

ТИПИЗАЦИЯ ОПОЛЗНЕЙ ДОЛИНЫ РЕКИ МЗЫМТА С ЦЕЛЬЮ ОБОСНОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ

TYPIFICATION OF LANDSLIDES IN THE MZYMTA RIVER VALLEY FOR THE PURPOSE OF SUBSTANTIATION OF ENGINEERING PROTECTION

МИНИНА М.В.

Аспирант кафедры инженерной и экологической геологии
геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, minina86@yandex.ru

КОРОЛЕВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии
геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н.,
г. Москва, korolev@geol.msu.ru

MININA M.V.

Postgraduate student of the Engineering and Ecological Geology
Department of the Geology Faculty of Lomonosov Moscow State University,
Moscow, minina86@yandex.ru

KOROLEV V.A.

Professor of the Engineering and Ecological Geology Department of the
Geology Faculty of Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of
science in Geology and Mineralogy), Moscow, korolev@geol.msu.ru

Ключевые слова:

р. Мзымта; долина реки; оползневые процессы; инженерная
защита; типизация оползней; факторы оползнеобразования.

Key words:

Mzymta River; river valley; landslide processes; engineering
protection; typification of landslides; landslide formation factors.

Аннотация

Безопасная эксплуатация объектов инфраструктуры, возведенных в районе Сочи к Олимпиаде 2014 г., возможна только при условии организации надежной и эффективной инженерной защиты. В данной работе предложен подход к типизации оползневых процессов с целью обоснования инженерной защиты, применение которого может снизить затраты и повысить эффективность организации противооползневых мероприятий. Было выделено пять типовых оползней с учетом таких параметров, как механизм смещения, масштабность, мощность, геоморфологические характеристики, литологический состав, гидрогеологические условия, факторы оползнеобразования. Указано, что с учетом строения выделенных типовых оползневых склонов и параметров, определяющих особенности противооползневой защиты, могут быть обоснованы типовые схемы комплексной противооползневой инженерной защиты с определенными техническими параметрами.

ВВЕДЕНИЕ

При подготовке к XXII зимним Олимпийским и XI Паралимпийским играм 2014 г. было возведено значительное количество объектов инфраструктуры в районе г. Сочи (Краснодарский край). Исключительно сложные инженерно-геологические условия, в первую очередь высокая степень активности оползневых процессов, потребовали проведения на данной территории масштабных защитных мероприятий. Изучению оползней в Сочинском районе посвящено значительное количество работ [4, 6–10, 17, 19, 26], однако вопросы противооползневой защиты остаются по-прежнему актуальными.

Трудности борьбы с оползневыми явлениями, недостаточная эффективность инженерных противооползневых мероприятий и их очень высокая стоимость нередко связаны с такими причинами, как отсутствие комплексной оценки оползневой опасности либо неправильно в методическом отношении проведенные инженерно-геологические изыскания [20]. В частности, при строительстве олимпийских объектов одной из грубейших ошибок было отсутствие взаимосвязанных проектных и технических решений, выполняемых различными проектными и строительными организациями, в силу ведомственной разобщенности или различных источников финансирования, когда строительство одного объекта приводило к необходимости принятия дополнительных мер инженерной защиты на другом, расположенном ниже по склону.

По данным М.Л. Васильева (ОАО «Мосгипротранс»), на автодороге, ведущей к спортивно-оздоровительному комплексу «Горная Карусель» в результате подрезки древнего оползневого склона при строительстве в зимне-весенний период 2012 г. произошла резкая активизация оползневых процессов (рис. 1). Несмотря на строительство подпорной стены на буронабивных сваях, оползень на данном участке продолжает

Abstract

Operation of the infrastructure objects that were built for the Olympic Games in 2014 in the Sochi area is only possible if reliable and effective engineering protection will be organized. This paper proposes an approach to typing landslide processes in order to substantiate the engineering protection using of which can reduce the cost and increase effectiveness of anti-landslide measures. Five typical landslides were distinguished taking into account such parameters as the movement mechanism, dimensions, geomorphological characteristics, lithological composition, hydrogeological conditions, landslide formation factors. The authors point out that taking into consideration the structure of the revealed typical landslide slopes and parameters that determine the features of anti-landslide protection the typical schemes of complex anti-landslide engineering protection with certain technical parameters can be substantiated.



оставаться активным до настоящего времени, постоянно увеличиваясь в размерах. Строительство дополнительной подпорной стены на восточном фланге и наращивание стены в центре и на западном фланге не спасли ситуацию. Строительные работы были завершены к декабрю 2013 г., а к февралю 2014 г. оползневые массы уже начали переваливать через подпорную стенку на автодорогу (рис. 2).

Одним из вариантов возможного повышения эффективности систем инженерной противооползневой защиты может стать *разработка типовых схем* защиты, применение которых в подобных инженерно-геологических условиях может существенно снизить затраты на их проектирование и создание без снижения качества. Однако пока методика разработки подобных схем применительно к типовым оползням отсутствует.

В связи с этим возникает необходимость разработки типовых схем инженерной защиты от опасных оползней, что может существенно удешевить реализацию защитных мероприятий. Основная идея их применения состоит в том, что для определенных типов оползней можно заранее предложить наиболее рациональные типовые схемы инженерной защиты, а затем для выделенных на изучаемой территории типов оползней рекомендовать те или иные готовые варианты инженерной защиты.

Таким образом, для реализации указанной схемы необходимо предварительно провести типизацию самих оползней, а затем для каждого их выделенного типа обосновать наиболее рациональную схему инженерной защиты, т.е. обосновать типовые схемы защитных мероприятий. Разработка данной проблемы проводится авторами на примере долины реки Мзымта (Краснодарский край), где имеют широкое распространение оползни разных типов. Решению начальной задачи — типизации оползней в долине Мзымты — и посвящена настоящая статья.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

В административном отношении исследуемая территория находится в Краснодарском крае, в Адлерском районе г. Сочи. Простирается район исследований с юго-запада на северо-восток вдоль реки Мзымта от города Адлер до реки Пслух (рис. 3).

Климат

Исследуемая территория расположена в субтропическом и умеренном климатических поясах [3, 27]. Южное расположение исследуемого района, наличие поблизости незамерзающего моря и отрогов Главного Кавказского хребта оказывают существенное влияние на климат.

Северо-западная часть Кавказского хребта служит непреодолимым препятствием для вторжения холодного воздуха с севера, северо-востока и востока. Холодные воздушные массы, поступающие со стороны моря, значительно прогреваются над водной поверхностью и приобретают повышенную неустойчивость и увлажненность, в результате чего наступает длительное ухудшение погоды [27].



Рис. 1. Активизация оползневых процессов при строительстве дороги, ведущей к спортивно-оздоровительному комплексу «Горная карусель» (фото М.Л. Васильева, ОАО «Мосгипротранс»)



Рис. 2. Переваливание оползневых масс через подпорную стену (фото М.Л. Васильева, ОАО «Мосгипротранс»)

Система хребтов Большого Кавказа, наличие долин, ущелий, котловин создают сложную циркуляцию внутри горной системы. В предгорной части Кавказа происходит задержка холодных масс воздуха, стациона-

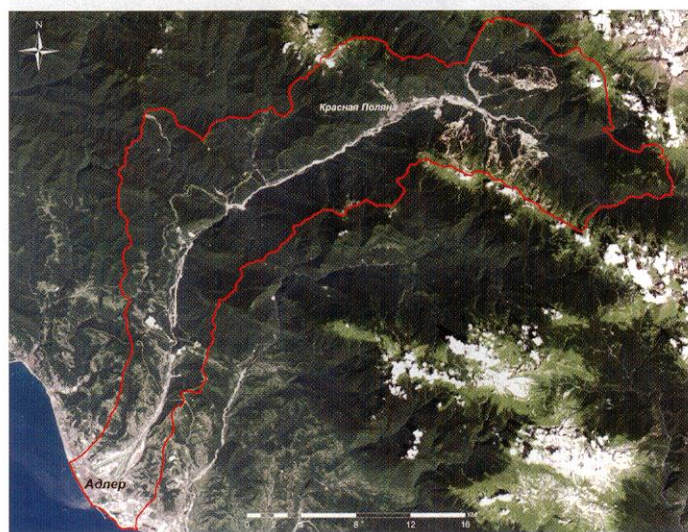


Рис. 3. Исследуемая часть долины реки Мзымта, выделенная красным контуром на основе космоснимка Landsat 8 (комбинация каналов 4, 3, 2 и 8; дата съемки 08.08.2014 г.; время съемки 08:00 мск)

рование атмосферных фронтов и нередко обострение их перед орографическим препятствием.

Основным фактором оползнеобразования на исследуемой территории являются выпадающие в значительном количестве атмосферные осадки.

Вынос теплого влажного воздуха и его натекание вдоль склонов хребта вызывают выпадение атмосферных осадков обычно за 6–9 часов до прохождения фронта. Интенсивность дождей растет с ростом высоты гор и по мере перемещения атмосферных фронтов к югу [27].

Формирование кучево-дождевых облаков происходит тем интенсивнее, чем больше скорость вертикальных движений воздуха. Условия рельефа благоприятствуют возникновению больших скоростей восходящих движений воздуха, насыщенного влагой.

Огромное влияние рельеф района оказывает на скорость смещения и эволюцию барических образований и фронтов. Особенно характерно задерживающее влияние хребта на массы воздуха за холодными фронтами. В результате этого осадки, связанные с холодными фронтами, наиболее интенсивны и продолжительны по сравнению со связанными с другими фронтами.

Черное море лежит на пути средиземноморских циклонов. Его высокая температура способствует возникновению над ним пониженного давления. Взаимодействие холодных тыловых потоков движущихся средиземноморских циклонов с теплыми воздушными массами их передней части создает резкие контрасты температуры именно в районе Черного моря. Поэтому

часто над бассейном Черного моря наблюдается возникновение новых циклонических возмущений, регенерация затухающих циклонов и выход их в юго-восточные районы страны.

Максимум осадков выпадает в холодный период года. Затяжные и интенсивные дожди отмечаются в основном в зимний период.

Отличительной особенностью климата является большая повторяемость ливней и гроз. Грозы наблюдаются главным образом с мая по сентябрь. Однако и зимой при прохождении холодных фронтов и окклюзий по типу холодного фронта грозы могут быть каждый месяц.

Среднегодовая температура в высокогорной части исследуемой территории составляет $8,4^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков — 934 мм [7, 9]. В прибрежной части среднегодовая температура составляет $14,7^{\circ}\text{C}$, количество осадков — 1410 мм.

Так как атмосферные осадки являются одним из триггерных факторов активизации оползневых процессов, при проектировании противооползневой инженерной защиты в комплекс мероприятий обязательно должен быть включен поверхностный водотвод.

Гидрологический режим

Река Мзымта берет свое начало на южном склоне Главного Кавказского хребта вблизи горы Лоуб на высоте 2980 м над уровнем моря в Мостовском районе Краснодарского края [26]. Она впадает, образуя обширный конус выноса, в Черное море в микрорайоне Адлер города Сочи Краснодарского края. Длина реки составляет 89 км, площадь ее водосборного бассейна — 885 км² (рис. 4). Общее падение Мзымты составляет 2980 м, уклон — 33,5 м/км, прямолинейное расстояние от истока до устья — 62 км, коэффициент извилистости — 1,4.

В верховье Мзымта протекает через высокогорное озеро Кардывач, ниже которого на реке находится пятнадцатиметровый Изумрудный водопад. В среднем течении она прорезает хребет Аибга-Ачишхо, образуя Греческое ущелье. Далее Мзымта пересекает горный хребет Ахцу-Кацирха и образует свое самое длинное и глубокое ущелье Ахцу. Примерно за 19 км до устья Мзымта прорывается через горный хребет Ахштырь. Здесь она течет по узкому ущелью Ахштырские Ворота. В нижнем течении долина расширяется и река принимает равнинный характер.

Крупнейшие притоки Мзымты (которые попадают в исследуемую часть долины) — Пслух, Ачипсе (с притоком Лаура), Чвижепсе — впадают с правой стороны.

Питание Мзымты смешанное [26]. Для нее характерны весенне-летнее половодье и дождевые паводки. Средний годовой расход воды — 45,6 м³/с (наибольший составил 764 м³/с). В весенний период проходит до 42–50% объема годового стока. Летом во время таяния ледников проходит до 30% годового стока. На осень приходится до 15–17% годового стока.

В бассейне Мзымты находится три ледника. Их общая площадь составляет 2,58 км² — это 0,32% от всей площади бассейна реки.

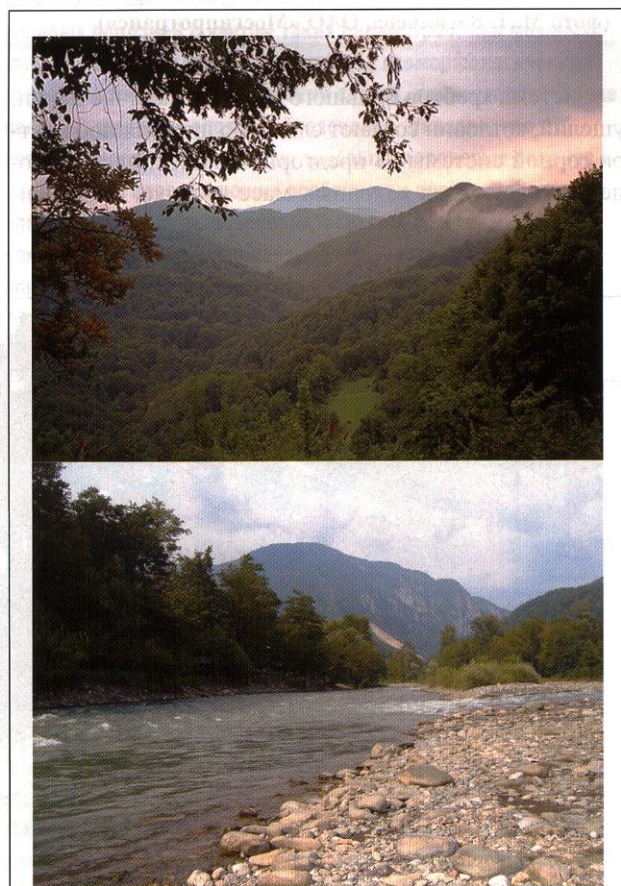


Рис. 4. Долина реки Мзымта



Мзымта имеет довольно значительные колебания уровней — их годовая амплитуда достигает 2,32 м. Ближе к устью изменения уровня воды немного уменьшаются. В Адлере их амплитуда не превышает 2,23 м. Во время весеннего таяния снегов в ущельях уровень воды поднимается до 5 м.

Густота речной сети в бассейне Мзымты — 1,48 км/км². Средняя скорость течения реки — 1,8 м/с, на плесах — 0,4–1,2 м/с, наибольшая — 2–3 м/с.

Практически на всем своем протяжении Мзымта имеет бурный горный характер. Русло реки извилистое, слабоветвистое. Берега образованы уступами террас глубиной до 10 м. В верхнем течении долина реки V-образная. Крутые берега имеют уклон 30–35°, местами он достигает 40–50°. В низовьях река течет по Адлерской низменности — хорошо разработанной широкой долине, характерной для равнинных рек с незначительными уклонами. На всем протяжении склоны берегов реки сильно рассечены глубокими балками и долинами притоков. Дно русла сложено скалистыми породами с валунами. В среднем и нижнем течении донный грунт — галечниковый или галечно-валунный.

Во время паводков Мзымта транспортирует большое количество взвешенных и влекомых наносов. Среднегодовой сток взвешенных наносов — 488,2 тыс. т, влекомых наносов — 141 тыс. т [26].

Особенности гидрологического режима определили высокую эродирующую способность Мзымты, что является одним из наиболее значимых факторов оползнеобразования. Поэтому в комплекс противооползневой инженерной защиты необходимо включить противоэрозионные конструкции.

Геоморфологические условия

Район исследований расположен на западном склоне Главного Кавказского хребта. Долину Мзымты ограничивают горы Главного Кавказского хребта и его отрогов. Лишь в низовьях реки горы понижаются и переходят в холмисто-грядовые предгорья.

Типы рельефа, определяющие дифференциацию ландшафтов данного района: высокогорный, среднегорный, предгорный (низкогорный и пологохолмистый), рельеф приморских равнин [7, 9].

Исследуемая часть долины Мзымты в верховьях «следует» за направлением хребта Аибга с северо-запада на юго-восток, затем принимает диагональное направление с северо-востока на юго-запад и наконец — субмеридиональное направление.

Высота хребтов, ограничивающих верховья долины реки, составляет в среднем 1500–2500 м. Эта территория относится к области максимального тектонического воздымания горной системы Большого Кавказа с обнажением сильнодислоцированных отложений юрского возраста. При таком сильном расчленении рельефа склоны долины обладают большой крутизной и утесистостью, ослабевающими с приближением ко «дну» долины. В формировании поверхности принимало участие древнее оледенение, формируя троговый характер рельефа. Здесь выделяются наиболее высокие вершины таких хребтов, как Ачишхо (до 2381 м) и Аибга (до 2494 м).

Склоны гор изрезаны глубокими ущельями с высокой обрывов до 250 м и крутизной до 60°. Долины притоков Мзымты разного порядка имеют различное строение. Встречаются и трапециевидные, и каньонобразные. По бортам притоков часто возникают гравитационные смещения.

В среднем течении реки высота хребтов понижается до 600–1500 м. Особенности рельефа здесь связаны с альпийскими складчатыми структурами, сложенными породами мелового возраста. Основные формы рельефа сформировались в результате водно-эрозионной деятельности. Рельеф на данном участке характеризуется мягкостью основных форм. Горы здесь в основном низкие (но на некоторых участках наблюдаются и средневысокие), представляющие собой систему отдельных хребтов, приуроченных к отрогам Главного Кавказского хребта, расчлененных долинами рек (Мзымтой и ее притоками).

В низовье долина исследуемой реки характеризуется низкогорным эрозионно-тектоническим рельефом холмисто-грядовых предгорий с участками низких гор на складчатых структурах, образованных породами палеогенового возраста, включая область развития причерноморских аккумулятивных террас. Абсолютные высоты изменяются в широких пределах — от 0 до 600 м, преобладают отметки 200–400 м.

Полевые наблюдения показали, что склоны холмов и гряд являются выпуклыми, с крутизной до 45°, расчленены долинами мелких рек, промоинами, оврагами и балками глубиной 0,5–20,0 м (рис. 5). Пологие и субгоризонтальные поверхности представлены аллювиальными террасами и поймами.

Поверхность приморской равнины плоская, с небольшим уклоном (до 5°) в сторону моря. Вдоль берега моря протягиваются аккумулятивные галечные пляжи шириной до 80 м.

Рельеф рассматриваемой территории имеет огромное влияние на развитие и интенсивность опасных геологических процессов.

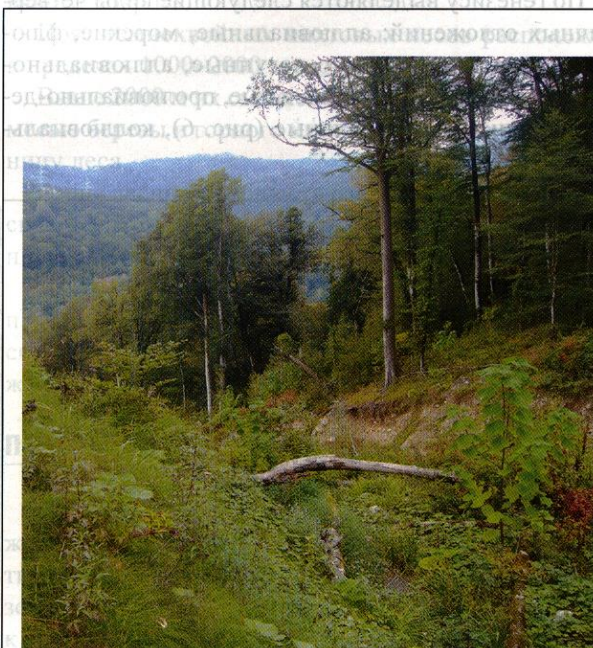


Рис. 5. Склон долины реки Мзымта, расчлененный оврагом глубиной 7–10 м

логических процессов, которые, в свою очередь, влияют на рельеф.

Геологическое строение

На изучаемой территории распространены осадочные, магматические и метаморфические стратифицированные образования протерозойского, палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста, слагающие четыре структурных этажа: доверхнепалеозойский, верхнепалеозойско-триасовый, нижне-среднеюрский (киммерийский) и альпийский (верхняя юра — неоген) [7, 9].

Доверхнепалеозойский структурный этаж представлен верхнепротерозойскими метаморфитами комплекса основания и нижне-среднепалеозойскими метавулканогенно-терригенными образованиями островодужной системы. Верхнепалеозойско-триасовый — карбонатно-терригенными, терригенными мелководными грубообломочными отложениями и рифовыми мелководными осадками предгорных прогибов. Нижне-среднеюрский этаж сложен терригенными и вулканогенно-терригенными отложениями различных структурно-фациальных зон, которые формировались на континентальном шельфе, в осевой части задугового бассейна, на островной дуге, на шельфе и на склоне островной дуги. Альпийский структурный этаж представлен карбонатными и терригенно-карбонатными отложениями задугового флишевого бассейна, а также терригенно-карбонатными мелководными осадками островного шельфа и остаточного морского бассейна, известняками барьерных рифов.

Отложения плейстоцена в виде прерывистого или покровного чехла распространены практически повсеместно. Отложения голоценового возраста связаны со временем черноморской трансгрессии, сменившей новозвксинскую регрессию, и во многих районах побережья слагают единый трансгрессивно-регрессивный седиментационный комплекс.

По генезису выделяются следующие виды четвертичных отложений: аллювиальные, морские, флювиогляциальные, озерно-лагунные, аллювиально-пролювиальные, пролювиальные, пролювиально-делювиальные, делювиальные (рис. 6), коллювиаль-



Рис. 6. Делювиальные суглинистые отложения с включениями глыб, щебня, дресвы

ные, коллювиально-делювиальные, деляпсивные, делювиально-деляпсивные, коллювиально-деляпсивные, элювиальные, элювиально-делювиальные, техногенные [7, 9].

Гидрогеологические условия

Долина Мзымты является частью гидрогеологической провинции Кавказского сложного бассейна пластово-блоковых, пластовых и покровно-поточных безнапорных и напорных вод [7, 9].

Рассматриваемая территория сложена докембрийскими, палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими метаморфическими, магматическими и осадочными породами. В коре выветривания развиты грунтовые, трещинные и трещинно-жильные воды, приобретающие с глубиной напор.

Долина Мзымты является естественной дренажной для всех пересекаемых ею водоносных горизонтов и комплексов. По долине происходит транзит и разгрузка в море не только поверхностного, но и большей части подземного стока.

Основными водоносными структурами здесь являются зоны повышенной трещиноватости и закарстованности пород, приуроченные к субмеридиональным структурам. В пределах этих структур обводненностью характеризуются не только известняки, песчаники, мергели, но и глинисто-аргиллитовые толщи.

Дочетвертичные образования обводнены незначительно, и подземные воды в них развиты лишь в зоне экзогенной трещиноватости. По химическому составу воды в зоне свободного водообмена — в основном гидрокарбонатные кальциевые и натриевые, пресные и ультрапресные, холодные ($13-16^{\circ}\text{C}$). Воды глубокой циркуляции имеют повышенную минерализацию (от 1,8 до $40,7\text{ г/дм}^3$), химический состав их преимущественно хлоридный натриевый с частым присутствием йода, брома и бора.

Гидрогеологические условия в пределах оползневых склонов, как правило, представлены спорадическим распространением водоносных горизонтов, что создает сложности при организации водоотвода.

Неотектонические условия

Рассматриваемая территория расположена на сочленении западного и центрального сегментов мегасвода Большого Кавказа [15, 16]. Это сочленение определяется длительным развитием Пшехско-Адлерской региональной поперечной зоны. По современным данным Пшехско-Адлерская поперечная зона формировалась на орогеническом этапе как осложнение крупного флексуриобразного перегиба (ундуляции шарнира) мегасвода, с которым была связана зона поперечного растяжения. В этой зоне возникла группа перекашивавшихся в процессе отседания структурных ступеней, западные фланги которых «задирались». В результате на этих флангах образовались высокие поднятия (горсты), а их западный край стал отчетливо выраженным в рельефе уступом. Следовательно, Пшехско-Адлерская зона — региональная поперечная структура древнего заложения с дли-



тельным унаследованным развитием и, судя по орографической выраженности, активным новообразованием [15, 16]. Новейшая Пшехско-Адлерская зона представляет собой широкую полосу развития поперечных и диагональных по отношению к оси мегасвода разрывов и блоков.

Поднятия и грабены обладают разнообразной ориентировкой, поэтому их цепи и гряды бывают извилистыми или расщепляющимися. В самом грубом приближении можно выделить три цепи впадин и три гряды поднятий преимущественно субширотной ориентировки, т.е. косо ориентированных по отношению к оси мегасвода и его главным структурам. Первая с северо-запада цепь грабенов (Медовеевско-Краснополянская) относится к поперечному тыловому понижению Пшехско-Адлерской зоны и вместе с Ачипсинским и Эстосадокским грабенами Мзымтинской зоны со всех сторон обрамляет Ачишхинский горст. Последний надстраивает с северо-запада гряду поднятий, которая включает Аибгинскую гряду горстов северо-западного простирания, Пихтово-Дзыхринскую гряду поперечных блоков, поворачивающую на юго-запад, и Сапунский горст северо-западной ориентации.

Сложность новейшей тектоники рассматриваемого района определяется в значительной степени сочетанием разнообразных шовных зон. В качестве последних выделяются развитые у кровли земной коры зоны специфических наборов разрывных и блоковых структур, которые обычно отвечают крупнейшим долгоживущим глубинным разломам орогенов. Новейшие орогенические структуры кардинально отличаются от более древних, формировавшихся в иной тектонодинамической обстановке.

Рассчитанные С.А. Несмеяновым амплитуды разрывных нарушений (A_{100}) целесообразно использовать в качестве вероятных максимальных и учитывать при проектировании защитных мероприятий [15, 16]. Разброс полученных оценок укладывается в диапазон 72–216 мм. Существенно большей активностью обладают надвиги, которые наиболее четко проявлены в современном рельефе фронтальными уступами.

Ширина дробления разрывных зон достигает 500 м.

Области динамического влияния разрывных зон в горной области являются областями активного развития гравитационных процессов.

Сейсмичность территории

Очаги сильных землетрясений располагаются в земной коре, а основные сейсмогенерирующие структуры представлены глубинными разломами, которые выражены у кровли земной коры новейшими шовными зонами разных типов (флексурными, флексурно-разрывными, шовно-блоковыми и др.). Одной из наиболее крупных сейсмогенерирующих структур Кавказа является именно Мзымтинская зона, в пределах которой находится исследуемая территория [25].

Мзымтинская шовно-депресссионная зона, сопровождаемая рядом сеймотектонических дислокаций, с которыми связаны сильнейшие землетрясения с магнитудой до 7,5 и глубиной очага порядка 10–40 км, да-

тируемые голоценом. Практически на всем протяжении структура «покрыта» крупными очагами в основном исторических землетрясений.

Наибольшую опасность для данной территории представляют местные землетрясения. Сейсмические события большой силы с магнитудой более 6 баллов — явления эпизодические.

Экзогенные геологические процессы

Полевые инженерно-геологические исследования показали, что в пределах исследуемой территории развиты следующие тесно связанные между собой экзогенные геологические процессы, которые отрицательно влияют на строительство и эксплуатацию объектов инфраструктуры: донная эрозия, береговая речная эрозия, овражная эрозия, затопление, подтопление, суффозия, плоскостная эрозия, карст, сели, лавины, осыпи, обвалы, оползни. Характеристика последних приводится ниже.

Растительность

Растительность на исследуемой территории отчетливо коррелирует с высотной поясностью [3].

До отметки 500 м в основном преобладает вечнозеленая растительность. Прибрежная полоса покрыта лесом, богатой травянистой и вечнозеленой декоративной растительностью: эвкалиптами, кипарисами, тисом, падубом, лавровишней, рододендронам, самшитом, лианами. Здесь растут представители тропиков и субтропиков: веерные и другие пальмы, декоративный банан, магнолия, бамбук, пробковый дуб, цитрусовые (апельсины, мандарины), фейхоа, инжир, хурма, олеандр, камелия, юкка, агавы и др.

С удалением от побережья в горы наблюдается смена растительных видов: на высоте 500–1000 м простирается зона смешанного широколиственного леса (бук, дуб, граб, каштан, орех) без подлеска и травяного покрова.

Пояс темнохвойных пихтовых лесов расположен в пределах 1000–2000 м над уровнем моря.

Выше 2000 м их сменяет буковое редколесье с примесью березы и горного клена, образуя верхнюю границу леса.

Выше лесных сообществ расположены субальпийские и альпийские луга, переходящие местами в субнивальный и нивальный пояса.

Особенности климата и рельефа «наложили отпечаток» на развитую растительность, которая, в свою очередь, оказывает влияние на динамику и режим оползневых процессов.

Почвы

Почвы довольно разнообразны и имеют ярко выраженную вертикальную зональность, так же как и растительность [7, 9, 19]. На побережье залегают желтоземные почвы, выше — бурые и подзолистые, ближе к горам — горно-луговые и маломощные примитивные горные. Всклощенные равнины покрыты суглинистыми почвами. Общей особенностью почв является их малая мощность — около 0,3–0,4 м. Во многих ме-

стах они едва прикрывают скальный грунт. По поймам рек почвы илисто-песчаные и илисто-гравелистые.

Техногенное освоение

В долине Мзымты выделяются территории с разными видами хозяйственного освоения — селитебно-рекреационного, лесохозяйственного, водохозяйственного и транспортного. Это оказывает концентрированную техногенную нагрузку на все компоненты геологической среды, в т.ч. на развитие оползневых процессов.

МЕТОДИКА ТИПИЗАЦИИ ОПОЛЗНЕЙ

Выполненный анализ нормативной и научной литературы о принципах обоснования противооползневой инженерной защиты [5, 6, 11–13, 22–24, 28] позволил выделить ряд качественных и количественных параметров, которые необходимо обязательно учитывать при проектировании противооползневых сооружений.

С учетом выделенных параметров затем были выделены пять основных типов оползней (см. таблицу), распространенных в долине Мзымты, применительно к которым необходимо разработать пять типовых схем противооползневой инженерной защиты.

Авторами при типизации оползней учитывались следующие их характеристики:

- механизм смещения;
- масштабность проявления (ширина и длина);
- мощность оползневых отложений;
- геоморфологическая характеристика;
- литологический состав;
- гидрогеологические условия (количество водоносных горизонтов и уровни их залегания);
- факторы оползнеобразования.

Оценка вышеуказанных особенностей, учтенных при типизации оползней и отраженных в таблице, включала следующие методы.

А. Механизм смещения был выделен на основе классификаций М.К. Рзаева и Г.С. Золотарева [2], а также

классификации, приведенной в рекомендациях по количественной оценке устойчивости оползневых склонов [24]. Данные классификации, на взгляд авторов, наиболее полно отражают разнообразие оползневых процессов, распространенных в долине Мзымты.

Б. Средние уклоны, ширина, длина оползневых склонов и мощность оползневых накоплений были рассчитаны по гистограмме распределения данных параметров.

Для расчета типовых средних уклонов в пределах того или иного типового оползня сначала были рассчитаны уклоны склонов для всей исследуемой территории на основе цифровой модели рельефа с пространственным разрешением 20×20 м. Затем были построены гистограммы распределения значений уклонов поверхности типовых оползней.

На рисунке 7 изображена гистограмма распределения уклонов поверхности оползней течения (III типа). Величины уклонов на гистограммах, «попадающие» между нижним и верхним квартилями, определяли типовые значения обозначенных выше характеристик оползней (заштрихованная область на гистограмме).

Квартили позволяют разделить исследуемую выборку на четыре равные части [21]. Первый квартиль (25-й перцентиль) — это значение признака, слева от которого лежит 1/4 (или 25%) всех вариантов. Второй квартиль — это 50-й перцентиль, или медиана (значение признака, относительно которого совокупность делится на две равные по числу вариантов части). Третий квартиль — это точка, слева от которой находится 3/4 (или 75%) вариантов ряда. 25-й перцентиль называют нижним квартилем (Q_1), 50-й — средним (Q_2), 75-й — верхним (Q_3).

Квартильный метод удобен для анализа частот встречаемости тех или иных значений признака в анализируемой выборке. Более того, он прекрасно подходит для выделения групп, которые являются наиболее типичными для большой выборки [21].

Значения ширины и длины всех оползней (около 1200 штук) были измерены по координатно привязанной карте распространения оползней. Величины, по-

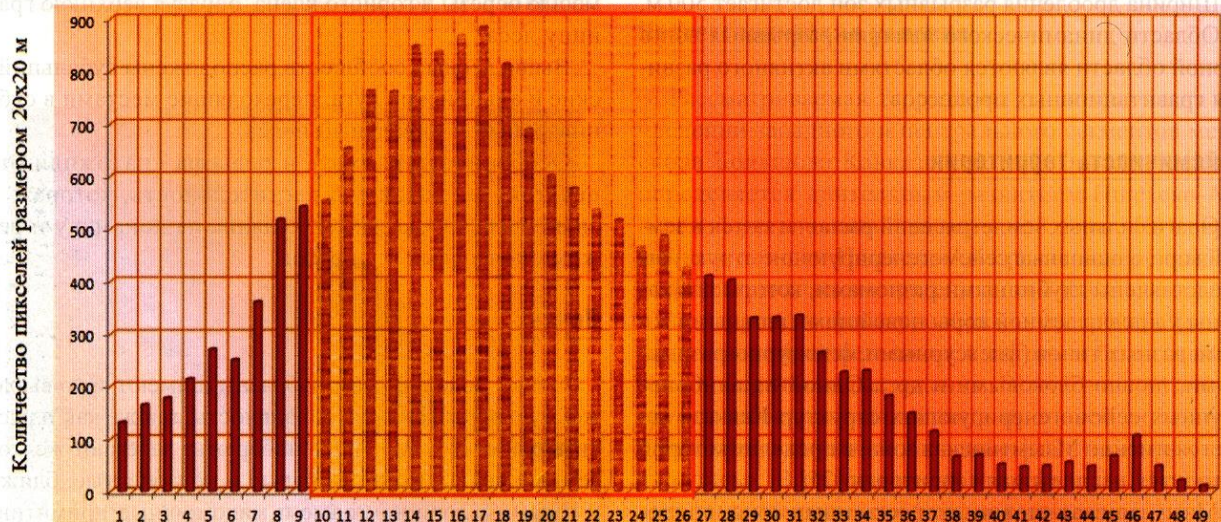


Рис. 7. Уклоны поверхности оползней течения. В заштрихованной области — величины, попадающие между нижним и верхним квартилями, т.е. типовые значения для исследуемой выборки



падающие между нижним и верхним квартилями на гистограмме, были также занесены в таблицу.

Мощности оползневых склонов были установлены на основе фоновых данных. Типовые значения для каждого выделенного типа оползня были также определены с помощью квартильного метода.

В. Геологические свиты и литологические разновидности, которые наиболее благоприятны для развития выделенных типов оползней, были определены с помощью такого статистического метода, как *логистическая регрессия* [1, 18, 21, 29–33] (см. таблицу).

Логистическая регрессия, или логит-регрессия, — разновидность множественной регрессии, назначение которой состоит в анализе связи между несколькими независимыми (входными) переменными и зависимой (выходной) переменной [18, 21].

Логистическая регрессия применяется в случаях, когда зависимая (выходная) переменная является бинарной, т.е. может принимать только два значения — 1 или 0 [18]. При этом входные переменные должны быть независимыми друг от друга.

Логит-регрессия является методом бинарной классификации. Она позволяет оценивать вероятность реализации (или нереализации) события в зависимости от значений некоторых независимых переменных.

Известно, что все регрессионные модели могут быть записаны в виде некоторой функции:

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где x_i — значения независимых (входных) переменных.

Например, в множественной линейной регрессии зависимая (выходная) переменная является линейной функцией независимых (входных) переменных:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon, \quad (2)$$

где y — выходная (зависимая) переменная модели; $x_1, x_2, \dots, x_n$ — входные (независимые) переменные; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ — коэффициенты регрессии; ε — оценка теоретического случайного отклонения.

Для построения модели логистической регрессии уравнение регрессии преобразуют таким образом, чтобы значения переменной y никогда не выходили за интервал [0; 1]. Такое преобразование называется логит-преобразованием [18].

В результате логит-преобразования уравнение логистической регрессии с несколькими входными переменными принимает вид:

$$p(x) = 1/(1+e^{-z}); \quad (3)$$

$$z = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon, \quad (4)$$

где $p(x)$ — вероятность того, что произойдет интересующее событие; e — основание натурального логарифма; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ — коэффициенты логистической регрессии; x_i — значения независимых (входных) переменных; z — значение зависимой (выходной) переменной; ε — оценка теоретического случайного отклонения.

Особенностью логистической функции является то, что она может принимать любые входные значения от минус бесконечности до плюс бесконечности, тогда как выходная переменная ограничена диапазоном [0; 1].

Для оценки коэффициентов логистической регрессии неприменим метод наименьших квадратов, который используется в методе линейной регрессии. Поэтому ее коэффициенты оцениваются на основе *метода максимального правдоподобия*, который очень часто используется в статистике для получения оценок параметров генеральной совокупности по данным выборки. Он основан на функции правдоподобия [18], которая определяет вероятность появления значений параметров $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ для данного значения x . Задача метода максимального правдоподобия заключается в поиске таких значений этих параметров, которые максимизируют функцию правдоподобия. То есть метод максимального правдоподобия строит оценки параметров $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ наилучшим образом описывающие данные выборки.

Для практических вычислений предпочитают использовать логарифмическую функцию правдоподобия $L(\beta|x)$:

$$L(\beta|x) = \sum \{y_i \ln[p(x_i)] + (1 - y_i) \ln[1 - p(x_i)]\}, \quad (5)$$

где y_i — значения выходных (зависимых) переменных модели; x_i — значения входных (независимых) переменных.

Согласно утверждению Н.Б. Паклина, оценки максимального правдоподобия могут быть найдены путем дифференцирования $L(\beta|x)$ относительно каждого параметра и приравнивания полученных выражений к нулю [18].

В результате получается система уравнений, из которой нельзя выразить $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ аналитическим путем. Решение системы может быть получено только итерационным численным методом.

Г. Полевые инженерно-геологические исследования показали, что *гидрогеологические условия* в пределах оползневых склонов чрезвычайно разнообразны. Наиболее часто встречаются:

- спорадическое распространение грунтовых вод;
- водоносный горизонт в четвертичных отложениях на уровне 1,3–14,0 м с напором от 2,5 до 6,0 м;
- трещинные воды в коренных отложениях.

Указанные ситуации могут встречаться в пределах всех пяти выделенных типов оползней.

Учет гидрогеологических условий является одной из важнейших задач при проектировании противооползневой инженерной защиты, т.к. изменения этих условий способствуют изменениям прочности пород, гидростатического и гидродинамического давления.

Д. Значимости таких факторов оползнеобразования, как *густота тектонических нарушений, кривизна поверхности, тип ландшафта, количество солнечной радиации, индекс эродированности, топографический индекс увлажнения, экспозиция, уклон, топографический индекс расчлененности, тип землепользования, литологический состав*, также были отдельно проанализированы с применением *метода логисти-*

ческой регрессии. Данные факторы, упорядоченные по степени влияния, были занесены в таблицу. Топографические факторы оползнеобразования были получены на основе цифровой модели рельефа с разрешением 20×20 м. Карта типов землепользования была получена на основе дешифрирования снимков Landsat 8 с разрешением 15×15 м. Литологический состав и карта густоты тектонических нарушений были получены в результате векторизации «Государственной геологической карты Российской Федерации» масштаба 1:200 000 [8, 10].

При проектировании противооползневой инженерной защиты в первую очередь необходимо учитывать наиболее значимые факторы оползнеобразования, так как именно они будут определять принципиальные особенности защиты (т.е. то, с чем необходимо бороться в наибольшей степени).

Необходимо отметить, что данные об уклонах, литологическом составе и геологических свитах в таблице приведены более детально, чем остальные, поскольку при проектировании противооползневой инженерной защиты они, с точки зрения авторов, должны учитываться в обязательном порядке всегда, даже если эти факторы не являются значимыми применительно к тому или иному типу оползня.

ТИПЫ ОПОЛЗНЕЙ

С учетом вышеописанных параметров были выделены пять наиболее часто встречающихся на исследуемой территории типов оползней, требующих последующей разработки инженерной защиты (см. таблицу).

I. Срезающие блоковые оползни. Характер развития оползневых деформаций данного типа — сдвиг с блоковым смещением тела оползня по *вогнутой криволинейной поверхности*. Оползание происходит в виде последовательного смещения (срезания) блоков склона с образованием террасовидной поверхности. Мощность оползневых масс в среднем составляет 4–25 м. Средний уклон оползневых склонов — 15–28°.

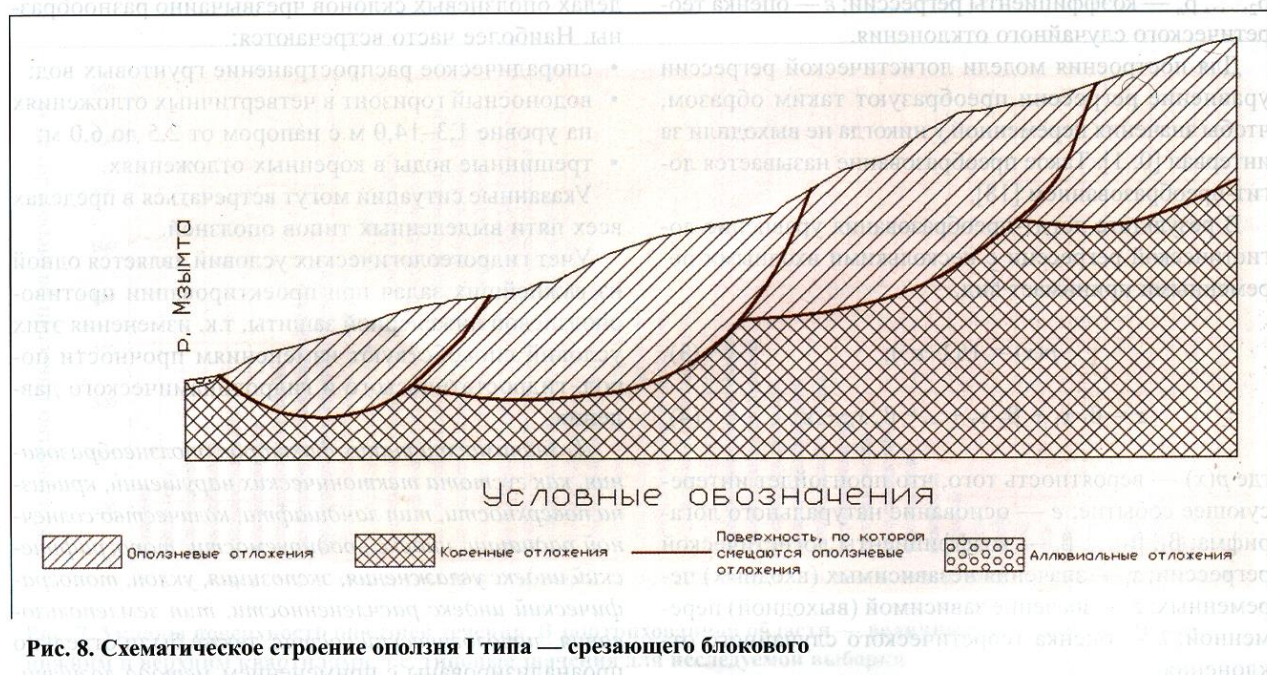
Данный тип оползней развит преимущественно в аргиллитах с прослоями алевролитов и песчаников, а также в мергелях и известняках. Схематическое строение срезающего блокового оползня представлено на рис. 8.

II. Блоковые оползни скольжения. Характер развития — сдвиг с блоковым смещением тела оползня по *условно плоской поверхности* (рис. 9). Основные геометрические и геоморфологические характеристики соответствуют срезающим блоковым оползням.

III. Оползни течения. Характер развития — смещение оползневых масс в виде вязкопластического течения, при этом смещения на дневной поверхности больше, чем у подошвы слоя (рис. 10). Поверхность скольжения приурочена к кровле коренных пород, являющихся водоупорным слоем. Мощность оползневых масс в среднем составляет 3–12 м. Средний уклон оползневого склона — 10–26°. Литологический состав оползневых масс представлен преимущественно мергелистыми глинами, аргиллитами, глинами с прослоями алевролитов и песчаников.

IV. Поверхностные сплывы и оплывины. Оползни данного типа возникают на склонах при локальном переувлажнении их грунтовыми водами и атмосферными осадками (рис. 11). Глубина захвата грунтов смещением достигает 3 м. Средний уклон оползневого склона — 10–30°. Литологический состав оползневых масс представлен делювиальными глинами и суглинками с дресвяно-щебенистым материалом коренных пород (30–50%). Поверхностные сплывы и оплывины, как правило, возникают на теле уже существующих оползней.

V. Комбинированные оползни. В этом случае сочетаются два вида движения грунта — сдвига и вязкопластического течения (рис. 12). Мощность оползневых масс в среднем составляет 8–30 м. Средний уклон поверхности оползневого склона — 10–28°. Литологический состав оползневых масс представлен преимущественно аргиллитами, алевролитами и карбонатными глинами, мергелями и известняками.



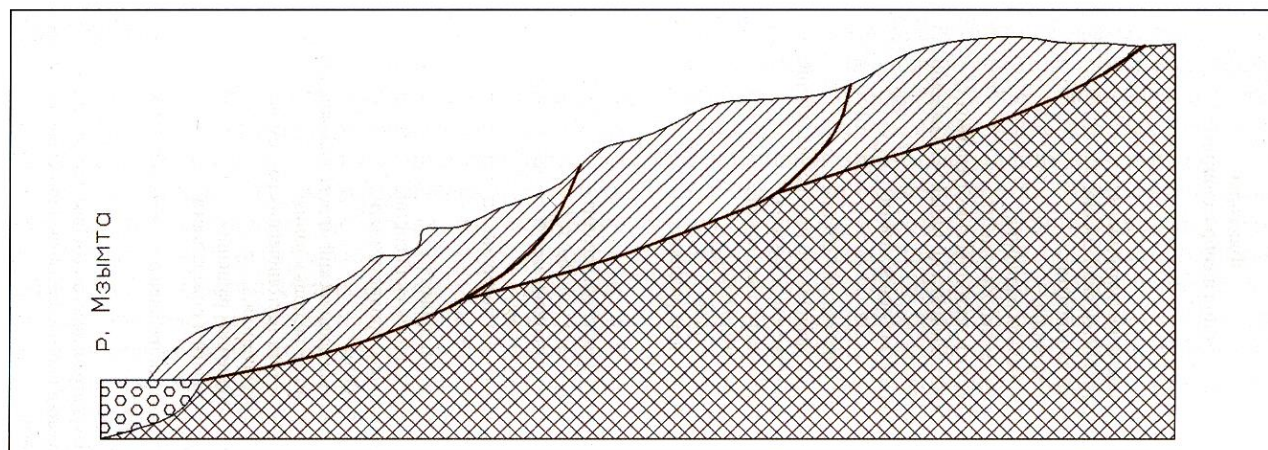


Рис. 9. Схематическое строение оползня II типа — блокового оползня скольжения. Условные обозначения — см. рис. 8

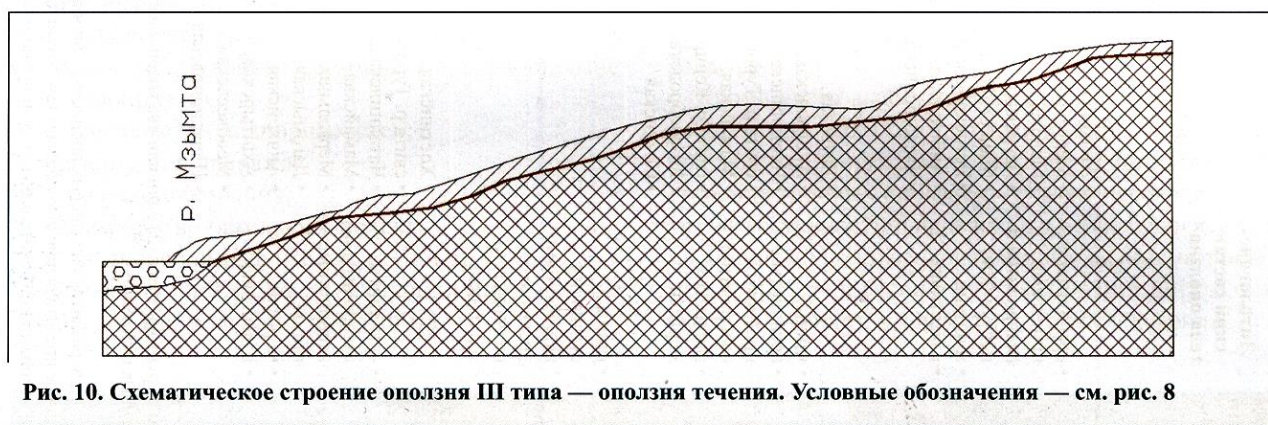


Рис. 10. Схематическое строение оползня III типа — оползня течения. Условные обозначения — см. рис. 8

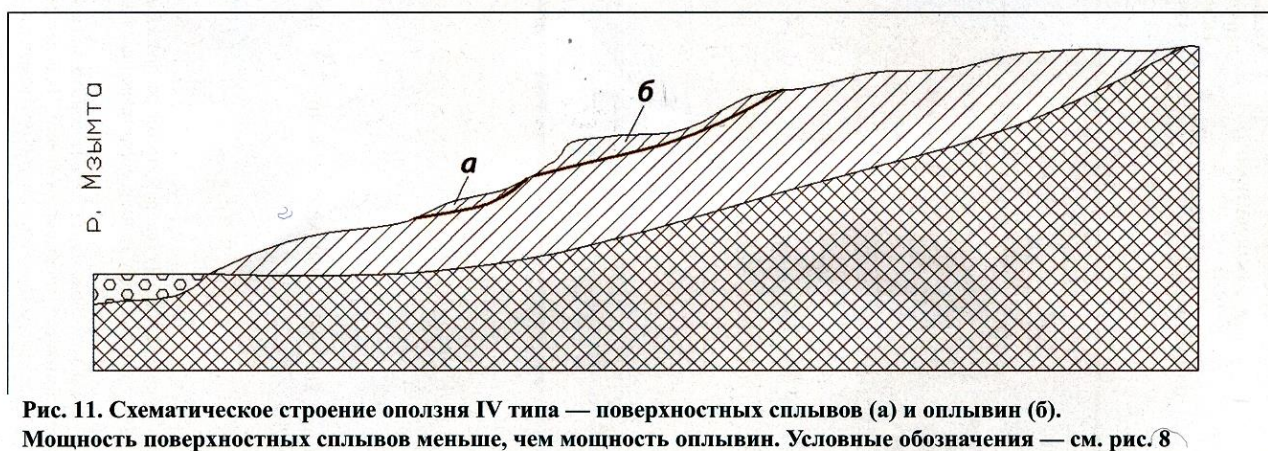


Рис. 11. Схематическое строение оползня IV типа — поверхностных сплывов (а) и оплывин (б). Мощность поверхностных сплывов меньше, чем мощность оплывин. Условные обозначения — см. рис. 8

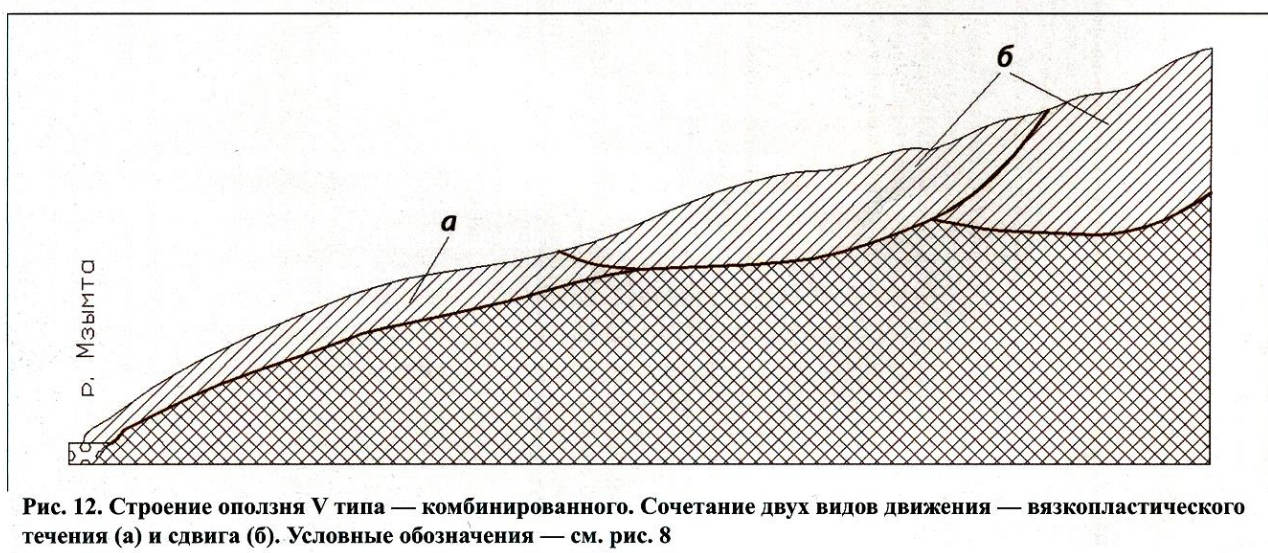


Рис. 12. Строение оползня V типа — комбинированного. Сочетание двух видов движения — вязкопластического течения (а) и сдвига (б). Условные обозначения — см. рис. 8

Выделенные типы оползней в долине реки Мзымта*

Класс (по характеру развития оползневых деформаций)	Тип	Описание	Геометрическая характеристика			Уклон по- верхности склона, град.	Литологиче- ский состав тела оползня*	Геологические свиты*		Факторы оползнеобразования***
			длина, м	ширина, м	мощ- ность, м			название	индекс	
Оползни сдвига (сдвиг с блоковым смещением тела оползня по вогнутой криволинейной или плоской поверхности)	I	Срезающие блоковые оползни. Форма в плане циркуобразная или фронтальная. Подошва оползня не приурочена к поверхностным ослаблениям. Линия скольжения близка к дуге окружности	80-400	130-500	4-25	15-28	• аргиллиты с прослоями алевролитов и песчаников; • мергели; • известняки	• Анчхойская, • Мергельная, • Меловевская, • Лаурская, • Мацестинская, • Эстосадокская, • Айбгинская, • Чвэжипсинская	• J2an, • K2m, • K1md, • J1lt, • P3mc, • J1es, • J2-3 ab, • J1cv	• индекс эродированности, • литологический состав, • тип ландшафта, • экспозиция, • солнечная радиация, • тип землетрясения, • густота тектонических разломов, • топографический индекс увлажнения, • уклон, • кривизна поверхности
	II	Оползни скользящие. Форма в плане циркуобразная или фронтальная. Подошва оползня приурочена к поверхностным ослаблениям. Линия скольжения близка к прямой линии					• глины; • аргиллиты с прослоями алевролитов; • глинистые мергели	• Лаурская, • Ахштырская, • Чатапинская, • свита р. Туровой, • Мамайская, • свита р. Кепши, • Казачебродская, • Социнская	• J1lt, • P1-2ah, • J2ct, • J1lt, • P2mm, • K1kr, • K2kzb, • 8)P3sc	• литологический состав, • топографический индекс увлажнения, • тип землетрясения, • кривизна поверхности, • тип ландшафта, • экспозиция, • солнечная радиация, • уклон
Оползни вязкопластиче- ские (смещение в виде вязкого или вязкопластиче- ского течения; величины смещения на дневной поверхности больше, чем у подошвы слоя)	III	Оползни течения. Форма в плане вытянутая по оси оползня	75-230	90-450	3-12	10-26	• глины и суглинки с включениями древесно-щепенистого материала		-	• тип землетрясения, • литологический состав, • тип ландшафта, • экспозиция, • кривизна поверхности
	IV	Поверхностные сплывы или оплывы. Форма в плане обычно округлая. Незначительная мощность. Приурочены к относительно крутым уступам на участках повышенной увлажненности пород у поверхности склона	5-25	10-40	до 3	10-30				• тип ландшафта, • литологический состав, • экспозиция, • кривизна поверхности
Сложные оползни	V	Комбинированные оползни. Сочетание двух видов движения -- сдвига и вязкопластического течения	200-500	350-800	8-30	10-28	• аргиллиты, алевролиты и карбонатные глины; • мергели; • известняки	• Хостинская, • свита р. Туровой, • Чатапинская, • Мамайская, • Мергельная, • Дагомьская, • Анчхойская, • Ахштырская, • Меловевская, • Илларионовская	• P3hs, • J1lt, • J2ct, • P2mm, • K2m, • P1dg, • J2an, • P1-2ah, • K1md, • J1il	• тип ландшафта, • литологический состав, • индекс эродированности, • уклон, • топографический индекс увлажнения, • тип землетрясения, • густота тектонических разломов, • экспозиция, • солнечная радиация, • кривизна поверхности

* Три возможных типа гидрогеологических условий для всех пяти типов оползней: (1) спорадическое распространение грунтовых вод; (2) один или два водоносных горизонта, распространенных в проливиальных и делювиальных отложениях на уровне 1,3-14,0 м, с напором 2,5-6,0 м; (3) трещинные воды, распространенные в коренных отложениях.

** Как правило, породы тела оползня выветрелые.

*** Порядок упоминания факторов оползнеобразования для каждого типа оползня определяет степень их значимости для развития оползневых процессов. Данные об уклонах, литологическом составе и геологических свитах более подробно приведены в предыдущих столбцах таблицы с соответствующими названиями. Их более детальное представление обусловлено тем, что при проектировании противооползневой инженерной защиты данные характеристики должны учитываться в обязательном порядке всегда, даже если они не являются значимыми факторами применительно к тому или иному типу оползней.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сильнорасчлененный горный рельеф долины реки Мзымта с энергично формирующейся эрозионной сетью, разнообразный литологический состав коренных пород с различными физико-механическими свойствами, наличие генетически разнообразных четвертичных образований, значительное количество и неравномерный режим выпадения атмосферных осадков, густая сеть тектонических нарушений, повышенная сейсмическая активность создали благоприятные условия для интенсивного развития на рассматриваемой территории таких опасных геологических процессов, как осыпи, обвалы, оползни, сели, снежные лавины, речная эрозия, паводковое затопление. Среди них оползневые процессы требуют наиболее тщательного и детального изучения.

При подготовке к Олимпийским играм 2014 г. были проведены следующие масштабные противооползневые мероприятия:

- строительство подпорных стен;
- организация дренажа;
- агролесомелиорация;
- обустройство нагельных полей;
- возведение армогрунтовых стен и др.

Однако на многих участках стабилизация опасных процессов так и не была достигнута.

На взгляд авторов, достаточная эффективность работы систем инженерной противооползневой защиты может быть достигнута благодаря разработке типовых схем защиты, применение которых может существенно снизить затраты на их проектирование и создание без снижения качества. Такие схемы должны применяться к соответствующим типовым оползневым процессам. Для этого необходимо предварительно проводить типизацию оползневых процессов на территории изысканий на основе таких параметров, как механизм смещения, геометрические и геоморфологические характеристики оползневых зон, гидрогеологические условия, наиболее значимые факторы оползнеобразования. Оценка этих параметров должна проводиться на основе анализа фоновых данных, применения статистических методов, использования данных дистанционного зондирования земли, дешифрировании цифровых моделей рельефа и т.д.

Кроме учета вышеуказанных параметров при разработке типовых схем противооползневой инженерной защиты необходимо учитывать принципиальное строение типовых оползней. А также необходим анализ эффективности и надежности ранее проведенных мероприятий по инженерной защите на рассматриваемой территории (если есть такая возможность), что будет следующим этапом данного исследования. ♦

Журнал «Инженерная геология»

стал одним из наиболее востребованных печатных изданий в нашем профессиональном сообществе. Сотрудники редакции постоянно работают над дальнейшим повышением качества журнала. Все статьи проходят рецензирование членами редакционной коллегии и внешними рецензентами, научное и литературное редактирование. Вы, читатели, можете внести свой вклад в развитие журнала, присылая в редакцию свои статьи, подписываясь на «Инженерную геологию».

E-mail: info@geomark.ru

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аньези В., Костанзо Д., Минина М.В., Королев В.А., Ротильяно Э. Применение статистических непараметрических методов для оценки факторов оползневых процессов на территории районов Шиллато и Кальтавутуро (о. Сицилия) // Сергеевские чтения. Вып. 15. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: Изд-во РУДН, 2013. С. 101–105.
2. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярз Л.А. Инженерная геодинамика. М.: КДУ, 2007. 439 с.
3. Дрожжина К.В. Особенности природно-климатических условий бассейна реки Мзымта для целей рекреационной деятельности // Молодой ученый. 2013. № 5. С. 196–198.
4. Измайлов Я.И., Полищук А.Т. О результатах регионального обследования экзогенных геологических процессов на территории Краснодарского края: производственный отчет. Ессентуки: ОАО «Севкавгеология», 1982. 67 с.
5. Королев В.А. Инженерная защита территорий и сооружений. М.: КДУ, 2013. 470 с.
6. Кригер Н.И. Инженерно-геологический анализ применения противооползневых мероприятий на Черноморском побережье Крыма и Кавказа. М.: Стройиздат, 1976. 233 с.
7. Лаврищев В.А., Греков И.И., Баширов А.Н., Семенов В.М., Черных В.И., Прокуронов П.В., Сааков В.Г., Горшков А.С., Шельтинг С.К. Пояснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200 000, лист К-37-IV. СПб.: ФГУП «Кавказгеолсъемка», 1999.
8. Лаврищев В.А., Пруцкий Н.И., Семенов В.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000, лист К-37-V. СПб.: ФГУП «Кавказгеолсъемка», 2002.
9. Лаврищев В.А., Пруцкий Н.И., Семенов В.М., Баширов А.Н., Греков И.И., Черных В.И., Прокуронов П.В., Сааков В.Г. Пояснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200 000 (карта четвертичных отложений), лист К-37-V. СПб.: ФГУП «Кавказгеолсъемка», 2000.
10. Лаврищев В.А., Семенуха И.Н., Андреев В.М., Горшков А.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000, лист К-37-IV. СПб.: ФГУП «Кавказгеолсъемка», ГНЦ ГПИ НПО «Южморгеология», 2000.
11. Методические рекомендации по предотвращению оползней на автомобильных дорогах Таджикской ССР. М.: СоюздорНИИ, 1977. 34 с.
12. Методические рекомендации по проектированию и строительству поддерживающих сооружений земляного полотна автомобильных дорог в оползневых районах на базе буронабивных свай и анкерных креплений. М.: СоюздорНИИ, 1988. 56 с.
13. Методические рекомендации по проектированию и строительству свайных противооползневых конструкций на автомобильных дорогах. М.: СоюздорНИИ, 1977. 43 с.
14. Методические рекомендации по противооползневому мероприятиям на автомобильных дорогах в условиях Молдавской ССР. М.: СоюздорНИИ, 1975. 51 с.
15. Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника. М.: Наука, 2004. 780 с.
16. Несмеянов С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа (опережающие исследования для инженерных изысканий). М.: Недра, 1992. 254 с.
17. Островский А.Б. Отчет о результатах инженерно-геологической съемки масштаба 1:25 000 Черноморского побережья Кавказа между Туапсе и Адлером: производственный отчет. Железноводск: ОАО «Кавказгидрогеология», 1972. 457 с.
18. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям (+CD). СПб.: Питер, 2013. 704 с.
19. Пальшин Г.Б., Островский А.Б., Осипов А.Е., Коробкина Н.С. О принципах районирования и прогноза оползневых явлений в горно-складчатых районах (на примере Черноморского побережья Западного Кавказа). М.: Наука, 1961. 87 с.
20. Пантелеев И.Я., Попов И.В., Клевцов И.А., Макеев З.А., Царев П.В. Оползни и борьба с ними. Ставрополь: Ставропольское книжное издательство, 1964. 246 с.
21. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера, 2002. 312 с.
22. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. М.: Укрспецстройпроект, Центральное бюро научно-технической информации, 1986. 34 с.
23. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов. М.: ПНИИИС Госстроя СССР, Стройиздат, 1984. 45 с.
24. Руководство по проектированию противооползневых и противообвальных защитных сооружений. М.: ЦНИИС Минтрансстроя, 1983. 59 с.
25. Севостьянов В.В., Миндель И.Г., Трифонов Б.А. Количественные оценки сейсмических воздействий на ряде строительных площадок в г. Сочи по данным исследований последних лет // Материалы 6-й Всероссийской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию с международным участием. Сочи, 2005. 45 с.
26. Серый В.В., Батурина А.Н., Лаврентьев Г.И. Отчет по инженерно-геологическим изысканиям туристско-спортивного горноклиматического курорта «Красная Поляна» с учетом развития горноклиматического курорта Сочи, 52 тыс. га: производственный отчет. М.: ОАО «Мосгипротранс», 2007. 91 с.
27. Федорова В.В., Лысак Д.П. Физико-географические, погодно-климатические и сезонные особенности района проведения игр. Местные особенности основных синоптических процессов. Сочи: Гидрометцентр, 2014. URL: <http://sochi.meteoinfo.ru/climate>.
28. Шустер Р., Кризек Р. Оползни. Исследование и укрепление / пер. А.А. Варги, Р.Р. Тизделя под ред. Г.С. Золотарева. М.: Мир, 1981. 243 с.
29. Althuwaynee F.O., Pradhan B., Park H., Lee J.H. A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge — based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping // Catena. 2014. № 114. P. 21–36.
30. Ghimire M. Landslide occurrence and its relation with terrain factors in the Siwalik Hills, Nepal: case study of susceptibility assessment in three basins // Natural Hazards. 2011. № 56. P. 299–320.
31. Liu J.P., Zeng Z.P., Liu H.Q., Wang H.B. A rough set approach to analyze factors affecting landslide incidence // Computer and Geosciences. 2011. № 37. P. 1311–1317.
32. Wang X., Zhang L., Wang S., Lari S. Regional landslide susceptibility zoning with considering the aggregation of landslide points and the weights of factors // Landslides. 2013. № 11. P. 399–409.
33. Weng M., Wu M., Ning S., Jou Y. Evaluating triggering and causative factors of landslides in Lawnon River Basin, Taiwan // Engineering Geology. 2011. № 123. P. 72–82.

TIPIFICATION OF LANDSLIDES IN THE MZYMTA RIVER VALLEY FOR THE PURPOSE OF SUBSTANTIATION OF ENGINEERING PROTECTION

MININA M.V.

Postgraduate student of the Engineering and Ecological Geology Department of the Geology Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow, minina86@yandex.ru

KOROLEV V.A.

Professor of the Engineering and Ecological Geology Department of the Geology Faculty of Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of science in Geology and Mineralogy), Moscow, korolev@geol.msu.ru

The XXII Olympic Winter Games took place in the Mzymta river valley (North-West Caucasus, Russian Federation). Effective development of the infrastructure in this region is very difficult because of complex geological conditions.

Folded mountain territory of the Mzymta river valley, intensive erosion network, various lithological composition of bedrocks with different physical and mechanical properties, presence of genetically diverse Quaternary formations, significant volumes of atmospheric precipitation, dense network of tectonic faults, seismic activity have created favourable conditions for intensive development of dangerous geological processes such as landfalls, landslides, mudflows, avalanches, river erosion, floods. Among them the landslide process requires the most careful and detailed investigations.

During creation of the infrastructure for the Olympic Games a significant landslide protection system was organised, including retaining walls, drainage systems, phytomelioration measures, etc. However, in many cases stabilization of hazardous processes has not been achieved.

Difficulties of organisation of landslide protection, lack of effectiveness of engineering activities and very high cost are often associated with such factors as lack of comprehensive assessment of landslide hazards or methodically incorrect engineering-geological investigations. During preparing infrastructure for Olympic Games one of the main mistakes was lack of interoperable technical solutions of various organizations due to virtue of departmental dissociation or different sources of financing, when construction of an object led to additional measures of engineering protection of another object located down the slope.

Effectiveness of engineering protection can be achieved by developing typical protection schemes against corresponding typical landslides that can significantly reduce the cost of carrying out protective activities.

Analysis of literature sources that describe the principles of substantiation of engineering protection made it possible to identify a number of qualitative and quantitative characteristics determined the engineering protection. On the basis of these characteristics the authors identified five main types of landslides that are common in the Mzymta



river valley. These characteristics are: the mechanism of movement, width, length, depth of a landslide, the hydrogeological conditions, the average slope inclination, the lithological composition, the landslide formation factors.

Analysis of geological reports and field investigation data have showed that the typical landslides by their movement mechanisms are: rotational, translational, flow, shallow, complex (slide-and-flow combination) landslides.

Hydrogeological conditions of landslides are very variable. But as a rule in the Mzymta river valley three types of hydrogeological conditions occur: (1) sporadic distribution of groundwater; (2) one or two aquifers in proluvial and talus deposits at the depth of 1,3–14,0 m with the hydraulic head of 2,5–6,0 m; (3) fracture water in bedrocks.

To calculate the typical slope inclinations, widths, lengths and depths of the distinguished landslides types, the authors computed histograms of distribution of above mentioned characteristics. The values on the histograms between the lower and upper quartiles were determined as a typical values characterizing five types of landslides.

The quartile method is very useful when it is necessary to determine typical values of great volumes of data.

Application of the binary logistic regression method permitted to identify the lithological compositions of the typical landslides. The corresponding geotechnical properties were identified, too.

Besides, using the logistic regression method made it possible to assess the significance of the each landslide factor.

More detailed description of the distinguished landslide types is presented below.

I. Rotational landslides (cutting block landslides). The landslide deformation in this case is shear displacement of the landslide body by concave surface. Deformations are sequential displacement of blocks cut from the hillside and forming the surface like terraces. The average thickness of landslide masses is 4–25 m. The average slope inclination

of the landslide surface is 15–28°. Landslides of this type mainly develop in mudstones with interlayers of siltstones and sandstones, as well as in marls and limestones.

II. Translational landslides (block sliding landslides).

The landslide deformation in this case is shear displacement of the landslide body by flat surface. They have the same main geometrical and geomorphological characteristics as rotational landslides have.

III. Flow landslides (liquefaction landslides). The landslide deformation is displacement of the landslide masses in the form of plastic flow; the deformations at the ground surface are greater than at the displacement surface. Sliding surface is confined with the top of the bedrock that are the waterproof layer. The average thickness of the landslide masses is 3–12 m. The average slope inclination is 10–26°. The lithological composition is predominantly represented by marly clays, mudstones with interlayer of siltstones, clay marls.

IV. Shallow landslides (superficial slipouts and earthflows). The landslides of this type result from local overwetting of slopes by groundwater and precipitation. The maximal thickness of the landslide masses is 3 m. The average slope inclination is 10–30°. The lithological composition is presented by clays and loams with inclusions of gravel and boulders. Shallow landslides usually occur within existing landslide bodies.

V. Complex landslides (combined landslides of shear and viscoelastic flow). They undergo a combination of two motion types such as sliding and flowing. The average thickness is 8–30 m. The average slope inclination is 10–28°. The lithological composition is mainly presented by siltstones and calcareous clays, mudstones, marls, limestones.

Thus, considering the structures of the five landslide types and the selected landslide characteristics, one can substantiate five standard schemes of comprehensive landslide engineering protection.

REFERENCES

1. Aniesi V., Kostanso D., Minina M.V., Korolev V.A., Rotiliano E. *Primenenie statisticheskikh neparametricheskikh metodov dlya otsenki faktorov opolznevnykh protsessov na territorii rayonov Scillato i Kal'tavuturo (o. Sitsiliya)* [Application of statistical nonparametric methods to assess the factors of landslide processes in the territory of the districts of Scillato and Caltavuturo (the Sicily island)] // *Sergeevskie chteniya*. Vyp. 15. *Materialy godichnoy sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoy geologii i gidrogeologii* [Sergeev readings. Vol. 15. Proceedings of the annual session of the Scientific Council on Problems of Environmental Geoscience, Engineering Geology and Hydrogeology of the RAS]. M.: Izd-vo RUDN, 2013. S. 101–105 (Rus.).
2. Bondarik G.K., Pendin V.V., Yarg L.A. *Inzhenernaya geodinamika* [Engineering geodynamics]. M.: KDU, 2007. 439 s. (Rus.).
3. Drozhzhina K.V. *Osobennosti prirodno-klimaticheskikh usloviy basseyna reki Mzymta dlya tseley rekreatsionnoy deyatel'nosti* [Features of natural-climatic conditions in the basin of the Mzymta river for recreational activities] // *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2013. № 5. S. 196–198. (Rus.).
4. Izmaylov Ya.I., Polishchuk A.T. *O rezul'tatakh regional'nogo obsledovaniya ekzogennykh geologicheskikh protsessov na territorii Krasnodarskogo kraia: proizvodstvennyy otchet* [On the results of regional surveys of exogenous geological processes in the Krasnodar Territory: production report]. Essentuki: OAO «Sevkavgeologiya», 1982. 67 s. (Rus.).
5. Korolev V.A. *Inzhenernaya zashchita territoriy i sooruzheniy* [Engineering protection of territories and structures]. M.: KDU, 2013. 470 s. (Rus.).
6. Kriger N.I. *Inzhenerno-geologicheskii analiz primeneniya protivopolznevnykh meropriyatiy na Chernomorskom poberezh'e Kryma i Kavkaza* [Engineering-geological analysis of application of anti-landslide measures at the Black Sea coast of the Crimea and the Caucasus]. M.: Stroyizdat, 1976. 233 s. (Rus.).
7. Lavrishchev V.A., Grekov I.I., Bashkirov A.N., Semenov V.M., Chernykh V.I., Prokuronov P.V., Saakov V.G., Gorshkov A.S., Shel'ting S.K. *Poyasnitel'naya zapiska k gosudarstvennoy geologicheskoy karte Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000, list K-37-IV* [Explanatory note to the state geological map of the Russian Federation, scale of 1:200 000, sheet of K-37-IV]. SPb.: FGUP «Kavkazgeols»emka», 1999 (Rus.).
8. Lavrishchev V.A., Prutskiy N.I., Semenov V.M. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000, list K-37-V* [State geological map of the Russian Federation, scale of 1:200 000, sheet of K-37-V]. SPb.: FGUP «Kavkazgeols»emka», 2002 (Rus.).

9. *Lavrishchev V.A., Prutskiy N.I., Semenov V.M., Bashkirov A.N., Grekov I.I., Chernykh V.I., Prokuronov P.V., Saakov V.G.* Poyasnitel'naya zapiska k gosudarstvennoy geologicheskoy karte Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000 (karta chetvertichnykh otlozheniy), list K-37-V [Explanatory note to the state geological map of the Russian Federation, scale of 1:200 000 (map of Quaternary deposits), sheet of K-37-V]. SPb.: FGUP «Kavkazgeols»emka», 2000 (Rus.).
10. *Lavrishchev V.A., Semenukha I.N., Andreev V.M., Gorshkov A.S.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000, list K-37-IV [State geological map of the Russian Federation, scale of 1:200 000, sheet of K-37-IV]. SPb.: FGUP «Kavkazgeols»emka», GNTs GGP NPO «Yuzhmorgeologiya», 2000 (Rus.).
11. Metodicheskie rekomendatsii po predotvrashcheniyu opolzneyn na avtomobil'nykh dorogakh Tadzhikskoy SSR [Methodological recommendations on prevention of landslides at automobile roads of the Tajik SSR]. M.: SoyuzdorNII, 1977. 34 s. (Rus.).
12. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu i stroitel'stvu podderzhivayushchikh sooruzheniy zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog v opolznevykh rayonakh na baze buronabivnykh svay i ankernykh kreplenyi [Methodological recommendations on design and construction of supporting structures of automobile road subgrades in landslide areas on the basis of bored piles and anchorings]. M.: SoyuzdorNII, 1988. 56 s. (Rus.).
13. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu i stroitel'stvu svaynykh protivopolznevykh konstruksiy na avtomobil'nykh dorogakh [Methodological recommendations on design and construction of pile anti-landslide structures at automobile roads]. M.: SoyuzdorNII, 1977. 43 s. (Rus.).
14. Metodicheskie rekomendatsii po protivopolznevnym meropriyatiyam na avtomobil'nykh dorogakh v usloviyakh Moldavskoy SSR [Methodological recommendations on anti-landslide measures at automobile roads in the conditions of the Moldavian SSR]. M.: SoyuzdorNII, 1975. 51 s. (Rus.).
15. *Nesmeyanov S.A.* Inzhenernaya geotektonika [Engineering geotectonics]. M.: Nauka, 2004. 780 s. (Rus.).
16. *Nesmeyanov S.A.* Neostrukturnoe rayonirovanie Severo-Zapadnogo Kavkaza (operezhayushchie issledovaniya dlya inzhenernykh izyskaniy) [Neotectonic zoning of the Northwest Caucasus (advanced investigations for engineering surveys)]. M.: Nedra, 1992. 254 s. (Rus.).
17. *Ostrovskiy A.B.* Otchet o rezul'tatakh inzhenerno-geologicheskoy s'emki masshtaba 1:25 000 Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza mezhdru Tuapse i Adlerom: proizvodstvennyy otchet [Report on the results of engineering-geological survey of the 1:25 000 scale of the Black Sea coast between Tuapse and Adler: production report]. Zheleznovodsk: OAO «Kavkazgidrogeologiya», 1972. 457 s. (Rus.).
18. *Paklin N.B., Oreshkov V.I.* Biznes-analitika: ot dannykh k znaniyam (+CD) [Business-analitica: from data to knowledge (+CD)]. SPb.: Piter, 2013. 704 s. (Rus.).
19. *Pal'shin G.B., Ostrovskiy A.B., Osipov A.E., Korobkina N.S.* O printsipakh rayonirovaniya i prognoza opolznevykh yavleniy v gorno-skladchatykh rayonakh (na primere Chernomorskogo poberezh'ya Zapadnogo Kavkaza) [On the principles of zoning and forecasting of landslide phenomena in mountain-folded areas (by the example of the Black Sea coast of the Western Caucasus)]. M.: Nauka, 1961. 87 s. (Rus.).
20. *Pantelev I.Ya., Popov I.V., Klevtsov I.A., Makeev Z.A., Tsarev P.V.* Opolzni i bor'ba s nimi [Landslides and struggle against them]. Stavropol': Stavropol'skoe knizhnoe izdatel'stvo, 1964. 246 s. (Rus.).
21. *Rebrova O.Yu.* Statisticheskii analiz meditsinskikh dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTICA [Statistical analysis of medical data. Application of the STATISTICA software package]. M.: MediaSfera, 2002. 312 s. (Rus.).
22. Rekomendatsii po vyboru metodov rascheta koeffitsienta ustoychivosti sklona i opolznevnogo davleniya [Recommendations on choice of methods of calculating the slope stability coefficient and the landslide pressure]. M.: Ukrspetsstroyproekt, Tsentral'noe byuro nauchno-tekhnicheskoy informatsii, 1986. 34 s. (Rus.).
23. Rekomendatsii po kolichestvennoy otsenke ustoychivosti opolznevykh sklonov [Recommendations on quantitative assessment of the landslide slope stability]. M.: PNIIS Gosstroya SSSR, Stroyizdat, 1984. 45 s. (Rus.).
24. Rukovodstvo po proektirovaniyu protivopolznevykh i protivooval'nykh zashchitnykh sooruzheniy [Handbook on design of anti-landslide and anti-landfall protection structures]. M.: TsNIIS Mintransstroya, 1983. 59 s. (Rus.).
25. *Sevast'yanov V.V., Mindel' I.G., Trifonov B.A.* Kolichestvennye otsenki seismicheskikh vozdeystviy na ryade stroitel'nykh ploshchadok v g. Sochi po dannym issledovaniy poslednykh let [Quantitative estimations of seismic effects at a number of construction sites in Sochi according to recent research data] / Materialy 6-y Vserossiyskoy natsional'noy konferentsii po seismostoykomu stroitel'stvu i seismicheskomu rayonirovaniyu s mezhdunarodnym uchastiem [Proceedings of the 6-th All-Russian national conference on antiseismic construction and seismic zoning with international participation]. Sochi, 2005. 45 s. (Rus.).
26. *Seryy V.V., Baturina A.N., Lavrent'ev G.I.* Otchet po inzhenerno-geologicheskim izyskaniyam turistsko-sportivnogo gornoklimaticheskogo kurorta «Krasnaya Polyana» s uchetom razvitiya gornoklimaticheskogo kurorta Sochi, 52 tys. ga: proizvodstvennyy otchet [Report on engineering-geological surveys of the tourist-sports mountain climatic resort of «Krasnaya Polyana» with taking into consideration of development of the mountain climatic resort of Sochi, 52 th. Ha: production report]. M.: OAO «Mosgiptrotrans», 2007. 91 s. (Rus.).
27. *Fedorova V.V., Lysak D.P.* Fiziko-geograficheskie, pogodno-klimaticheskie i sezonnye osobennosti rayona provedeniya igr. Mestnye osobennosti osnovnykh sinopticheskikh protsessov [Physical-geographical, weather-climatic and seasonal features of the area of games. Local features of the main synoptic processes]. Sochi: Gidrometsentr, 2014. URL: <http://sochi.meteoinfo.ru/climate> (Rus.).
28. *Shuster R., Krizek R.* Opolzni. Issledovanie i ukreplenie [Landslides. Research and strengthening] / Per. [Translation] A.A. Vargi, R.R. Tizdelya pod red. [edited by] G.S. Zolotareva. M.: Mir, 1981. 243 s. (Rus.).
29. *Althuwaynee F.O., Pradhan B., Park H., Lee J.H.* A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge — based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping // *Catena*. 2014. № 114. P. 21–36.
30. *Ghimire M.* Landslide occurrence and its relation with terrain factors in the Siwalik Hills, Nepal: case study of susceptibility assessment in three basins // *Natural Hazards*. 2011. № 56. P. 299–320.
31. *Liu J.P., Zeng Z.P., Liu H.Q., Wang H.B.* A rough set approach to analyze factors affecting landslide incidence // *Computer and Geosciences*. 2011. № 37. P. 1311–1317.
32. *Wang X., Zhang L., Wang S., Lari S.* Regional landslide susceptibility zoning with considering the aggregation of landslide points and the weights of factors // *Landslides*. 2013. № 11. P. 399–409.
33. *Weng M., Wu M., Ning S., Jou Y.* Evaluating triggering and causative factors of landslides in Lawnon River Basin, Taiwan // *Engineering Geology*. 2011. № 123. P. 72–82.