



ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СКЛОНОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ДОЛИНЕ РУЧЬЯ ПЕСЧАНКА (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ СКЛОН ХРЕБТА ЧЕРСКОГО)

FEATURES OF DEVELOPMENT OF SLOPE DEFORMATIONS ON A SLOPE IN THE PESCHANKA BROOK VALLEY (THE NORTH-WESTERN SLOPE OF THE CHERSKIY MOUNTAIN RIDGE)

БАБЕЛЛО В.А.

Профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Забайкальского государственного университета, д.т.н., г. Чита, babelloviktor@mail.ru

СМОЛИЧ С.В.

Заместитель декана горного факультета Забайкальского государственного университета, к.т.н., г. Чита, chita-ssv@ya.ru

ВАЛЬЦЕВА Т.Ю.

Доцент Хабаровского института железнодорожного транспорта, к.т.н., г. Хабаровск

КАЛИГИН С.М.

Начальник отдела изысканий ООО «Дормостпроект», г. Чита

BABELLO V.A.

Professor of the Hydrogeology and Engineering Geology Department of the Trans-Baikal State University, DSc (doctor of science in Technics), Chita, babelloviktor@mail.ru

SMOLICH S.V.

Deputy dean of the Mining Faculty of the Trans-Baikal State University, PhD (candidate of science in Technics), Chita, chita-ssv@yandex.ru

VALTSEVA T.Y.

Associate professor of the Khabarovsk Institute of Railway Transport, PhD (candidate of science in Technics), Khabarovsk

KALIGIN S.M.

Head of the Engineering Survey Department of the «Dormostproekt» LLC, Chita

Ключевые слова:

склоны; деформационные процессы; многолетнемерзлые грунты; деградация; локальные чаши оттаивания; электротомография.

Key words:

slopes; deformation processes; permafrost soils; degradation; local thawing basins (bowls); electrical tomography.

Аннотация

В работе приведены результаты изучения деформационных процессов на сложном многолетнемерзлыми и тальми грунтами склоне долины ручья Песчанка (на участке реконструкции автодороги Новотроицк — Песчанка, проходящей по северо-западному склону хребта Черского), полученные на основе значительного объема полевых, лабораторных и геофизических исследований. Установлены механизмы развития деформаций отдельных участков склона и предложены мероприятия по их стабилизации.

Abstract

The article presents research results of deformation processes on a slope of the Peschanka brook valley consisted of permafrost and thawed soils (in the area of reconstruction of the «Novotroitsk — Peschanka» automobile road that passes on the north-western slope of the Cherskiy mountain ridge). These results were obtained on the basis of significant amounts of field, laboratory and geophysical investigations. Deformation development mechanisms of various sections of the slope are determined. Some measures to stabilize them are proposed.

Основной особенностью строительства и эксплуатации линейных сооружений на многолетнемерзлых грунтах (ММГ) является то, что они работают в сложной, постоянно меняющейся, слабо изученной и потенциально опасной среде. Наиболее трудно прогнозируемыми и аварийными в этой ситуации являются деформационные процессы на склонах по причине их внезапности и возникновения значительных деформаций, вызывающих нарушение устойчивости склонов и основания земляного полотна дорог. Причем в каждом конкретном случае имеется свой специфический комплекс их причин как естественной геологической, так и техногенной природы.

Обследование эксплуатируемых дорог в зоне распространения ММГ показывает, что на значительной части из них происходят многолетние затухающие и вновь возобновляющиеся неравномерные осадки. В связи с этим возрастает актуальность изучения устойчивости проектируемых, строящихся и эксплуатируемых линейных сооружений на склонах, сложенных многолетнемерзлыми грунтами, особенно при воздействии на них динамических и статических нагрузок.

В качестве примера рассмотрим случай на участке реконструкции подъездной автодороги федерального значения Новотроицк — Песчанка, проходящей по северо-западному склону хребта Черского и соединяющей трассы Чита — Чернышевск и Чита — Забайкальск.

Рассматриваемый участок начинается на расстоянии 13,7 км от центра г. Читы и имеет протяженность около 7 км. Он расположен на склоне, имеющем верхнюю и нижнюю части относительно оси дороги.

Нижняя часть склона приурочена к левому берегу долины ручья Песчанка в его среднем течении. Ширина низкой поймы ручья составляет 10–15 м, ширина русла — 2–3 м.

Часть склона, на которой находится участок исследований, имеет северо-западную экспозицию и абсолютные отметки 684–730 м. Перепад высот составляет около 50 м. Крутизна склона в пределах участка изменяется в значительных пределах, что обусловлено его ступенчатым строением. В верхней части склона отмечается наличие плоских заболоченных поверхностей.

Проблема данной части автодороги заключается в систематических многолетних просадках ее земляного полотна и деформациях склона, препятствующих ее нормальной эксплуатации.

Первые сведения о документально подтвержденных деформациях рассматриваемой части автодороги относятся к середине 90-х годов прошлого века. С целью выявления причин возникших деформационных процессов и разработки соответствующих рекомендаций на ней работали такие организации, как ЧитГУ, НПП «ТрансИГЭМ», ООО «Дормостпроект», НВП «ДВ-Геосинтетика».

Так, по данным В.Г. Кондратьева (НПП «ТрансИГЭМ»), первый оползневый участок был расположен на 5-м км подъездной автодороги к поселку Песчанка от ПК 44+80 до ПК 46+50. Причиной активизации оползневых процессов на нем явилось нарушение гидрогеологического режима и теплового баланса в процессе строительства и эксплуатации автодороги, что, в свою очередь, привело к деградации многолетнемерзлых пород. Протяженность части автодороги с развитием оползневых процессов составляла около 170 м, а с нагорной стороны трассы признаки оползнеобразования прослеживались на расстоянии до 500–1000 м. Вследствие смещения грунтовых масс и основания земляного полотна дороги разрушилась железобетонная водопропускная труба, прекратился пропуск поверхностных и подземных вод в нижнюю относительно дороги сторону, с нагорной стороны у дороги возникло озерко глубиной до 1–2 м. В.Г. Кондратьевым было высказано предположение о том, что смещение оползневых масс, вероятнее всего, происходит по кровле ММГ.

Второй оползневый участок пересекается подъездной автодорогой к поселку Песчанка на протяжении 120 м от ПК 48+50 до ПК 49+70. Деформации здесь были замечены позднее, чем на первом участке. Наиболее активно они проявлялись в осенне-зимний период 2007–2008 гг.

Интересно отметить, что сотрудниками НПП «ТрансИГЭМ» был сделан вывод о том, что глубина залегания кровли многолетнемерзлых грунтов изменяется в верхней относительно дороги части склона от 3,5 до 8 м, в основании дороги — от 6 до 14 м, в нижней части — от 5 до 11 м. Это свидетельствует об уклоне поверхности ММГ. На деформирующихся участках ПК 44+80 — ПК 46+50 и ПК 48+50 — ПК 49+70 залегали многолетнемерзлые дисперсные грунты мощностью в несколько десятков метров. Так, по данным бурения скважины № 421, выполненного ООО «Дормостпроект» в сентябре 2008 г. в 22 м выше

автодороги (у ПК 49+02), мощность ММГ составила более 25 м.

Годы, предшествовавшие 2013-му, начиная с лета 2008 г. были достаточно дождливыми, со снежными (для Забайкалья) зимами. При наличии абсолютного водоупора, каким являются ММГ, инфильтрующиеся талые дождевые воды аккумулировались в сезонно-талом слое, переувлажняя его. При этом во второй половине весны — начале лета грунты верхнего протаивающего слоя получали дополнительное увлажнение за счет весенних осадков и таяния снега, особенно на участках, на которых поверхностный и подпочвенный стоки затруднены. За счет этого произошли изменения консистенции грунтов, а следовательно, и деформации отдельных участков массива. Возникновению и развитию деформационных процессов способствовало также исключительно неоднородное строение суглинистой массы с частыми прослойками песков, супесей и щебенистыми включениями. Усугубляло ситуацию и отепляющее действие фильтрующихся по трещинам отрыва поверхностных вод.

Работы, проведенные ООО «Дормостпроект» в 2008 году, позволили выделить в основании рассматриваемого участка 25 инженерно-геологических элементов (ИГЭ), что свидетельствует о чрезвычайной сложности геологического строения объекта изучения. Однако основные слагающие элементы, влияющие на развитие деформационных процессов, представлены легкой супесью с дресвой в количестве от 10 до 20% и легким или тяжелым пылеватым суглинком от текучепластичной до мягкопластичной консистенции с дресвой (до 20%).

Обобщая материалы инженерно-геологических изысканий разных лет, следует отметить, что в большинстве случаев верхняя часть инженерно-геологических разрезов сложена пылеватоглинистыми грунтами, состоящими в основном из суглинков, консистенция которых хаотично изменяется по глубине от твердой до мягкопластичной. По прослойкам песка, супеси и дресвы отмечалось наличие грунтовых вод. Всеми скважинами, пробуренными на участке, были обнаружены многолетнемерзлые грунты, верхняя граница которых располагалась на глубине от 2,9 до 10,9 м. Среднегодовая температура грунтов находилась в пределах от минус 0,2 до плюс 0,4 °С.

К числу особенностей строения разреза на участке реконструкции автодороги можно отнести беспорядочное переслаивание суглинков с линзами песка, дресвы, супесей, крупнообломочных включений, а также наличие таликовых зон и надмерзлотных вод. Подобное сложное геолого-литологическое строение способствует быстрому водонасыщению рассматриваемого массива и переходу слагающих его глинистых грунтов в мягко- и текучепластичную консистенцию. Усугубляет ситуацию и то, что на участке «ПК-45+00 — ПК-46+00» в верхней части инженерно-геологического разреза находятся техногенные грунты, состоящие в основном из неуплотненных суглинков с включениями растительных остатков, торфа, щебня. Вероятно, данными грунтами при строительстве подъездной автодороги был пересыпан лог, а водоток был направлен в водопропускную трубу (на ПК-46+24), конструкция которой впоследствии подверглась разрушению. По-



добная техногенная масса неуплотненных суглинков, по-видимому, и послужила катализатором негативных процессов на данном участке.

Другой особенностью участка реконструкции автодороги является наличие зоны оттаявших грунтов в основании ее земляного полотна. Нижняя граница чаши оттаивания на участке «Восточный» (ПК-44+00 — ПК-46+24) в ноябре 2013 года достигла глубины 11,9 м. (рис. 1). Следует отметить, что чашу оттаивания следует рассматривать как своеобразный аккумулятор не только подземных, но и поверхностных вод, фильтрующихся по трещинам разрыва дневной поверхности в верхней относительно оси дороги части склона.

Конечным результатом исследования стало мнение о том, что рассматриваемый участок расположен в области развития «древнего оползня», где происходит смещение оползневой массы по границе ММГ, а автодорога располагается на солифлюкционно-оползневой ступени. Мощность сплошного оползневого тела при этом должна была составлять от 10 до 20 м с верхней от оси дороги стороны и до 15 м с нижней. Эти данные легли в основу проекта укрепления склона с применением свайного поля.

При геотехническом моделировании, выполненном НВП «ДВ-Геосинтетика», была принята гипотеза о том, что поверхность обрушения находится в слое оттаивающего переувлажненного грунта небольшой мощности, залегающего выше поверхности ММГ, где грунтовый массив, ограниченный этой поверхностью, находится в состоянии предельного равновесия и имеет коэффициент запаса устойчивости, близкий к еди-

нице. Это, в свою очередь, позволило разработчикам проекта (с использованием программного геотехнического комплекса Plaxis 2D V8) методом обратного расчета определить основные показатели физико-механических свойств грунтов, в которых должна проходить предполагаемая поверхность скольжения (прослой грунтов выше кровли ММГ) согласно рекомендациям [3]. При коэффициенте запаса устойчивости склона, равном 1,017, с помощью обратного расчета были приняты следующие характеристики: удельный вес $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$; модуль Юнга $E = 5 \text{ 000 кН/м}^2$; коэффициент Пуассона $\nu = 0,1$; удельное сцепление $c = 2 \text{ кПа}$; угол внутреннего трения $\phi = 3^\circ$.

По результатам моделирования авторами проекта (НВП «ДВ-Геосинтетика») был сделан вывод о том, что зоны пластических деформаций находятся в прослой оттаявшего грунта, по которому и подвержен оползанию рассматриваемый массив. Это послужило основой для разработки противооползневых мероприятий в целом.

При реализации начальной стадии проекта в 2013 году ситуация на участке резко изменилась. В конце октября при разработке котлована на глубину 3,5-4,0 м с целью замены грунта в основании земляного полотна произошла резкая активизация оседания участков поверхности верхней относительно оси дороги части склона с образованием ступеней высотой до 0,35-0,50 м, продольных трещин длиной до 25-35 м, шириной 0,1-0,5 м и глубиной от 0,5 м (до кровли многолетнемерзлых грунтов). В процессе разработки котлована также был отмечен выход подземных вод, при-

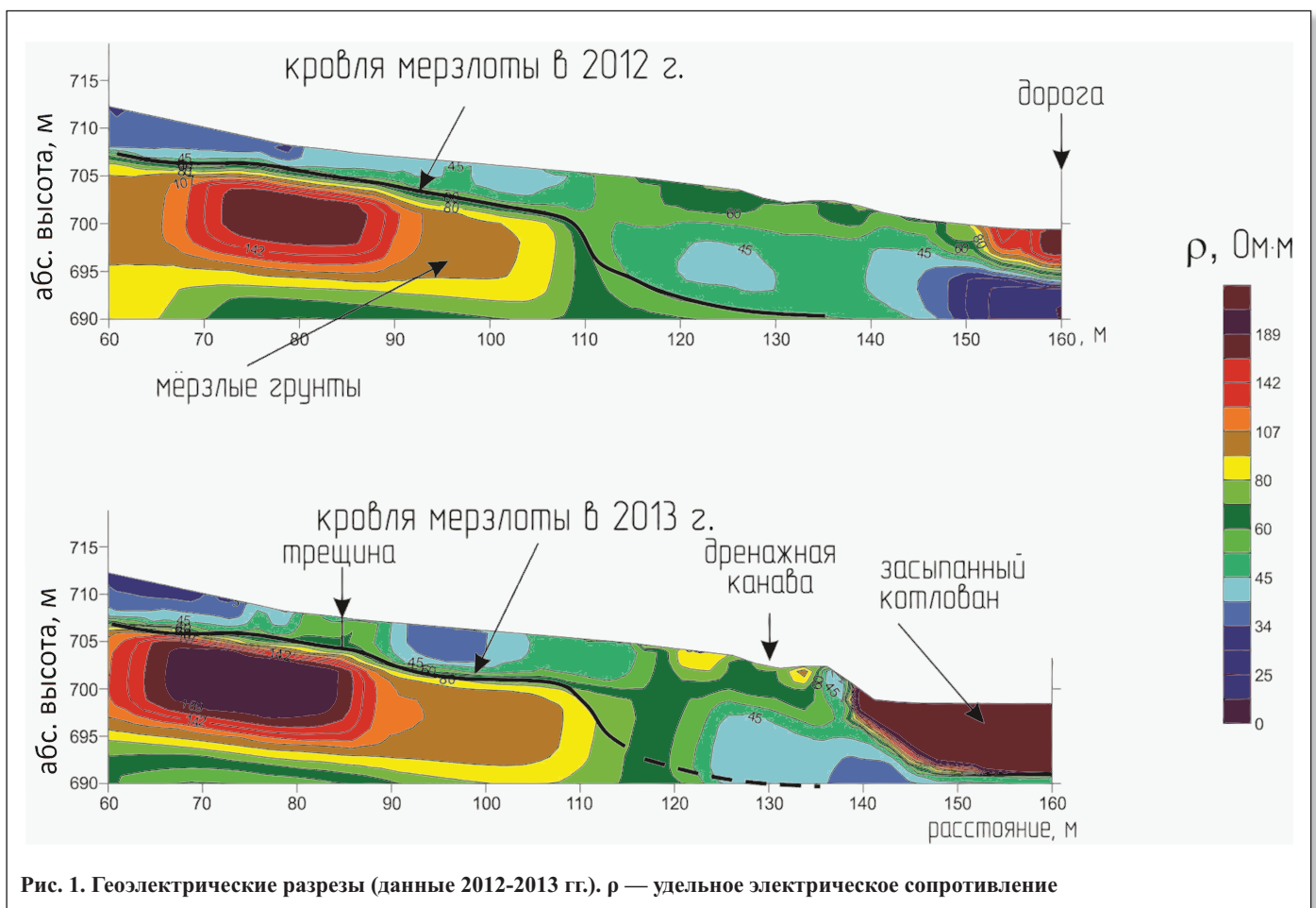


Рис. 1. Геоэлектрические разрезы (данные 2012-2013 гг.). ρ — удельное электрическое сопротивление

уроченных к маломощному водоносному горизонту, идущему по кровле ММГ.

Для выявления причин и механизма деформаций в верхней части склона в начале ноября 2013 года в срочном порядке были проведены дополнительные работы. Были пробурены скважины в верхней, средней и нижней относительно дороги частях склона и выполнены геофизические исследования методом электротомографии. Исследования были проведены старшим научным сотрудником Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (г. Новосибирск) кандидатом геолог-минералогических наук В.В. Оленченко. На рисунке 1 сопоставлены геоэлектрические разрезы, построенные по данным исследований 2012–2013 годов.

Одновременно двумя независимыми организациями были выполнены геодезические наблюдения за состоянием частей склона, в том числе согласно рекомендациям [2].

Согласно полученным результатам была выдвинута гипотеза о том, что одной из основных причин возникновения трещин отрыва и расслоения склона на отдельные блоки является просадка грунта в локальные чаши протаивания по кровле ММГ. Об этом же свидетельствуют и данные геодезических наблюдений.

Также следует отметить, что существенные деформации верхней части склона в пределах участка, ограниченного трещинами, были зафиксированы только в начальный период наблюдений (в первой и второй декадах ноября). В нижней же части каких-либо деформаций не было отмечено. Это позволило судить об устойчивом состоянии нижней части склона во время развития деформаций его верхней части.

Особый интерес вызывают данные наблюдений за состоянием вертикальной стенки котлована, примыкавшей к верхней части склона. Во время наибольшего развития вертикальных деформации отдельных частей склона (в ноябре 2013 г.) каких-либо горизонтальных смещений данной стенки котлована зафиксировано не было. К этому следует добавить, что котлован нахо-

дился в середине средней части склона, подвергнутой так называемой оползневой подвижке, и в этом случае горизонтальные деформации его вертикальной стенки должны были бы возникнуть.

В результате анализа полученных данных была принята к рассмотрению модель развития деформационного процесса на изучаемом склоне. Существенной особенностью этой модели является преобладающее влияние вертикальных деформаций отдельных блоков склона на его устойчивость. Это, в свою очередь, позволило провести расчеты устойчивости отдельных частей склона и основания рассматриваемого участка автодороги, а также разработать технические решения по их стабилизации.

В качестве основного мероприятия по повышению устойчивости склона в целом было принято предложение о целенаправленном изменении положения поверхности ММГ, являющейся одновременно и поверхностью скольжения грунтовых масс, находящихся выше этой поверхности.

С использованием программного комплекса FEM models было проведено геотехническое моделирование различных ситуаций в верхней относительно дороги части склона, например перепланировки поверхности путем ее уполаживания (рис. 2; 3).

Идея перепланировки поверхности верхней части склона обоснована следующими соображениями.

1. Известно, что при возрастании угла наклона поверхности скольжения λ (в данном случае по кровле ММГ) основную роль в развитии вертикальных деформаций начинают играть силы гравитации, в меньшей степени зависящие от характеристик прочности грунтов [1]. Таким образом, частичное снижение величины λ хотя бы в самой верхней части рассматриваемого участка склона будет играть положительную роль. Рекомендация авторов состояла в срезке сезонно-оттаивающего слоя грунта в верхней части склона в летний период с допущением оттаивания ММГ, что, в свою очередь, вызывает понижение уклона поверхности ММГ.

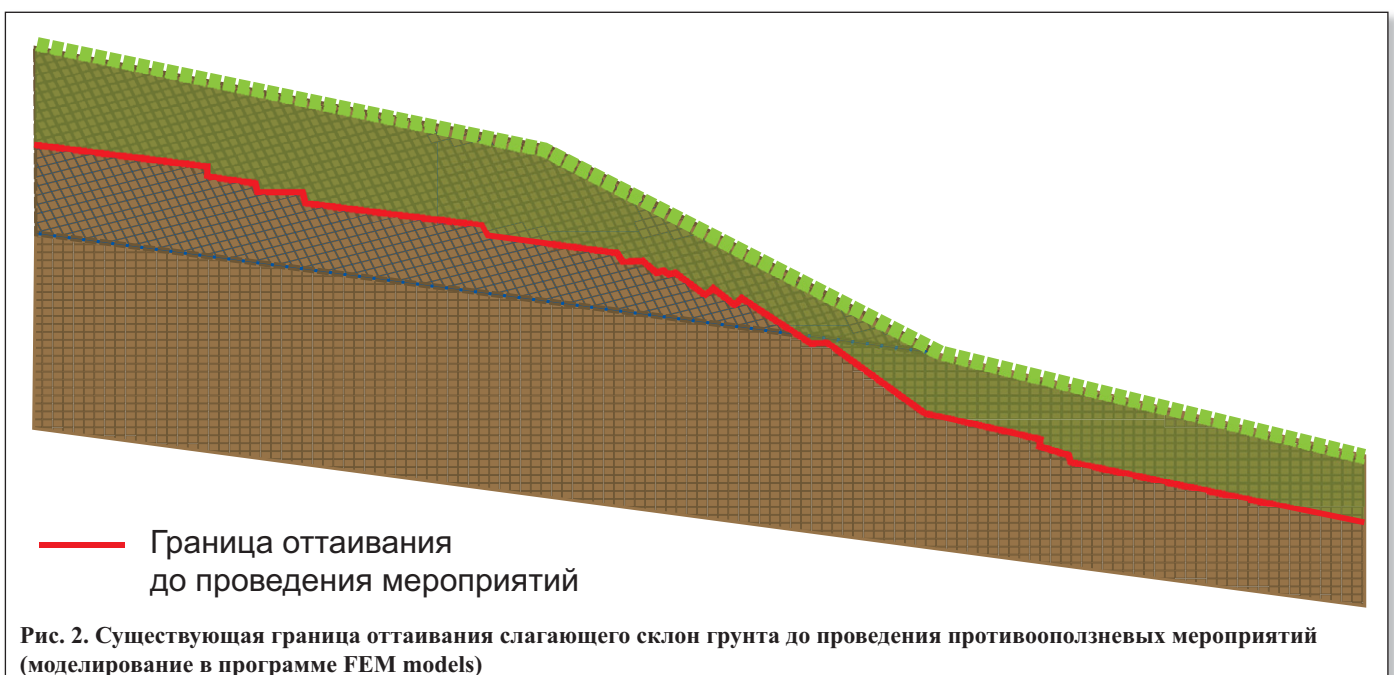
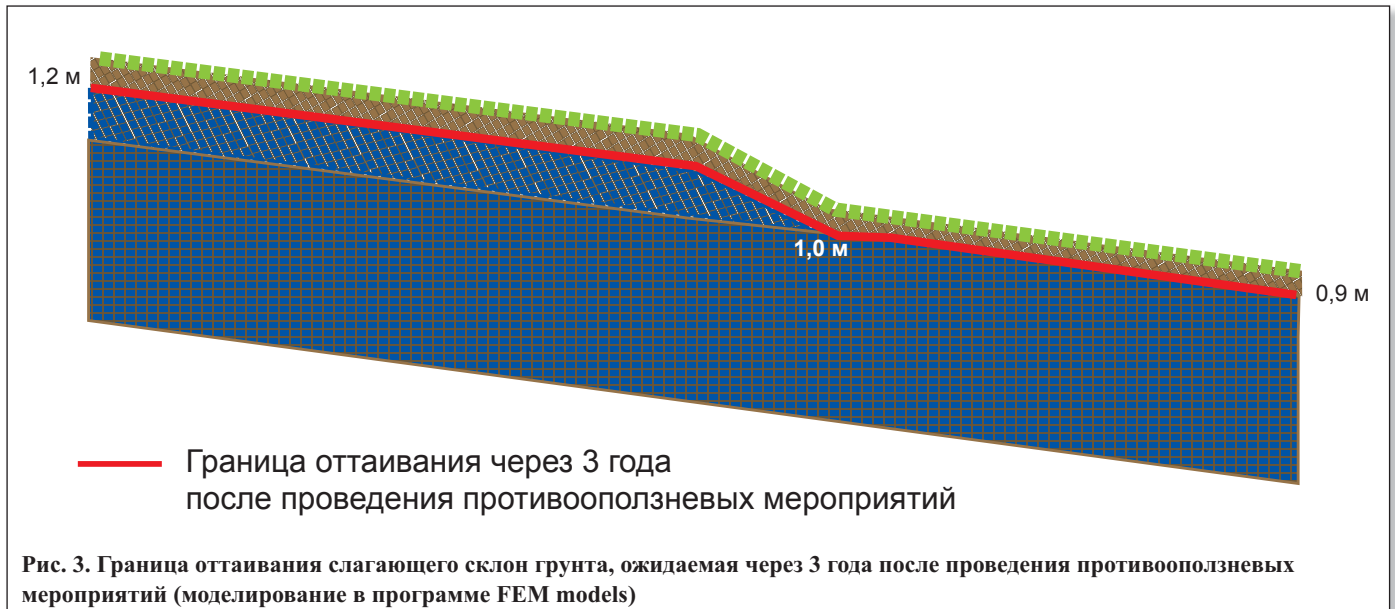


Рис. 2. Существующая граница оттаивания слагающего склон грунта до проведения противооползневых мероприятий (моделирование в программе FEM models)



2. Из рассмотрения формы и размеров деформирующегося массива грунта до и после планировки поверхности верхней части склона становится очевидным снижение предполагаемого оползневого давления грунта.

3. Перемещение и укладка «срезанных» грунтовых масс в продольном направлении относительно оси дороги с последующим уплотнением позволили закрыть доступ поверхностным водам к ММГ по старым и вновь образовавшимся в 2013 году трещинам и стабилизировать во времени положение кровли ММГ в нижней части склона за счет создания теплоизолирующего прослоя уложенного грунта. Результаты проведенного геотехнического моделирования представлены на рисунках 2 и 3.

Также с использованием программного комплекса SLOPE/W были выполнены расчеты устойчивости верхней части склона на участке ПК 45+32, где был зафиксирован максимальный угол наклона предполагаемой поверхности скольжения по кровле ММГ и где в ноябре 2013 года были отмечены максимальные вертикальные деформации.

В расчетах первой серии принималось естественное состояние склона с характеристиками грунта, взятыми из соответствующих отчетов по инженерно-геологическим изысканиям, и с существующим положением кровли ММГ. Во второй серии принимались поверхность склона после срезки его самой верхней части в пределах рассматриваемого участка и соответствующая поверхность многолетнемерзлых грунтов после их частичного оттаивания. Проведенные расчеты показали 25%-ное увеличение устойчивости склона после проведения рассматриваемого мероприятия.

Конечным результатом выполненного моделирования устойчивости склона явилось обоснование новых геометрических параметров его верхней относительно оси дороги части.

В конце декабря 2014 года на верхней части склона на расстоянии 40 м от его бровки была обнаружена изогнутая прерывистая трещина протяженностью около 80 м. Ее видимая глубина составила около 2 м при ширине раскрытия до 0,25 м. Поверхность стенок тре-

щины была шероховатой, бугристой. В это же время на асфальтовом покрытии у ПК 45+17 была зарегистрирована поперечная трещина шириной до 0,02 м. Последующие наблюдения (22.01.2015 г. и 24.02.2015 г.) за длиной и шириной раскрытия трещины показали относительно стабильное состояние склона и автодороги. В настоящее время регулярные наблюдения за их деформациями продолжаются.

Выводы

На основе проведенного компьютерного геотехнического моделирования возможных ситуаций было предложено техническое решение по стабилизации оползневого склона на рассматриваемом участке, обеспечивающее положение поверхности ММГ, безопасное с точки зрения его устойчивости.

В октябре 2014 года в результате проведенных работ по срезке верхней относительно оси дороги части склона и перемещению срезанных масс в нижнюю его часть предложенное техническое решение было реализовано, что позволило уменьшить предполагаемое оползневое давление в верхней части.

Причиной деформаций изучаемого склона стал рассмотренный в статье комплекс природно-техногенных факторов, под влиянием которых изменилось природное положение поверхности ММГ, сформировались чаши оттаивания и произошли нарушения сплошности склона в виде его разрывов на отдельные блоки. ❄

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие конструкции. М.: Стройиздат, 1979. 80 с.
2. Гречищев С.Е., Невечеря В.Л. Методические рекомендации по стационарному изучению криогенных физико-геологических процессов. М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1979. 72 с.
3. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России. 2001.