

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЗДОРОВЛЕНИЯ РОССИЙСКИХ РЕК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ



СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

НИЖНИЙ НОВГОРОД
8-14 СЕНТЯБРЯ 2019 ГОДА

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН «ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

МИНИСТЕРСТВО ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЗДОРОВЛЕНИЯ РОССИЙСКИХ РЕК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Всероссийская научная конференция
с международным участием

г. Нижний Новгород, 08-14 сентября 2019 г.

Сборник научных трудов

Москва, 2019

УДК 556.18
ББК 26.222я5
Н 34

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЗДОРОВЛЕНИЯ РОССИЙСКИХ РЕК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.

– Сборник научных трудов.– Москва: Студия Ф1, 2019. – 572 с.

ISBN 978-5-6043268-8-6

В настоящий сборник вошли доклады, представленные на Всероссийскую научную конференцию с международным участием «Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения» (г. Нижний Новгород, 08-14 сентября 2019 г.), организованную Научным советом РАН «Водные ресурсы суши», Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН), Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН) при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Российской академии наук, Федерального агентства водных ресурсов, Министерства экологии и природных ресурсов Нижегородской области.

Редакционная группа:

к.г.н. О.П. Авандеева, д.б.н. Е.Н. Бакаева, Р.И. Бедная, д.г.н. А.П. Демин,
к.ф.-м.н. Ю.Е. Казаков, к.г.н. Калугин, к.г.н. Н.В. Кирпичникова,
к.г.н. М.А. Козлова, к.г.н. И.Н. Крыленко, к.г.н. М.В. Михайлова,
д.г.н. Н.М. Новикова, к.г.н. Е.П. Рец, к.т.н. М.И. Степанова, к.г.н. Т.Б. Фащевская

ISBN 978-5-6043268-8-6

© Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт водных проблем
Российской академии наук, 2019

© Авторы докладов, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	9
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	11
Данилов-Данильян В.И. Национальный приоритетный проект «Оздоровление Волги»: первый шаг к нормализации экологического состояния бассейна великой реки.....	12
Баринов А.Н. История четвертой ступени Волжского каскада и эксплуатация Чебоксарского водохранилища на непроектной отметке	17
Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Самсонов Т.Е., Энтин А.Л., Григорьев В.Ю., Сазонов А.А., Повалишников Е.С., Семин В.Н. Комплексное исследование и картографирование современного водного режима рек Европейской территории России	21
Поздняков Ш.Р., Мартинсон К.Д. Исследование характеристик субмикронных частиц в реках для современного решения проблем их оздоровления	26
Матишов Г.Г., Клещенко А.В., Булышева Н.И., Кренева К.В., Семин В.Л., Глущенко Г.Ю. Современные проблемы развития природно-территориальных систем Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона	30
Беляев С.Д., Прохорова Н.Б. Проблемы целеполагания при государственном планировании водоохранных мероприятий в речных бассейнах	35
Кучмент Л.С. Влияние леса на годовой сток рек.....	40
Добровольский С.Г., Истомина М.Н., Лебедева И.П., Соломонова И.В. Основные регионы засух и наводнений мира: природные параметры, характеристики ущербов, особенности динамики, идентификация с помощью индекса SPEI	46
Веницианов Е.В. Правовые и экономические проблемы регулирования качества природных вод	52
Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Сидорова М.В., Ясинский С.В. Анализ антропогенного воздействия на водные ресурсы и эффективности их использования в России и мире	56
Гусев Е.М., Насонова О.Н., Ковалев Е.Э., Айзель Г.В. Расчеты стока и его естественной неопределенности для речных бассейнов, расположенных в различных регионах земного шара	62
Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Трофимчук М.М., Решетняк О.С., Мягкова К.Г., Власов К.Г. Среднегодовое формирование химического состава и качество вод бассейна Волги	68
Болгов М.В., Коробкина Е.А., Филиппова И.А. Учет климатических изменений стока на основе байесовского подхода	74
Меншуткин В.В., Филатов Н.Н. Разработка модели оптимального управления эколого-социо-экономической системой водоем-водосбор	79
Секция 1: ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ	85
Агафонова С.А., Магрицкий Д.В., Романенко Ф.А., Банщикова Л.С. Наводнения на реках и побережьях Арктической зоны России	86
Васильева Е.С., Алексюк А.И., Беликов В.В. Численное моделирование развития проранов в плотинах, сложенных неоднородными грунтами	91
Гарцман Б.И., Губарева Т.С., Лупаков С.Ю., Орляковский А.В., Тарбеева А.М., Шамов В.В., Шекман Е.А. Формы линейной организации склонового стока в среднегорье (на примере Сихотэ-Алиня)	97
Георгиади А.Г., Милюкова И.П., Бородин О.О. Особенности многолетних изменений водности рек в бассейне Волги в XIX-XXI веках	102

Гладских Д.С., Сергеев Д.А., Байдаков Г.А., Соустова И.А., Троицкая Ю.И., Иванов А.В., Мортиков Е.В., Степаненко В.М. Моделирование термогидродинамики внутренних водоемов с использованием данных натурных измерений	106
Глотко А.В., Гайдукевич С.В., Норин С.В., Каргаполова И.Н. Анализ тенденций деформаций ложа водохранилища в зонах технических коридоров подводных переходов магистральных газопроводов с использованием численного моделирования	108
Дебольский В.К., Грицук И.И., Ионов Д.Н., Масликова О.Я. Современные проблемы состояния рек криолитозоны	114
Демидов В.Н. Ассимиляция данных измерений расходов воды ансамблевым фильтром Калмана на примере реки Дон	119
Добровольский С.Г., Лебедева И.П., Истомина М.Н., Соломонова И.В. Параметры водохранилищ и изменений стока регулируемых ими рек: анализ объединенной глобальной базы данных	124
Жуликов Г.А., Алексюк А.И., Беликов В.В. Численное моделирование речных течений в приближении многослойной мелкой воды	131
Зайцева А.В., Харламов М.А. Оценка стока неизученных рек восточной части Южного берега Республики Крым	135
Зеленцов В.А., Потрясаев С.А., Пиманов И.Ю., Пономаренко М.Р. Опыт разработки и тестирования информационных технологий автоматизации комплексного моделирования речных наводнений	140
Зырянов В.Н., Егорова В.М. Вихри в стратифицированной вращающейся жидкости со сложным рельефом дна	144
Зырянов В.Н., Чебанова М.К. Нелинейная задача Стефана о росте льда в пресноводном водоеме	150
Калугин А.С. Единая гидрологическая модель Волжского бассейна	155
Киреева М.Б., Рец Е.П., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л. Изучение современного водного режима рек Европейской территории России с помощью автоматизированного алгоритма расчленения гидрографа GrWat	160
Китаев Л.М., Аблеева В.А., Коробов Е.Д., Желтухин А.С. Многолетние тенденции и межгодовые колебания характеристик снежного покрова, климата и температуры почвы Восточно-Европейской равнины	166
Кораблёва О.В., Чернов А.В. Современная динамика пойменно-русловых комплексов средней реки Керженец (по мониторинговым наблюдениям 2001-2018 гг.)	172
Крыленко И.Н., Сурков В.В., Беликов В.В., Корнилова Е.Д., Сазонов А.А. Оценка продолжительности затопления пойм на основе методов гидродинамического моделирования и ландшафтной индикации	177
Кузнецова А.М., Байдаков Г.А., Кандауров А.А., Вдовин М.И., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И. Натурные измерения и численное моделирование ветро-волнового взаимодействия на внутренних водоемах средних размеров	181
Лапина Л.Э. Параметризация коэффициента эффективной теплопроводности почвы при периодических колебаниях температуры воздуха	187
Махинов А.Н. Негативные тенденции в развитии русловых процессов рек бассейна Амура и их последствия	189
Миллионщикова Т.Д. Моделирование наблюдаемых изменений речного стока в бассейне р. Селенги и их сценариев в XXI веке	195
Миннегалиев А.О. Пространственно-временная изменчивость параметров снеготаяния в пределах бассейна р. Белой	201
Миньковская Р.Я., Иванов В.А. Проблемы природопользования в устьях рек Севастопольского региона и пути их решения	204

Михайлова М.В. Особенности современного гидрологического режима дельт важнейших рек России	209
Мольков А.А., Капустин И.А., Ермаков С.А., Сергиевская И.А., Шомина О.В., Лазарева Т.Н., Даниличева О.А., Лещев Г.В. Гидрофизическая лаборатория ИПФ РАН “Геофизик” как эффективный инструмент лимнологического мониторинга	214
Музылев Е.Л., Старцева З.П., Волкова Е.В., Василенко Е.В. Моделирование водного режима территорий с разной степенью увлажнения при использовании спутниковых данных нескольких спектральных диапазонов	218
Назаренко О.В. Частичное изменение сезонного речного стока бассейна Нижнего Дона	227
Насонова О.Н., Гусев Е.М., Ковалев Е.Э., Айзель Г.В. Влияние возможного изменения климата в XXI веке на сток крупных рек: прогностические оценки и их неопределенности, обусловленные моделями общей циркуляции атмосферы и климатическими сценариями	230
Остякова А.В. Волновое воздействие на береговой склон	235
Попова В.В. Эволюция структуры многолетней изменчивости стока Волги и ее связь с крупномасштабной атмосферной циркуляцией	240
Рец Е.П., Дурманов И.Н., Киреева М.Б. Современные характеристики режима паводкового стока рек Северного Кавказа	248
Румянцев А.Б., Васильева Е.С., Беликов В.В. Интегральный подход к оценке и минимизации рисков затопления селитебных территорий	253
Сазонов А.А., Крыленко И.Н., Завьялова Е.В., Семенова Н.К., Чурюлин Е.В. Катастрофические наводнения на севере Европейской части России: анализ, моделирование и прогноз	259
Соколовский М.А., Кошель К.В., Reinaud J.N. Взаимодействие двухслойных вихрей в стратифицированной жидкости	263
Федорова Т.А., Борисова Н.М., Беликов В.В. Моделирование деформаций речных излучин	270
Фролов Д.М. Расчетная схема толщины намерзания льда и вероятности заторов на основе данных об особенностях снегопадов, накопления снежной толщи и изменения температуры воздуха	275
Секция 2: ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ, ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ	279
Арсланова М.М., Шорникова Е.А. Сезонная динамика и пространственное распределение показателей химического состава воды малых рек Сургутского и Октябрьского районов	280
Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н., Игнатова Н.А., Запорожцева А.Ю. Изменение экотоксичности компонентов экосистемы р. Темерник (г. Ростов-на-Дону) в связи с реализацией программы по оздоровлению бассейна реки	286
Бердников С.В., Сорокина В.В., Клещенков А.В., Кулыгин В.В. Система «Цимлянское водохранилище – Нижний Дон» в условиях изменения климата: гидролого-гидрохимические аспекты	291
Бреховских В.Ф., Волкова З.В. Особенности продукционных процессов волжских водохранилищ в зависимости от комплекса различных факторов	295
Бубер А.А., Талызов А.А. Исследование бассейна р. Малый Караман с целью определения поступления загрязнений с сельскохозяйственных земель	300
Бубер А.Л., Исаева С.Д., Добрачев Ю.П. Анализ формирования диффузного загрязнения в бассейне р. Волги, поступающего с мелиорированных земель сельскохозяйственного назначения	304

Бучик С.В., Дмитриева В.А. Гидроэкологические последствия сезонных изменений водности рек в бассейне Верхнего Дона	309
Вавилин В.А., Локшина Л. Я., Рытов С.В. Использование кинетического изотопного эффекта для оценки значения последовательных и параллельных стадий в анаэробных процессах: общее правило и некоторые исключения	313
Гильденков М.Ю. Доказательство деградации естественных водных экосистем как условие возмещения вреда, причиненного окружающей среде	319
Готовцев А.В., Ларина Е.Г. Компьютерное моделирование мощностей источников загрязнения бассейна реки Москвы	322
Гречушникова М.Г., Ломова Д.В., Ломов В.А., Кременецкая Е.Р., Ефимова Л.Е., Репина И.А. Эмиссия метана на границах «вода-донные отложения» и «вода-атмосфера» в слабопроточном долинном водохранилище	327
Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Чекмарева Е.А. Современное состояние, источники загрязнения и возможные пути реабилитации Ивановского водохранилища и его притоков	332
Даниленко А.О., Георгиади А.Г. Неоднородность химического состава воды по поперечному сечению р. Северная Двина на замыкающем створе и её влияние на оценку ионного стока	337
Даниленко А.О., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю. Увеличение минерализации воды арктических участков рек Западной Сибири в контексте глобальных изменений климата	342
Даценко Ю.С. Формирование стока органического вещества в реках водосбора Ивановского водохранилища	347
Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Шапоренко С.И. Климатические и антропогенные изменения диффузного выноса азота и фосфора в Чебоксарское водохранилище с боковым притоком (на примере рек Линды и Кудьмы)	351
Домнин Д.А. Оценка биогенной нагрузки валовым азотом и фосфором в бассейне реки Западная Двина с использованием математических моделей	356
Зиновьев А.Т., Папина Т.С., Кудишин А.В., Ловцкая О.В., Дьяченко А.В., Марусин К.В., Носкова Т.В. Экспериментальные исследования и моделирование качества воды для оценки влияния диффузного стока с урбанизированных территорий	359
Зубков Е.А., Никаноров А.М., Гарькуша Д.Н. Оценка ионного стока подземных вод четвертичного комплекса бассейна Таганрогского залива	365
Иванов Д.В. Региональные нормативы качества донных отложений водных объектов...369	369
Кашутина Е.А., Ясинский С.В., Сидорова М.В., Нарыков А.Н., Черногубов К.А. Антропогенная нагрузка на водосбор и её учет при оценке выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища)	374
Кирейчева Л.В., Яшин В.М., Лентяева Е.А., Тимошкин А.Д. Оценка диффузного загрязнения биогенными веществами с сельскохозяйственных угодий в бассейне реки Яхромы (Московская область)	379
Кирпичникова Н.В. Методические подходы к оценке и ранжированию источников загрязнения на основе многолетних информационных баз данных	385
Кирпичникова Н.В., Полянин В.О. Особенности организации мониторинга источников диффузного загрязнения природных вод	389
Козлова М.А. Использование информационных технологий для оценки токсичности органических ксенобиотиков и прогноза их возможных метаболитов	395
Кузьмина Ж.В., Черноруцкий С.В. Оценка климатического и гидротехнического воздействия на наземные экосистемы в бассейне Верхней Волги	400

Курбатова И.Е. Использование спутниковой информации для оценки экологического состояния водосборов ряда рек средней полосы России и разработки рекомендаций по их реабилитации	405
Лепихин А.П., Веницианов Е.В. К проблеме статистики гидрохимических показателей качества воды	411
Ломова Д.В., Кременецкая Е.Р., Гречушникова М.Г., Ефимова Л.Е. О выходе минерального фосфора из донных отложений в водохранилищах долинного типа	416
Мустафина Л.К., Шурмина Н.В. Богданова О.А., Абдуллина Ф.М., Иванов Д.В. Оценка биогенного и органического загрязнения реки Казанки	420
Немировская И.А. Загрязнение устьевых областей арктических рек нефтью	423
Никаноров А.М., Бакаева Е.Н., Хоружая Т.А., Сухоруков Б.Л. Развитие методов натурного моделирования загрязнения для изучения состояния водных экосистем малых рек Нижнего Дона	429
Разумовский Л.В., Авандеева О.П., Разумовский В.Л. Комплексный мониторинг Иванковского и Рыбинского водохранилищ с применением инновационных методов биоиндикации	434
Рогожникова Е.В. Оценка качества воды малых рек – притоков р. Вятки в ее нижнем течении по состоянию сообществ зообентоса	438
Селезнева А.В., Беспалова К.В., Селезнев В.А. Технология определения антропогенной нагрузки на реки от точечных и диффузных источников загрязнения	444
Сорокина В.В., Бердников С.В., Сойер В.Г. Сезонная динамика растворенного и взвешенного органического углерода в водах Нижнего Дона и Таганрогского залива в 2006-2018 гг.	449
Сучкова К.В. Моделирование и гидрохимическая идентификация составляющих речного стока	453
Фащевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г. Моделирование содержания металлов и качества воды водотоков бассейна Нижнекамского водохранилища на основе модели ЕСОМАГ-НМ	458
Хорошевская В.О., Предеина Л.М. Приоритетные биометаллы водосборных территорий и их влияние на первичную продукцию Нижнего Дона, установленное в результате экспериментов на природной воде	467
Цхай А.А., Кириллов В.В., Агейков В.Ю. Модельная оценка отклика экосистемы водохранилища на изменения в режиме его эксплуатации	472
Чернов А.В., Губарева Е.К. Оценка геоэкологического состояния пограничных рек бассейна Верхнего и Среднего Амура	478
Шмакова М.В. Особенности пространственного распределения максимальной мутности воды в акватории водоемов	482
Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В., Нарыков А.Н. Влияние параметров водосбора на характеристики редукации и выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища)	487
Секция 3: УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ, ОХРАНА ВОД	492
Горбатенко Л.В. Оценка водопользования как фактора загрязняющего воздействия на поверхностные воды и их качество на территории Приморского края	493
Данилов-Данильян В.И. Экология, гидрология, цифровизация, цифровые двойники и азбучные истины методологии моделирования	497
Демин А.П. Реализация водохозяйственных программ в субъектах федерации бассейна реки Дон	502

Домнина А.Ю., Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Использование морского пространственного планирования для рационального природопользования акваторий внутренних морских вод Калининградской области и прилегающей прибрежной территории	507
Дунаев А.С. Ярославская область: проблемы устойчивого водопользования и пути их решения на основе общественного участия	510
Кузенбаев К.М. Использование водных ресурсов водохранилищ верхнего течения реки Сырдарьи	515
Левит-Гуревич Л.К., Кузенбаев К.М. Принципы распределения водных ресурсов по участкам водопользования бассейна реки на примере верхней части Сырдарьи ...	520
Мохов А.В. Управление потоками шахтных вод как один из путей оздоровления рек Восточного Донбасса	524
Неров И.О. Участие водопользователей в решении проблем комплексного использования и охраны водных объектов	528
Никонорова И.В., Петров Н.Ф. Проблемы освоения береговой зоны Чебоксарского водохранилища	533
Сивохип Ж.Т. Водные ресурсы российско-казахстанского трансграничного региона и их использование в современных гидроклиматических условиях	539
Строков А.А. Определение допустимой антропогенной нагрузки на бассейн реки Онеги	544
Тетельмин В.В. Сильные воздействия крупных водохранилищ на окружающую среду, не учитываемые при проектировании и эксплуатации гидроузлов	550
Чеснокова И.В., Лихачева Э.А., Петрова Е.П. Урбанизация и водные ресурсы	554
Шапоренко С.И. Водохозяйственная нагрузка на водосборы северных рек России и её влияние на качество вод в устьях	559
Шаталова К.Ю. Проблемы совместного использования трансграничной реки Северский Донец	565

3. От кривизны излучин зависит характер их смещения: для пологой и развитой сегментных излучин сохраняется и преобладает продольное смещение, у крутой - в разные годы происходит чередование продольного и поперечного смещения.

4. По полученным ежегодным мониторинговым показателям для р. Керженец определяется связь уровней половодья и размывов берегов. Так, если относительный уровень вод в половодье не превышает 2,5 м, то вероятный средний размыв берегов будет минимальным (до 0,5 м/год в такие годы). При подъеме уровня полых вод до 3,5 м средний размыв возрастает до 1,9 м; при уровне вод более 3,5 м средние размывы могут превышать 1,9 м/год.

Исследуемые динамические процессы средней части р. Керженец происходят в заповедных естественных условиях, что дает возможность достаточно объективно анализировать и оценивать мониторинговые наблюдения русловых деформаций. Полученные результаты обеспечивают необходимой информацией о темпах ежегодных размывов берегов в зависимости от водности половодий для составления прогноза изменений и динамики пойменно-русловых комплексов органы управления заповедником (в данном случае). Следует отметить, что информация представляется для системы всей прибрежной инфраструктуры: не только р. Керженец, но и многих других типичных средних рек в широкопойменных долинах.

Работа выполнена по плану НИР научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова и при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-00712).

Литература

1. Фридман Б.И., Кораблева О.В. Геология и рельеф Керженского заповедника // Труды Государственного природного заповедника «Керженский». – Нижний Новгород, 2001. – Т. 1. – С. 7–70.
2. Кораблева О.В., Чернов А.В. Динамика пойменно-русловых комплексов рек Нижегородского Заволжья (на примере реки Керженец) // Труды Государственного природного биосферного заповедника «Керженский». – Нижний Новгород: Изд-во: «Государственный природный биосферный заповедник «Керженский», 2012. – Т.5. – 196 с.
3. Кораблева О.В., Чернов А.В. Опыт мониторинга русловых деформаций на широкопойменных реках (на примере реки Керженец) // География и природные ресурсы. 2008. № 2. С.158–165.
4. Летописи природы Керженского заповедника за 1997–2011 гг. – Н. Новгород: ГПБЗ «Керженский», 1997–2018 (Рукопись, Керженский заповедник).

ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОЙМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ

Крыленко И.Н.^{1,2}, Сурков В.В.¹, Беликов В.В.², Корнилова Е.Д.¹, Сазонов А.А.^{1,2}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

²Институт водных проблем РАН, г. Москва

krylenko_i@mail.ru

Введение и постановка задачи. Продолжительность затопления является одной из наиболее трудно определяемых характеристик при исследованиях наводнений, так как для ее оценки требуется пространственно-временная информация о режиме затопления пойм за многолетний период. Данные о многолетнем режиме уровней воды на гидрологических постах (при их наличии) характеризуют, в основном, конкретный створ и не могут быть распространены путем простой экстраполяции на сложные по конфигурации протяженные участки речных пойм. Вместе с тем учет времени стояния воды важен для оценки ущербов от наводнений, а также определяет возможности существования тех или иных растительных сообществ на пойме.

Двумерные гидродинамические модели, основанные на решении плановых уравнений Сен-Венана в приближении мелкой воды, позволяют на основе входных данных о расходах воды и детальной информации о рельефе территории воспроизводить основное плановое распределение глубин воды в каждой ячейке модельной сетки, путем осреднения значений которых за определенный период появляется возможность оценить продолжительность затопления. Возможности двумерного гидродинамического моделирования воспроизводить длительные ряды характеристик затопления долгое время были ограничены вычислительными ресурсами и существенно расширились в настоящее время с переходом на вычисления на графических процессорах [1]. Для верификации модельных расчетов, кроме данных гидрологических постов, привлекаются архивы разновременных космических снимков, дающие информацию о границах зон затопления [2]. Верифицировать непосредственно результаты модельных оценок продолжительности затопления для протяженных участков затруднительно из-за отсутствия соответствующей информации. Однако такая возможность появляется при привлечении карт по продолжительности затопления, полученных на основе метода ландшафтной индикации. Данный метод основан на том, что периодическое затопление обуславливает жесткий отбор видов, которые могут существовать на определенной высоте над меженным урезом, и таким образом на основе указанной информации о распространении ландшафтов можно составить соответствующие карты продолжительности затопления [3].

В данном исследовании на примере двух указанных методов – двумерного гидродинамического моделирования и метода ландшафтной индикации показаны возможности построения карт среднемноголетней продолжительности затопления и проведено их сопоставление на примере двух ключевых участков – пойм р. Лены у г. Якутск и устья слияния рек Сухоны и Юга у г. Великий Устюг.

Исходные данные и методы. В данном исследовании для оценки характеристик затопления пойм использовались результаты моделирования режима затопления пойм на ключевых участках р. Лены у г. Якутск и р. Мал. Северной Двины, образующейся при слиянии рек Сухоны и Юга у г. Великий Устюг за многолетний период с 1980 по 2016 гг. на основе двумерной гидродинамической модели STREAM_2D и ее версии для расчета на графических процессорах STREAM_2D CUDA.

В качестве исходных данных о рельефе русел использовались батиметрические съемки, пойм - топографические карты масштабов 1:25000 и 1: 10000, актуализированные на основе современных космических снимков и наземных топографических съемок.

При моделировании учитывались следующие факторы:

- ежедневные расходы воды на входных границах модельной области (по данным наблюдений гидрологических постов);
- данные о ледовых заторах;
- испарение с поверхности пойм (задавалось региональное значение);

В годовом разрезе моделирование проводилось только за периоды, в которые происходит затопление пойм, при этом было учтено, что поймы р. Лены могут значительно затапливаться и в летний период при паводках. Поэтому моделирование для ключевого участка р. Лены у г. Якутск проводилось за каждый год с 1 мая по 30 сентября ежегодно, а для ключевого участка у г. Великий Устюг рассматривалось только весеннее половодье, включая период с 1 апреля по 30 июня каждого года.

Ледовые заторы учитывались по данным гидрологических постов с учетом составленных по архивным данным карто-схем затороопасных участков и параметров повышения шероховатости и стеснении потока за счет льда при подключении “ледового блока” модели.

Для построения карт продолжительности затопления по методу ландшафтной индикации и данным маршрутных обследований по опорным профилям и характерным точкам (более 300 точек для каждого из участков) для пойм узла слияния рек Сухоны и Юга и пойм р. Лены у г. Якутск были определены различные типы растительных сообществ (около 30-ти для каждого из участков), абсолютные и условные (над меженным урезом) отметки их распространения. Продолжительность затопления различных растительных сообществ в конкретных природных условиях уточнялась по данным многолетних наблюдений гидрологических постов в створах ландшафтных профилей. Далее по результатам дешифрирования высокодетальных космических снимков и точкам маршрутных обследований строились ландшафтные карты и картографировались соответствующие данным ландшафтам продолжительности затопления.

Результаты. Оценка качества моделирования за многолетний период на основе сопоставления смоделированных уровней воды с данными гидрологических постов в пределах ключевых участков показала, что гидродинамические модели обеспечивают устойчивое хорошее качество моделирования уровней воды за многолетний период, что демонстрирует как визуальное совпадение графиков хода уровней, так и высокие значения критерия качества моделирования. Критерий соответствия Нэша-Сатклифа (NSE) за исследуемые периоды при сравнении среднесуточных наблюдаемых и смоделированных уровней воды для исследуемых постов превышал 0.90 (табл. 1). Сравнение смоделированных зон затопления с полученными на основе разновременных космических снимков показало их расхождение в пределах 10 % в половодья и паводки и 18 % при ледовых заторах [2].

Таблица 1. Оценка качества моделирования ежедневных уровней воды на ключевых участках на основе критерия Нэша-Сатклифа (NSE)

Река	Пост	Период	Критерий NSE
Сухона	Великий Устюг	1980 - 1998	0.94
		1999 - 2016	0.91
Лена	Якутск	1982 - 2000	0.90
		2001 - 2015	0.93

Сравнение карт средней продолжительности затопления, полученных двумя независимыми методами для пойм в районе г. Великий Устюг показало визуальное соответствие основных зон по продолжительности затопления (рис. 1), при этом коэффициент корреляции между значениями продолжительности в центрах ячеек модельной сетки по указанным на карте интервалам составил 0.61. Модель воспроизводит основные зоны

по продолжительности затопления, однако детальность модельных расчетов ниже, чем детальность ландшафтной карты, это связано с тем, что модельный рельеф с учетом применяемой густоты модельной сетки не воспроизводит гравистый рельеф поймы. Некоторые различия в продолжительности затопления на участке старичного понижения за д. Коромыслово по двум методам могут быть связаны с различиями в периодах осреднения – модельные расчеты охватывают период с 1980 г., а при уточнении высотных границ растительных сообществ использовались данные за весь исторический период наблюдений. В целом, все затапливаемые участки населенных пунктов как по данным моделирования, так и по методу ландшафтной индикации характеризуются продолжительностью затопления в пределах 3 суток.

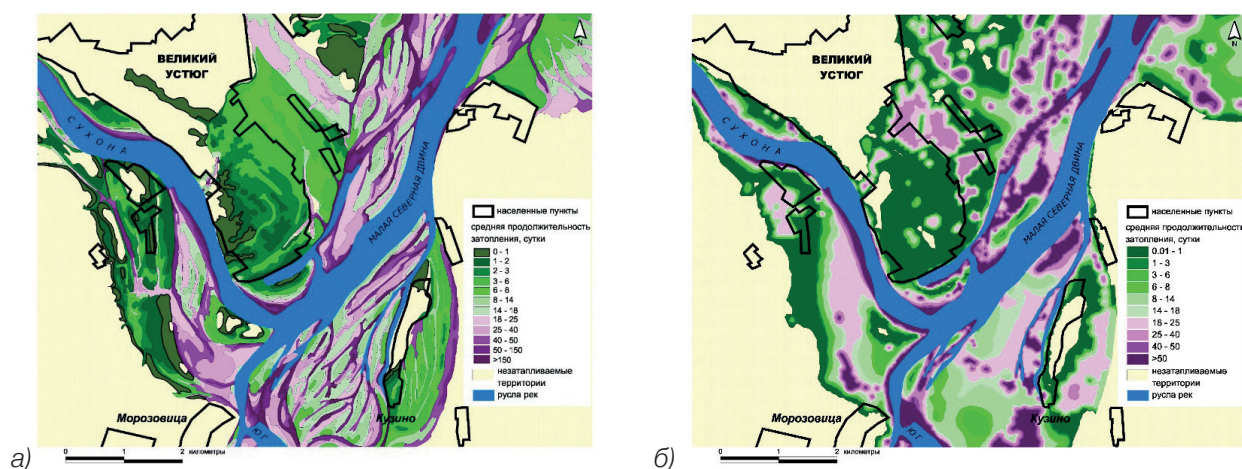


Рисунок 1. Карта средней продолжительности затопления пойм у г. Великий Устюг по данным ландшафтной индикации (а) и результатам гидродинамического моделирования (б)

Для участка р. Лены у г. Якутск результаты анализа временных изменений характеристик затопления показали, что статистически значимое увеличение максимальных расходов воды обуславливает рост максимальных площадей и глубин затопления. Средний максимальный расход за период 2001–2015 гг. на 14% выше, чем за предшествующий период 1982–2000 гг., площади затопления увеличились в среднем на 8%. Однако продолжительность прохождения максимальных расходов и соответствующих уровней воды во втором периоде несколько снизилась (пики половодий стали острее), а также уменьшилась повторяемость заторов. За счет такого сочетания факторов продолжительность затопления на прирусловых и пониженных участках пойм по результатам моделирования уменьшилась (до 10 суток), так как в целом уменьшается продолжительность периода с расходами воды, обуславливающими затопление пойм. При этом на наиболее высоких участках пойменных массивов продолжительность затопления увеличилась на 5–10 суток (рис. 2), что подтверждается и результатами ландшафтной индикации.

Согласно данным ландшафтных исследований, увеличение повторяемости затопления высоких пойм после 1998 г. (затопление стало происходить каждые 2 года) привело их к положению сырых лугов, чувствительных к повторяемости затопления на отметках до 7 м над меженным урезом. При этом на средних высотных уровнях продолжительность затопления (происходящего ежегодно) в этот период снизилась на 20–40%, что показывает и сравнение карт продолжительности затопления по результатам модельных расчетов за два периода. Также методы ландшафтной индикации выявили низкую, по сравнению с другими регионами, продолжительность затопления осоковников (менее 3–5 суток), лугов среднего увлажнения (5–7 суток) и сырых лугов – 10–20 суток (для сравнения, на поймах средней Оби на участках с такой продолжительностью затопления находится степная растительность), что обусловлено в основном наличием мерзлоты – на суглинистых почвах и маломощных торфах глубина вечномёрзлого грунта составляет 0.5–1.5 м.