения почвенных исследований в рамках комплексных инженерно-экологических изысканий сталкивается с проблемами неполноты и противоречивости нормативно-правового (в том числе классификационно-терминологического) обеспечения, отсутствия в рамках единой системы государственного экологического мониторинга общедоступного информационного блока «почвенный покров»,

который служил бы источником официальных данных о почвах и пополнялся бы результатами новых инженерно-экологических изысканий (по аналогии с данными по водным объектам и качеству атмосферного воздуха).

Решение этих проблем и систематизация выполняемых в стране изысканий в части изучения почвенного покрова позволит добиться прогресса в ряде смежных прикладных вопросов, ожидающих своего решения, в частности – в разработке единых принципов рекультивации нарушенных земель и их утверждении в формате технических условий, привязанных к земельному кадастру. На организационном уровне для успешной реализации всего перечисленного крайне желательным представляется создание единой федеральной почвенной (или земельной, по предложению акад. А.Л. Иванова [2]) службы, которая объединила бы усилия профильных научных организаций и существующей сети агрохимических, лесомелиоративных, учебных и опытных станций России. Наряду с Минсельхозом, в создании и функционировании такой службы должны участвовать Росреестр и Министерство природных ресурсов.

Список литературы

1. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2014. 768 с.
2. Иванов А.Л. Состояние, рациональное использование и охрана земельных (почвенных) ресурсов Российской Федерации // Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование: материалы первой Всероссийской открытой конференции. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. Электронная публикация на официальном интернет-сайте Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева по адресу http://www.esoil.ru.
3. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1:2 500 000. М.: Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, 2013.
4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
6. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. М.: Комитет РФ по земельным ресурсам и землеустройству, 1995.
7. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, 2011. 631 с.
8. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1973. 48 с.
9. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

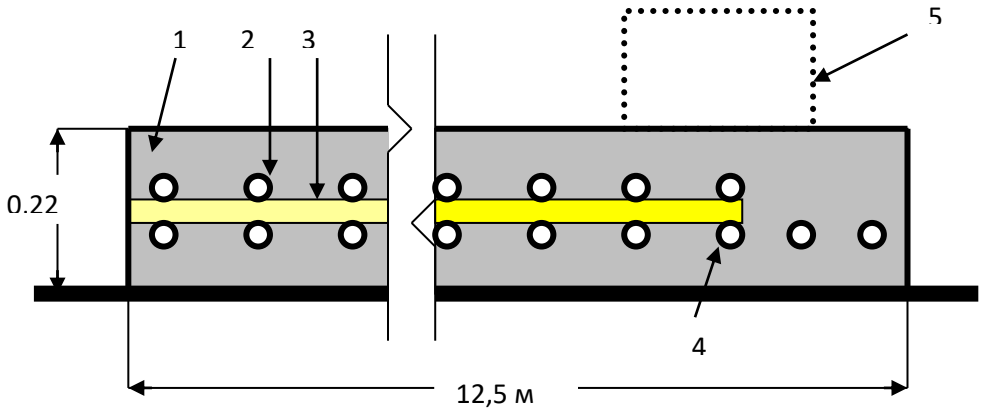
Хилимонюк В.З., Хрусталев Л.Н.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геокриологии,
г. Москва, vanda@geol.msu.ru, lev_kh@rambler.ru

ПОВЕРХНОСТНЫЙ ФУНДАМЕНТ ДЛЯ ОДНОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Рассматривается новая конструкция поверхностного фундамента со встроенными контурами теплового насоса (ТН) для зданий вахтовых поселков, расположенных на многолетнемерзлых грунтах сливающегося типа.

1. Поверхностный фундамент, в состав которого входят греющий и охлаждающий контура теплового насоса, представляет собой железобетонную плиту, состоящую из двух частей (рис. 1). В верхней части находится змеевик греющего контура теплового насоса, в нижней – охлаждающего контура. Между контурами имеется теплоизолятор. Контура заполнены жидкостью, верхний – водой с положительной температурой; нижний – рассолом с отрицательной температурой. Верхний змеевик обеспечивает обогрев пола первого этажа здания, нижний – искусственное охлаждение основания. При этом змеевик охлаждающего контура заходит за наружную стену здания на два витка, этим исключается оттаивание грунта основания под краем здания в летнее время. Описанный фундамент одновременно выполняет три функции: первая передает нагрузку от здания на основание; вторая понижает (стабилизирует) температуру многолетнемерзлого грунта в основании здания и тем увеличивает надежность основания, третья поддерживает необходимую положительную температуру воздуха в помещениях здания.



Условные обозначения
1 – железобетонный корпус фундамента;
2 – змеевик греющего контура ТН;
3 – теплоизолятор (пеноплекс);
4 – змеевик охлаждающего контура ТН;
5 – место расположения наружной стены здания

Рис. 1. Продольный разрез фундаментного модуля

2. Фундамент состоит из отдельных блоков, которые на стройплощадке стыкуются между собой с помощью закладных деталей на сварке и подсоединяются к тепловому насосу параллельно. При параллельном подсоединении блоков гидравлические потери в контурах минимальны.

3. Фундамент устанавливается на многолетнемерзлый грунт во второй половине зимы после промерзания слоя сезонного оттаивания. Торцевые стороны фундамента обваловываются местным грунтом. К фундаменту подсоединяется тепловой насос, который работает постоянно и круглогодично обеспечивает отопление здания и искусственное охлаждение его основания.

4. Фундамент под одноэтажное здание испытывает незначительные нагрузки от веса здания, оборудования и людей. При этом фундаментная плита расположена на практически несжимаемом основании. В силу этого армирование фундамента минимально и определяется только из условий его монтажа и возможных перемещений.

Поверхностный фундамент, совмещенный с тепловым насосом, имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с широко применяемым в криолитозоне свайным фундаментом:

– одновременно выполняет три функции: передает нагрузку от здания на основание; понижает температуру многолетнемерзлого грунта в основании; поддерживает необходимую положительную температуру воздуха в помещениях здания;

– его надежность не зависит от климатических условий;

– имеет высокую сборность и меньшие капитальные и текущие затраты;

– сокращает сроки строительства.

Предлагаемая конструкция поверхностного фундамента прошла государственную экспертизу и в 2016 году коллективом авторов (в том числе авторов публикации) получен патент на изобретение.

Широкое внедрение предлагаемого поверхностного фундамента в практику явится новым шагом технического прогресса в Арктике.

Список литературы

1. Хрусталев Л.Н., Хилимонюк В.З., Перльштейн Г.З., Каманин Д.В. Поверхностный фундамент сооружения, обеспечивающий сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии с одновременным обогревом сооружения. Патент № 2583025. Бюл. № 12. 2016.

Самарцев В.Н.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии,
г. Москва, vnsamartsev@gmail.com

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЛОЖЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОДОПРИТОКОВ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

Достаточно распространенная задача, возникающая при проведении инженерных изысканий, – прогноз водопритока в котлован, который сформируется в период строительства сооружения. При этом инженерно-геологические изыскания проводятся на ограниченной площади, приуроченной к проектируемому сооружений. Часто данных недостаточно для того, чтобы достоверно определить структуру потока подземных вод на участке изысканий.

Возможным вариантом решения этой проблемы является построение геофильтрационной модели большего размера, включающей в себя естественные гидродинамические границы, такие как реки, водоразделы и прочие. При этом может возникнуть несоответствие масштабов. Размер участка инженерных изысканий может составлять десятки и сотни метров, тогда как для построения модели в естественных границах может понадобиться охватить область размером в километры и в десятки километров.

В настоящее время разработаны методы построения геофильтрационных моделей на нерегулярных сетках, реализованные, например, в программах MODFLOW-6 и FEFLOW. При использовании нерегулярных модельных сеток возможно в пределах одной модели совместить необходимую детальность расчетов на участке инженерных изысканий, и обеспечить размер области моделирования, достаточный для учета естественных гидродинамических границ. Однако в практике изысканий эти методы практически не применяются в связи с некоторыми проблемами. Создание нерегулярных сеток реализовано еще не во всех распространенных программных интерфейсах для моделирования. В коммерческих программах еще не реализованы методы решения геомиграционных задач на нерегулярных сетках. Переход на новые методы моделирования требует дополнительных затрат на покупку лицензий необходимых программных продуктов.

По этим и другим причинам, при необходимости проведения математического моделирования в практике изысканий преобладает применение версий программы MODFLOW, использующих регулярную сеточную разбивку. В этом случае для совмещения разномасштабных решений используется система вложенных моделей.

Сначала, прогнозные расчеты производятся при помощи региональной модели, на которой корректно учитываются региональные условия потока в виде заданных внешних и внутренних границ. Для расчетов на сетке с меньшим шагом создается модель-врезка. Взаимодействие моделей происходит через начальные условия, единые в области модели-врезки для обеих моделей, и

граничные условия для модели-врезки. Эти граничные условия задаются по результатам моделирования на региональной модели на каждый расчетный отрезок времени всего расчетного периода. При этом из решения, полученного в блоках региональной модели, в граничных блоках модели-врезки генерируются путем интерполяции граничные условия с заданным на данный расчетный период времени напором. Затем на промежуточной модели рассчитываются с повышенной детальностью напоры подземных вод в ее пределах. Таким образом, региональные гидродинамические границы в локальной модели учитываются посредством расчета напоров, которые должны сформироваться на ее периметре.

Описанная методика использована для прогнозного расчета водопритока в проектируемые шахтные стволы на двух участках в Воронежской области. Для оценки области влияния горных выработок и учета гидродинамических границ требуется модель больших размеров. Региональная модель, описывает территорию размером примерно 65×70 км. Шаг сетки одинаков по двум осям и составляет 500 м. Желаемый размер блока сетки для детальной модели составляет 10×10 м. Переход размера модельных блоков в 50 раз приведет к значительному увеличению погрешности вычислений, поэтому для перехода от региональной модели к детальной была также создана промежуточная.

Геофильтрационная схематизация проведена на основе отчета о геологическом и гидрогеологическом доизучении на площади листа М-37-XII [1]. Для учета геофильтрационной неоднородности непосредственно в пределах участков были проведены опытные кустовые откачки. На участке работ мощность осадочного чехла невелика, кровля кристаллического фундамента залегает на глубине 200–300 м. Это приводит к тому, что во всех водоносных горизонтах и комплексах гидрогеологического разреза на большей части территории работ формируется зона активного водообмена. Осадочный чехол сложен терригенными и карбонатными отложениями. Геологический разрез схематизирован 5 модельными слоями. По результатам бурения породы фундамента приняты непроницаемыми, но в кровле фундамента существует слабоводоносная зона экзогенной трещиноватости, которая включена в нижний модельный слой. Таким образом, построенная модель описывает региональный поток подземных вод всей зоны активного водообмена на участке работ и позволяет воспроизвести существующую структуру потока.

Перед проведением прогнозных расчетов региональная модель была откалибрована по известным замерам уровней подземных вод, приведенным в отчете [1]. С использованием откалиброванных параметров был проведен прогнозный расчет влияния водоотлива из шахтного ствола. На основании расчетных напоров из региональной модели были сделаны модели-врезки, на которых был произведен детальный расчет изменения напоров вблизи шахтного ствола и оценен водоприток из разных интервалов разреза. При единовременном вскрытии всего разреза без гидравлической изоляции вскрытых интервалов осадочного чехла водоприток в шахту будет достигать

18 000 м^3/сут. Суммарный водоприток уменьшается во времени, однако и через 25 лет работы шахты без изоляции вскрытых интервалов он будет составлять около 13 000 м^3/сут. При этом образуется региональная воронка депрессии как уровня грунтовых вод, так и напорных горизонтов, радиус которой может достигать 15 км. Поэтому проектируется ступенчатое вскрытие разреза с гидравлической изоляцией пройденных интервалов. При этом максимальный водоприток до проведения изоляции составит 5 300 м^3/сут.

Список литературы

1. Рыборак В.М., Шокурова В.П., Касатов А.С. и др. Отчет о проведении геологического, гидрогеологического и инженерно-геологического доизучения масштаба 1:200 000 с эколого-геологическими исследованиями на площади листа М-37-XII (Новохоперск). Воронеж, 1999.

Куликов С.Н.

ОАО «АМИГЭ», г. Мурманск, sergey.kulikov@amige.ru

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПЕНЕТРАЦИИ ОПОР СПБУ

В основе методик, связанных с определением максимальной глубины погружения в грунт опор самоподъёмных передвижных буровых установок (СПБУ) лежит решение плоской задачи предельного равновесия грунтов.

Принято считать, что первым в 1921 году решение плоской задачи предложил немецкий механик и инженер Людвиг Прандтль [11] (L. Prandtl, 1921), однако, в том же году механиком Рони Хиллом (R. Hill, 1921) было показано, что данная задача имеет не одно решение.

В дальнейшем решением задачи предельного равновесия грунтов занимались многие исследователи. Наибольшую известность получили методики, приведенные в работах: H. Reissner (1924); K. Terzaghi (1943); G.G. Meyerhof (1951); A.W. Skempton (1951); D.C. Drucker (1952); J.B. Hansen (1970); A. Vesic (1975).

Среди отечественных ученых в основе лежат работы В.В. Соколовского (1942) и В.Г. Березанцева (1952). Разработке статического решения были также посвящены работы В.И. Новоторцева (1938); С.С. Голушкевича (1948); А.С. Строганова (1968); Ю.И. Соловьева (1969); А.М. Караулова (1982); Л.Р. Ставницера (1984); А.И. Калаева (1990); М.В. Малышева (1991); А.К. Черникова (1997) и др.

Решениям задачи предельного равновесия в настоящие годы посвящены работы: В.Г. Федоровского (1998, 2005); А.М. Караулова (2002); К.В. Королева (2003, 2010); C.M. Martin (2003, 2004); S.W. Sloan (2002, 2005).

Применительно к решению нашей задачи, сейчас в большинстве как зарубежных, так и отечественных стандартизированных методик расчета в основе лежит трехчленное уравнение предельного равновесия, предложенное K. Terzaghi (1943) [15]:

$$p_u = N_c c + N_q q + \frac{1}{2} N_\gamma b \gamma \,. \qquad (1)$$

В отечественной практике вертикальную составляющую силы предельного сопротивления основания (N_u), сложенного нескальными грунтами определяют по формуле:

$$N_u = bl(N_\gamma \xi_\lambda b \gamma_I + N_q \xi_q \gamma_I' d + N_c \xi_c c_I) \,. \qquad (2)$$

В данном уравнении коэффициенты несущей способности: N_c, N_q и N_γ зависят от значения угла внутреннего трения и, в отечественных нормативах, определяются по следующим уравнениям [5]:

$$N_q = \mathrm{tg}^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)e^{\pi tg\phi} \text{ (Prandtl, 1921, Reissner, 1924, Meyerhof, 1963),} \quad (3)$$

$$N_c = \left(N_q - 1\right)/tg\varphi \text{ (Prandtl, 1921, Reissner, 1924, Meyerhof, 1963),} \quad (4)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{4}\left\{\frac{\cos\alpha_1\left[\mathrm{cosec}\,\varphi - M_0E^2\left(\mathrm{ctg}\,\varphi + a\right)\right]}{R} + 2\frac{\cos^2\lambda}{\cos\varphi} - M_0\right\}. \quad (5)$$

Первые два коэффициента N_c, N_q, определенные L. Prandtl и H. Reissner [11, 12] ещё в начале прошлого века, практически в неизменном виде используются и в настоящее время.

Наиболее проблематичным остается коэффициент N_γ, учитывающий собственный вес грунта. При расчетах пенетрации опор СПБУ автор с коллегами использует вышеприведенное уравнение (5), которое описывает условия, когда угол наклона равнодействующей внешней нагрузки на основание (δ) к вертикали равен 0 [3]. Для самоподъёмных платформ это справедливо, т.к. отвечает условиям эксплуатации данного сооружения [4]. Кроме этого расчеты, выполненные с использованием данного уравнения, показывают высокую сходимость с фактическими данными пенетрации опор СПБУ [2]. Особенно это касается кварцевых и кварц-полевошпатовых пылеватых песков, для которых обычно все другие методики дают завышенные значения несущей способности.

В странах Европы в методике документа Eurocode 7 [8] данный коэффициент предлагается определять по формуле (6):

$$N_\gamma = 2\left(N_q - 1\right)/tg\varphi\,. \quad (6)$$

В США в стандарте SNAME-5-5/5-5A [14] используется уравнение (7):

$$N_\gamma = 1.5\left(N_q - 1\right)/tg\varphi \text{ (Vesic, 1973)} \quad (7)$$

В современных отечественных разработках (К.В. Королев и др., 2010) [1], предлагается использовать для определения коэффициента N_γ, формулу, полученную в результате аппроксимации численного решения уравнений предельного равновесия (8):

$$N_\gamma = 1.66tg\varphi e^{4.66tg^{1.09}\varphi}. \quad (8)$$

Полученные по различным методикам значения коэффициента N_γ и страны в которых они используются, приведены на рисунке.

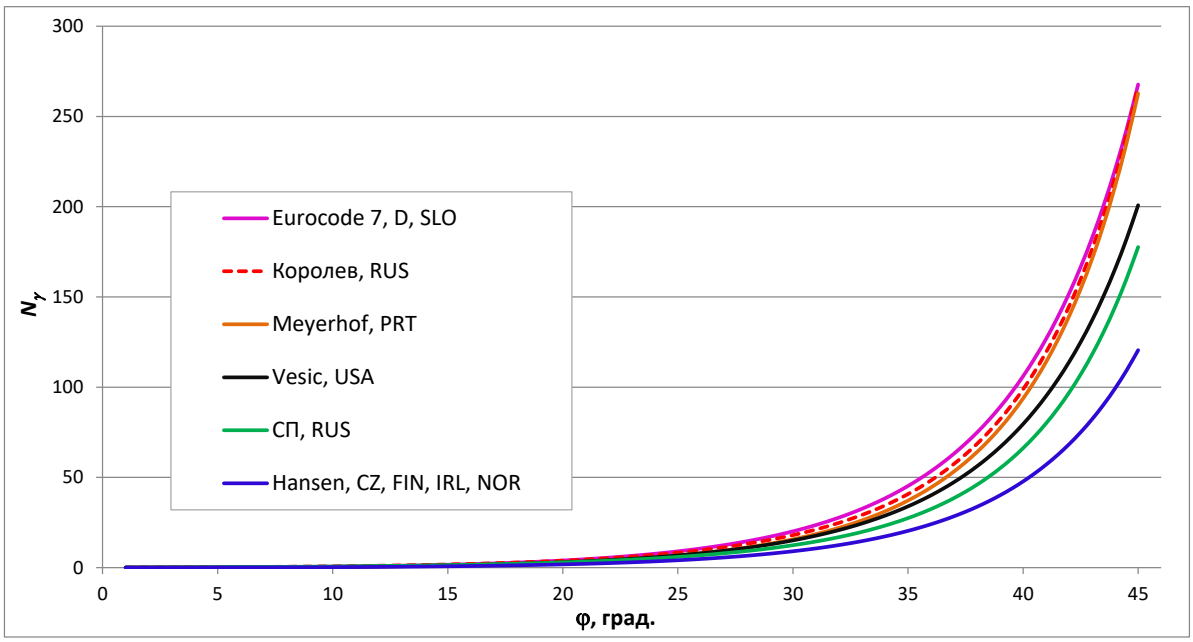


Рис. Коэффициент несущей способности N_γ рассчитанный по различным методикам

На приведенном графике (см. рис.) видно, что на участке со значениями угла внутреннего трения 30–45°, кривые N_γ значительно расходятся. При этом самые высокие значения показывают формулы: Eurocode 7 и предлагаемая К.В. Королевым и G.G. Meyerhof. Самые низкие значения: уравнение J.B. Hansen, которое используют в основном страны северной Европы. Немного выше значения, определенные по нормативам РФ. Среднее положение занимает функция A. Vesic, применяемая в США.

Применительно к расчетам пенетрации опор СПБУ завышенное значение N_γ может приводить к неверным расчетам глубины погружения опор в кварцевых и кварц-полевошпатовых пылеватых песках. Значение угла внутреннего трения данных грунтов расположено в интервале 30–40°, именно здесь наблюдаются расхождения в значениях коэффициента N_γ на графике (см. рис.). Несмотря на то, что применяемая в США методика SNAME-5-5/5-5A, основанная на уравнении A. Vesic, дает значения N_γ ниже, чем, например, Eurocode 7, тем не менее, расхождения были отмечены и здесь. В прошлой редакции документа SNAME, ошибки, связанные с этим явлением, называют «scale effects» и предлагают для песков снижать полученный в лаборатории угол внутреннего трения на 5° [14].

С целью более детального анализа данных расхождений и влияния коэффициента N_γ были проведены расчеты для двух типов разрезов: песчаного и пылевато-глинистого. По результатам проведенного анализа расчетных и фактических заглублений опор СПБУ было установлено следующее:

1. Применение различных методик расчета коэффициента N_γ не влияет на данные, получаемые для пылевато-глинистых грунтов с углом внутреннего трения до 30 град.

2. Пылеватые пески кварцевого и кварц-полевошпатового состава со значениями угла внутреннего трения в интервале 30-40 град., при определении коэффициента N_γ по методикам SNAME и Eurocode 7, показывают заглубления ниже фактических.
3. Применение в расчетных схемах коэффициента N_γ, определенного по методикам СП и J.B. Hansen показывают высокое соответствие расчетных и фактических величин заглубления опор СПБУ.

Список литературы

1. Королев К.В. Плоская задача теории предельного равновесия грунтов. Новосибирск: Издательство СГУПСа, 2010. 250 с.
2. Куликов С.Н. Проблемы расчета несущей способности грунтового основания и пенетрации опор при постановке самоподъемной передвижной буровой установки на точку бурения // Инженерные изыскания в строительстве: материалы Двенадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций. М.: ООО «Геомаркетинг», 2016. С. 604–611.
3. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др., под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова // Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1986. 480 с.
4. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям для самоподъёмных плавучих буровых установок. (Научно-техническое сотрудничество стран – членов СЭВ.) Рига: ВНИИморгео, 1988. 87 с.
5. СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений».
6. СП 23.13330.2011 «СНиП 2.02.02-85 Основания гидротехнических сооружений».
7. Brinch Hansen J. A general formula for bearing capacity // Geotekn. Inst. Bull. Copengagen, 1961. № 11. P.11–15.
8. EUROCODE 7. Calcul GeÂotechnique. AFNOR, XPENV 1997-1, 1996.
9. Hansen J.B. A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. Copenhagen: Danish Geotechnical Institute, 1970. Bulletin № 28.
10. Meyerhof G.G. Some recent research on the bearing capacity of foundations. Canadian Geotechnical Journal. 1963. № 1. P. 16–26.
11. Prandtl L. Uber die Eindringungs-festigkeit (Harte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden // Zeitschrift furAngewandte Mathematik und Mechanik. 1921. № 1. P. 15–20.
12. Reissner H. Zum Erddruckproblem // Proc. First Congr. Appl. Mech. / C.B. Biezend, J.M. Burgers (eds.). 1924. P. 295–311.
13. Skempton A.W. The Bearing Capacity of Clays // Proc. Building Research Congress. 1951. P. 180–189.

14. SNAME-5-5/5-5A Recommended Practice for Site Specific Assessment of Mobile Jack-Up Units. ABS Americas. 2007.
15. Terzaghi K. Theoretical Soil Mechanics. New York: John Wiley & Sons, 1943.
16. Vesic A. Analysis of ultimate loads of shallow foundations // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE. 1973. Vol. 99. № SM1. P. 45–73.

Кудаев А.А.[1], Ахманов Г.Г.[1], Хлыстов О.М.[2], Корост Д.В.[1,3]

[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, г. Москва, a.a.kudaev@gmail.com;
[2]Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск;
[3]ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва

ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ГРУНТОВ В ЗОНАХ ФОКУСИРОВАННОЙ РАЗГРУЗКИ УГЛЕВОДОРОДОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Озеро Байкал, несмотря на свои небольшие размеры, по сравнению с площадью шельфа любого из Арктических морей (31 722 км^2 – озеро Байкал, 460 000 км^2 – море Лаптевых [3]), является довольно удобным полигоном для исследований многих современных геологических процессов, встречающихся на дне акваторий. Для донных отложений озера Байкал характерны такие процессы, как флюидоразгрузка в водную толщу, выраженная сипами, грязевыми вулканами и скоплениями придонных газовых гидратов; оползневыми процессами, которые, отчасти, связаны с высоким содержанием растворенного газа в грунтах.

Проявления углеводородов на водной поверхности озера Байкал известны еще с древних времен, однако изучение донных отложений озера началось в 80-е годы прошлого столетия, а уже в 1997 году глубоководным бурением в толще осадков были обнаружены газовые гидраты [2], что подтвердило возможность не только генерации, но и скопления газа в осадочном бассейне.

Экспедиция Class@Baikal, организованная МГУ им. М.В. Ломоносова совместно с Лимнологическим институтом (ЛИН) СО РАН, под эгидой международной программы Training-Through-Research, в 2014 году начала исследования современных приповерхностных (первые 5 м) отложений озера и на протяжении четырех экспедиций (2014–2017 гг.) накапливала геофизический (профили гидролокатора бокового обзора (ГЛБО), профилографа) и литологический (в том числе геохимический) материал.

Инженерно-геологические исследования представлены двумя методами: пенетрацией грунта и испытанием на сдвиг лопастным прибором – крыльчаткой. Помимо этого, отбирались образцы для лабораторного определения влажности и плотности грунта.

Методика исследований

Экспедиции проходили на научно-исследовательском судне «Г.Ю. Верещагин», принадлежащем флоту ЛИН СО РАН. На судне установлены выносная стрела и лебедка, при помощи которых осуществлялся донный пробоотбор гравитационными трубками длиной 3 и 5 м. Поднятые на борт судна образцы грунта фотографировались, получали литологическое и, в некоторых случаях, инженерно-геологическое описание, измерялись на

прочностные свойства, оперативно отбирались пробы на дегазацию и прочие анализы.

Определение прочностных свойств глинистых грунтов выполнялось при помощи микропенетрометра и микрокрыльчатки со сменными зондами. Данные измерения позволили определить сопротивление недренированному сдвигу, прочностные характеристики связного грунта.

Отбор проб на растворенный в осадке газ производился каждые 30 см колонки. Образцы дегазировались методом Head-space с дальнейшим консервированием в растворе хлорида натрия.

Часть грунтовых монолитов, упакованных и транспортированных в лаборатории МГУ им. М.В. Ломоносова, были изучены методом компьютерной томографии.

Объекты исследований

Наибольший интерес с точки зрения инженерной геологии представляют объекты дна озера, геоморфологически выраженные пологими склонами либо связанные с флюидоразгрузкой и скоплениями приповерхностных гидратов (рис.).

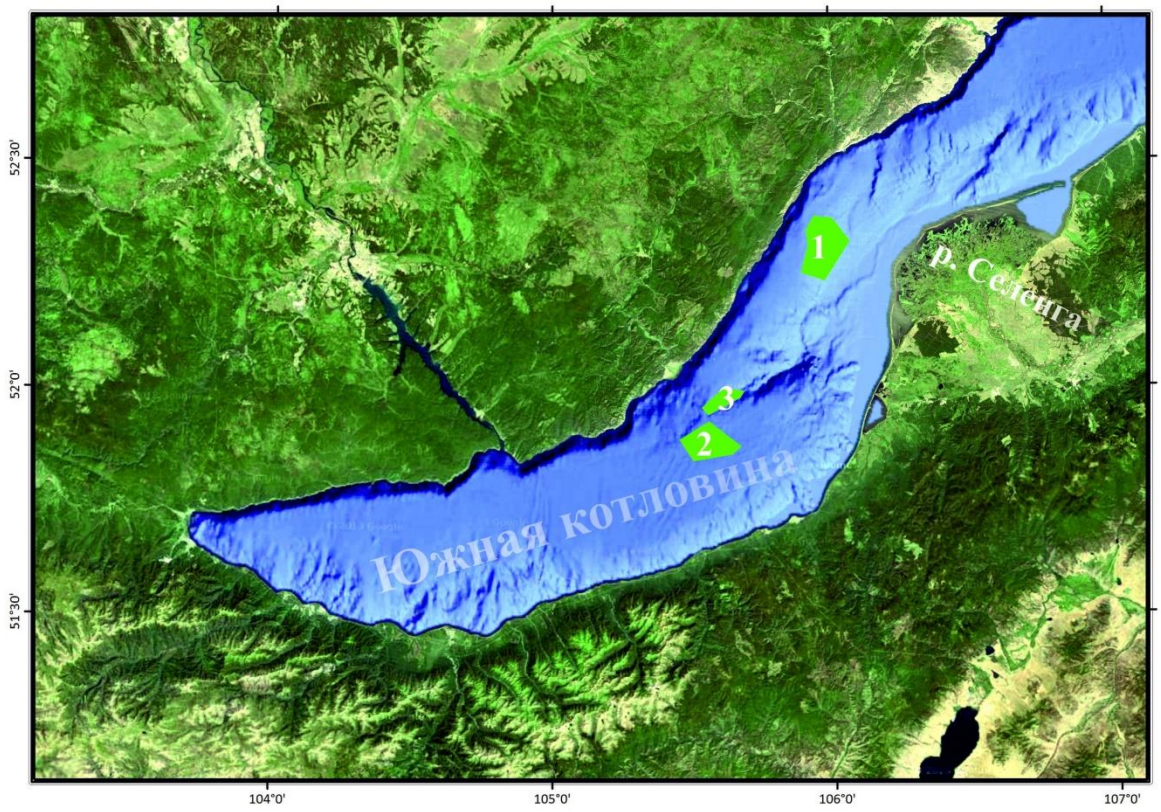


Рис. Карта района работ экспедиции. Цифрами обозначены полигоны: 1 – сип Красный Яр, 2 – грязевой вулкан Большой, 3 – сип Голоустное

Сип Красный Яр представлен скоплением приповерхностных газовых гидратов, которое идентифицируется по аномалиям высокого обратного рассеивания на сонограммах ГЛБО. Установлено, что газовые гидраты встречаются исключительно в контурах участков с высоким обратным рассеиванием [1]. Разрез отложений представлен в верхней части (до 1,5 м) илом суглинистым, алевритистым, залегающем на глинах (до 4 м), с редкими прослоями алевритов, жирных, консистенцией от текучей до тугопластичной. Для разреза характерно постепенное увеличение значений прочности грунта с глубиной (2–17 КПа).

В ходе экспедиции Class@Baikal-2017 в районе сипа Красный Яр были опробованы грунты, которые вмещают газовые гидраты. Провести полевые замеры крыльчаткой и пенетрометром в запланированных интервалах керна, вмещающих гидраты, не удалось в виду высокой обводненности и вследствие диссоциации гидратных структур. Осадки, перекрывающие гидратоносные интервалы, характеризовались «стандартными» для района исследований значениями прочности. Исключение составляли интервалы, отмеченные текстурами дегазации грунта: мелкими вздутиями на поверхности монолитов – здесь прочность грунта несколько уменьшается (0–5 кПа). Таким интервалам соответствует повышение концентрации растворенного в поровых водах газа.

Район Красного Яра интересен тем, что выше по склону, над сипом, в рельефе дна, представленном склоном авандельты реки Селенги, маркируется по данным батиметрии стенка отрыва оползня. Оползень имеет форму амфитеатра с единственным каналом, по которому осуществляется вынос оползневых отложений. Пробоотбор на полигоне в количестве 30 единиц подтверждает оползневую природу структуры. В строении данного оползня выделяется стенка отрыва, внутренние микрооползни, канал выноса и дистальная часть, по которой, вероятно, развиваются мутьевые потоки.

Грунты нескольких пунктов пробоотбора полигона исследованы на прочностные свойства. Результаты полевых измерений не показали резких отличий в характеристиках между ненарушенными осадками и подвергшимися оползанию. Однако локальное опробование донных грунтов полигона из эрозионного вреза вблизи оползня выявило относительно повышенные прочностные свойства вскрытых плотных глин мягко-тугопластичной консистенции. Обнаружение грунта с отличимыми свойствами позволяет предположить, что подобные донные отложения представляют собой поверхность скольжения оползня.

Помимо района Красный Яр изучены отложения периферии грязевого вулкана Большой и акватория полигона Голоустное, характеризующиеся флюидоразгрузкой донных илов.

В результате экспедиционных работ получены характеристики грунтов в районах флюидоразгрузки, корреляционные зависимости газонасыщенности грунтов, изучены прочностные свойства по разрезу.

Список литературы

1. Геофизические поисковые признаки придонных газовых гидратов озера Байкал: на примере сипа «Красный Яр» / А.В. Хабуев, О.В. Белоусов, Д.А. Ченский, М.А. Соловьева, А.Г. Ченский, Г.Г. Ахманов, О.М. Хлыстов // Труды IV Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)» 19–24 октября 2015 г. Москва: Феория, 2015. С. 381–382.
2. Кузьмин М.И., Калмычков Г.В., Гелетий В.Ф. Первая находка газогидратов в осадочной толще озера Байкал // Доклады РАН. 1998. Т. 362. № 4. С. 541–543.
3. Holmes M.L., Creager Y.S. Holocene history of the Laptev Sea Continental Shelf // Marine Geology and Oceanography of the Arctic Seas. 1974. P. 211–229.