Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №4, Том 6 / 2019, No 4, Vol 6 <https://t-s.today/issue-4-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/01SATS419.pdf>

DOI: 10.15862/01SATS419 (<http://dx.doi.org/10.15862/01SATS419>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Рябухин А.К., Лейер Д.В., Тетер Ш.Р., Карпова М.С. Особенности моделирования габионных подпорных стен при инженерной защите автомобильных дорог на оползневых склонах // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №4, <https://t-s.today/PDF/01SATS419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/01SATS419

For citation:

Ryabukhin A.K., Leyer D.V., Teter Sh.R., Karpova M.S. (2019). Features of modeling gabion retaining walls for engineering protection of roads on landslide slopes. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/01SATS419.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/01SATS419

УДК 69.035.2

ГРНТИ 67.11.41

Рябухин Александр Константинович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия
Заведующий кафедрой «Строительные материалы и конструкции»
Кандидат технических наук
E-mail: r-a-k-1987@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=794284

Лейер Дарья Валерьевна

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия
Доцент кафедры «Строительные материалы и конструкции»
Кандидат технических наук
E-mail: dasha_leyer@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=794169

Тетер Шихамбий Русланович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия
Магистрант
E-mail: shiham01@mail.ru

Карпова Мария Станиславовна

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия
Старший лаборант кафедры «Строительные материалы и конструкции»
E-mail: smarias1997@gmail.com

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1014888

**Особенности моделирования габионных
подпорных стен при инженерной защите автомобильных
дорог на оползневых склонах**

Аннотация. При строительстве автомобильных дорог в горной местности часто требуется инженерная защита трассы от оползневых процессов. В настоящее время существует много конструкций, применяемых для защиты от оползней. Однако, перед инженерами ставится задача выбора оптимального конструктивного решения как с точки зрения границ области применения конструкций, так и по экономической эффективности. Кроме того,

возникает проблема корректного моделирования прогнозируемой ситуации. В статье рассмотрена инженерная защита строящейся автомобильной дороги в г. Сочи Краснодарского края. При исследовании территории на участке обнаружены три оползня, находящихся в предельном состоянии, эрозионные процессы, повышенный уровень грунтовых вод, плоскостной смыв, а также выветривание коренных пород при их вскрытии при прокладке трассы. Рассмотрено две схемы конструктивных решений с применением габионной конструкции как на естественном основании, так и на свайном. Выбор типа защитной конструкции обусловлен наличием как поверхностных, так и грунтовых вод, а также технико-экономическим сравнением (по сравнению с железобетонной подпорной стеной). Авторами проведен обзор существующих программных комплексов, используемых при расчете подземных сооружений, а также проанализированы основные методы расчета устойчивости склона и прочности конструкций. В результате исследования для моделирования оползневого склона были выбраны такие геотехнические программные комплексы как: Plaxis, GeoStudio, Geo5. Устойчивость склона была определена как для основного сочетания нагрузок, так и для особого (сейсмика 8 баллов) с помощью таких методов как: Phi/c reduction, метод Моргенштерна-Прайса и метод Шахунянца. Полученные результаты показали хорошую сходимость.

Ключевые слова: оползень; инженерная защита; габионная конструкция; свайное основание; компьютерное моделирование; автомобильная дорога; расчет; анализ; устойчивость склона

Введение

При строительстве новых автомобильных дорог на горных склонах часто требуется выполнение инженерной защиты трассы для обеспечения ее безопасной эксплуатации. Однако, разнообразие существующих защитных сооружений требует глубокого изучения не только области применения каждого вида конструкций, но и выявления особенностей их моделирования с использованием современных программных комплексов. Особенно остро стоит вопрос численного моделирования защитных сооружений при наличии оползневых склоновых процессов. В статье представлен обзор особенностей численного моделирования габионных конструкций в различных геотехнических программных комплексах. Кроме того, рассмотрен пример инженерной защиты автомобильной дороги в районе города Сочи с использованием комбинированных сооружений.

Исследование участка инженерной защиты

Строительство новой автомобильной дороги в городе Сочи Краснодарского края потребовало выполнения инженерной защиты трассы в связи с наличием сложных инженерно-геологических условий. На участке выделены следующие неблагоприятные физико-геологических процесса¹.

К экзогенным процессам на участке относятся:

¹ Технический отчет. Инженерно-геологические изыскания и геофизические исследования на объекте «Строительство автомобильной дороги Джубга – Сочи до границы с Республикой Грузия (на Тбилиси, Баку) на участке обхода г. Сочи ПК0–ПК194 (пусковой комплекс №2 ПК45–ПК82 и пусковой комплекс №3 ПК82–ПК134)». 2008-БИ-ИГИ / ООО «Сочитранстоннельпроект ТО-44». – Сочи: 2008.

- выветривание коренных пород (до состояния слабых глин) при вскрытии при подрезке склона;
- оползни;
- глубинная эрозия водотоками;
- плоскостной смыв в период обильных осадков.

К эндогенным процессам относится:

- высокая сейсмичность территории (8 баллов).

На участке исследований выделены несколько оползневых очагов:

- Оползень блокового типа с вектором смещения по падению пород (в западном направлении). Соскальзывание происходило по поверхности напластования в результате разуплотнения при выветривании и проникновении грунтовых вод до подготовленной поверхности смещения. При снижении устойчивости вышележащего склона произошло формирование обширного оползня срезания с головным уступом на южном склоне г. Навагинка. Вектор смещения при этом был южный.
- Оползень к западу от исследуемого участка между ПК92+80–ПК93+90. В начале характеризуемого интервала его головной уступ приближается на расстояние 15 м к оси автодороги. До ПК93+15 он прослеживается в западном откосе, постепенно удаляясь от оси автодороги. Далее к северу он расположен западнее верхней бровки откоса и лишь между ПК93+50–ПК93+60 прослежен в верхней части откоса в виде локального очага современной активизации.
- В районе ПК94+38 к оси автодороги на расстояние 15 м с запада приближается головной уступ оползня, ранее не изучавшегося. До ПК94+55 он приближается на расстояние 3,5 м к оси автодороги.

Кроме того, при визуальном обследовании были выявлены интенсивно развивающиеся процессы глубинной эрозии с образованием борозд и промоин. Глубина эрозионных борозд по результатам визуальных наблюдений составляют до 2 м (рис. 1–2). Согласно инженерно-геологическим изысканиям уровень грунтовых вод обнаружен на глубине от 1 м. В осенне-весенний периоды года «верховодка» наблюдается на всей исследуемой территории, а в западинах отмечается застой воды и глубинные промоины грунта.

При прокладке трассы между ПК92+50–ПК94+20 выполнен врез в первичный склон до отметок 179–180 м. По обочинам дороги образовались искусственные откосы высотой 20–22 м восточный и 10–15 м – западный. Автодорога сооружается в выемке водораздела между ручьём Малым (рекой Гнилушкой) и рекой Бзугу. С севера и юга участок ограничен строительной площадкой автодороги, с востока и запада – искусственными откосами, выше которых расположены территории частных домовладений.

В качестве мероприятий инженерной защиты автомобильной дороги была выбрана габионная подпорная стена. Это обусловлено наличием как поверхностных, так и грунтовых вод, а также технико-экономическими показателями. Данный выбор позволит не выполнять водоотводные мероприятия в застенном пространстве², а также гармонично вписать в рельеф

² ОДМ 218.2.049–2015 Рекомендации по проектированию и строительству габионных конструкций на автомобильных дорогах. М.: 2015.

подпорную стену при минимальных затратах (по сравнению с железобетонной подпорной стеной).

Рисунок 1. Общий вид защищаемого участка ПК93–ПК95 (вид справа)¹

Рисунок 2. Общий вид защищаемого участка ПК93–ПК95 (вид слева)¹

Численное моделирование защитных сооружений автомобильных дорог

В настоящее время имеется масса возможностей по выполнению как аналитических расчетов подпорных стен, так и численному моделированию защитных конструкций. Каждый программный комплекс обладает своими ограничениями, достоинствами и недостатками. Часто используемыми геотехническими программами являются *Plaxis* и *Midas*, основанные на методе конечных элементов, а также программа *GeoStudio*, где могут быть использованы как метод конечных элементов, так и методы общего предельного равновесия. Их достоинствами является возможность моделировать сложную геометрию склона, выполнять поэтапный расчет в соответствии со стадиями строительства, получать целостную картину работы системы «грунт-сооружение» и т. д. [1–5]. Однако, при моделировании габионных сооружений в рассматриваемых программах нет возможности четкого задания именно габионного элемента. В связи с этим, габионная конструкция в представленных программах моделируется как целостным неделимым элемент с высокими характеристиками. Согласно требованию

нормативных документов при расчете габионных конструкций необходимо выполнять 5 основных проверок (рис. 3)³. Все эти проверки можно выполнить в выше представленных программах, кроме проверки на внутреннее разрушение. Поэтому для полного расчета габионных конструкций используют специализированные программы: *Gawac* или *Geo5*, благодаря которым есть возможность проверки внутренней прочности блока, прочности габионной сетки, смещения блока по блоку и т. д.

а – нарушение общей устойчивости; б – нарушение несущей способности основания; в – сдвиг; г – опрокидывание; д – внутреннее разрушение

Рисунок 3. Основные проверки при расчете габионной стены³

При наличии активных оползневых процессов необходимо не только удержание поверхностных грунтов, но и требуется стабилизация смещающихся пород⁴. В связи с этим, при моделировании склона на защищаемом участке трассы рассмотрено две расчетные схемы:

- 1 расчетная схема: габионная конструкция на естественном основании (рис. 4);
- 2 расчетная схема: габионная конструкция на свайном основании (рис. 5).

При выполнении проверки общей устойчивости согласно расчетной схеме №1 было выявлено, что габионная стена на естественном основании не обеспечит общую устойчивость, а также устойчивость на сдвиг. Таким образом, при моделировании расчетной схемы №2 были

³ ОДМ 218.2.049-2015 Рекомендации по проектированию и строительству габионных конструкций на автомобильных дорогах. М.: 2015.

⁴ СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 22-02-2003).

приняты уже подобранные габионные элементы, обеспечивающие внутреннюю устойчивость блока, что определено с помощью программы *Geo5*, а свайное основании было рассчитано с использованием программ *Plaxis* и *GeoStudio* с учетом основных требований нормативных документов^{5,6}.

Рисунок 4. Расчетная схема №1 (разработано автором)

Рисунок 5. Расчетная схема №2 (разработано автором)

В работе определение устойчивости оползневого склона выполнено с помощью трех различных программных комплексов: *GeoStudio*, *Geo5* и *Plaxis*. При определении устойчивости склона в программе *GeoStudio* применен метод Моргенштерна-Прайса (метод сил и моментов). Основная формула метода:

$$F = \frac{\sum \{c \Delta x \sec \theta + [(W + \Delta S) \sec \theta - T \cdot \tan \theta] \tan \varphi\} \sec \theta}{\sum (W + \Delta S) \tan \theta},$$

где c – удельное сцепление грунта, кПа ;

⁵ СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* – М., 2011.

⁶ СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» – М., 2012.

Δx – ширина отсека, м;

φ – угол внутреннего трения, град;

W – вес грунта рассматриваемого отсека, кН;

θ – угол наклона поверхности сдвига среднего блока, м;

S – касательные межотсековые силы, кН;

E – нормальные межотсековые силы, кН;

T – сдвигающая сила, приложенная к поверхности скольжения, кН.

В программе *Geo5* использован метод Шахунянца, где коэффициент устойчивости определяется следующим образом:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (f_i \cdot N_i + c_i \cdot l_i + T_{i-yd}) \cdot \frac{\cos \beta_i}{\cos(\beta_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=n} T_{i-cd} \cdot \frac{\cos \beta_i}{\cos(\beta_i - \varphi_i)}},$$

где: f_i – коэффициент силы трения отсека по грунту, равный $f_i = \tan \varphi_i$;

N_i – нормальная составляющая к поверхности скольжения всех внутренних сил в отсеке;

T_i – касательная составляющая к поверхности скольжения всех внутренних сил в отсеке.

β_i – угол наклона подошвы отсека;

l_i – длина подошвы отсека;

c_i – удельное сцепление грунта ниже поверхности скольжения;

φ_i – угол внутреннего трения грунта на подошве отсека.

При использовании программы *Plaxis* устойчивость склона определяется методом *Phi/c reduction* в виде коэффициента безопасности, который представляет собой отношение максимально возможной прочности грунта $\tau_{пред}$ к минимальному значению, необходимому для обеспечения равновесия $\tau_{действ}$:

$$K_{st} = \frac{\tau_{пред}}{\tau_{действ}} = \frac{\sigma_n \cdot \tan \varphi' + c'}{\sigma_n \cdot \tan \varphi_n + c_r},$$

где: c' и φ' – исходные (начальные) параметры прочности;

σ_n – нормальное напряжение;

c_r и φ_r – параметры прочности, снижаемые в ходе расчета до минимальных значений, но достаточных для поддержания состояния предельного равновесия.

Полученные результаты расчетов

Обобщая результаты анализа материалов инженерно-геологических изысканий и расчетов устойчивости склона на защищаемом участке автодороги, необходимо сделать следующие выводы (табл. 1):

- 1 Устойчивость верхового склона без проведения противооползневых мероприятий с учетом основного сочетания нагрузок недостаточна, а в условиях сейсмической нагрузки силой до 8 баллов – не обеспечена.
- 2 Устойчивость склона с учетом рассматриваемых конструктивных решений по расчетной схеме №1 недостаточна.
- 3 Устойчивость склона и прочность габионных элементов, а также свайных элементов, принятых согласно расчетной схеме №2 обеспечивается как на основное сочетание нагрузок, так и на особое.
- 4 Полученные коэффициенты устойчивости склона во всех трех программных комплексах показывают хорошую сходимость.
- 5 Наименьшие значения устойчивости получены методом Шахунянца в программе Geo5.

Таблица 1

Сводная таблица результатов расчета устойчивости склонов

Расчетная ситуация	Используемый метод	Программный комплекс		
		<i>Plaxis</i> Метод конечных элементов	<i>GeoStudio</i> Метод Моргенштерна-Прайса	<i>Geo5</i> Метод Шахунянца
Естественное состояние склона	Основное сочетание нагрузок	1,006	1,004	0,987
	Особое сочетание нагрузок (сейсмичность – 8 баллов)	0,958	0,967	0,932
Прогнозное состояние склона с учетом удерживающих сооружений (расчетная схема №1)	Основное сочетание нагрузок	1,125	1,135	1,113
	Особое сочетание нагрузок (сейсмичность – 8 баллов)	1,012	1,098	0,997
Прогнозное состояние склона с учетом удерживающих сооружений (расчетная схема №2)	Основное сочетание нагрузок	1,297	1,305	1,276
	Особое сочетание нагрузок (сейсмичность – 8 баллов)	1,191	1,202	1,180
Примечание: нормативные (требуемые) коэффициенты устойчивости определены на основное сочетание $K_{зап} = 1,250$, на особое – $K_{зап} = 1,150^4$				

Разработано автором

Обсуждение

Как видно из представленных результатов устойчивость склона значительно повышается при устройстве свайного основания. При использовании различных методов расчетов (метод конечных элементов – *Plaxis*, метод Моргенштерна-Прайса-*GeoStudio*, метод Шахунянца-*Geo5*) полученные результаты расчетов устойчивости показывают хорошую сходимость. При разработке комбинированных сооружений часто не достаточно использовать только один программный комплекс, а требуется моделирование оползневого склона с учетом особенностей каждого из рассматриваемых элементов [6–10]. Благодаря комплексному моделированию на рассматриваемом оползневом участке появилась возможность разработать технико-экономически эффективные сооружения (рис. 6), которые успешно эксплуатируются.

Рисунок 6. Общий вид защищаемого участка с учетом разработанных конструктивных решений инженерной защиты⁷

⁷ Интернет-ресурс: <https://yandex.ru/maps/239/sochi>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маций С.И. Защитные свайные сооружения опор эстакад, «обтекаемые» грунтом оползней / С.И. Маций, Д.В. Лейер, А.К. Рябухин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8. № 4. С. 15–24.
2. Маций С.И. Исследование взаимодействия оползневого грунта с защитными сооружениями опор эстакад / С.И. Маций, Д.В. Лейер // Строительство и архитектура. – 2013. – Т. 1. № 1. – С. 49–53.
3. Ito T. Methods to estimate lateral force action on stabilizing piles / T. Ito, T. Matsui // Soils and foundations. – 1975. – 15. – №4. – pp. 43–59.
4. Ito, T. Design method for stabilizing piles against landslide – one row of piles / T. Ito, T. Matsui, W.P. Hong // Soils and Foundations. – 1981. – V. 21. – №1. – pp. 21–37.
5. Winter, H. Stabilization of clay slopes by piles / H. Winter, W. Schwarz, G. Gudehus // Improv. Ground. Proc. 8 Eur.: Conf. Soil Mech. and Found. Eng., Helsinki, 23–26 May, 1983. – Rotterdam, 1983. – V. 2. – pp. 545–550.
6. Лейер Д.В. Оптимизация методики расчета защитного сооружения на свайном основании, «обтекаемого» оползневыми глинистыми грунтами / Д.В. Лейер // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №05(119). – IDA [article ID]: 1191605083. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/05/pdf/83.pdf>, 1,063 у.п.л.
7. Лесной В.А. Практика проведения геотехнического мониторинга при строительстве автодорожных тоннелей «Дублера Курортного проспекта» в г. Сочи / В.А. Лесной, С.И. Маций, Д.В. Лейер, А.О. Конева, А.К. Рябухин, Л.К. Рябухин, М.С. Ткачева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 120. – С. 449–465.
8. Лейер Д.В., Маций С.И., Безуглова Е.В. Мониторинг и моделирование оползневых процессов на примере города Сочи / С.И. Маций, Д.В. Лейер, Е.В. Безуглова // Строительство и архитектура. – 2013. – Т. 1. № 1. – С. 54–61.
9. Богомолов А.Н. Причины активизации оползня на федеральной автомобильной дороге г. Сочи и мероприятия по его стабилизации / Богомолов А.Н. [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2012. – № 29 (48). – С. 6–14.
10. Лейер Д.В. Инженерная защита опор эстакад на оползневых склонах города Сочи (Краснодарский край) / Д.В. Лейер // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7. № 3. С. 127–143.

Ryabukhin Alexander Konstantinovich

Kuban state agrarian university named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia
E-mail: r-a-k-1987@mail.ru

Leyer Darya Valerievna

Kuban state agrarian university named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia
E-mail: dasha_leyer@mail.ru

Teter Shikhambiy Ruslanovich

Kuban state agrarian university named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia
E-mail: shiham01@mail.ru

Karpova Maria Stanislavovna

Kuban state agrarian university named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia
E-mail: smarias1997@gmail.com

Features of modeling gabion retaining walls for engineering protection of roads on landslide slopes

Abstract. During the construction of roads in mountainous areas, engineering protection of the highway from landslide processes is often required. Currently, there are many designs used to protect against landslides. However, the engineers are faced with the task of choosing the optimal structural solution both in terms of the boundaries of the field of application of the structures and in terms of economic efficiency. In addition, the problem arises of correct modeling of the predicted situation. The article discusses the engineering protection of the road under construction in Sochi, Krasnodar Territory. In the study of the territory on the site, three landslides were found that are in extreme condition, erosion processes, an elevated level of groundwater, planar flushing, and also weathering of bedrock when they are opened during the laying of the route. Two schemes of constructive solutions using gabion construction both on a natural basis and on a pile are considered. The choice of the type of protective structure is determined by the presence of both surface and ground waters, as well as by a technical and economic comparison (in comparison with a reinforced concrete retaining wall). The authors reviewed existing software systems used in the calculation of underground structures, and also analyzed the basic methods for calculating the slope stability and structural strength. As a result of the study, such geotechnical software systems as: Plaxis, GeoStudio, Geo5 were selected to simulate a landslide slope. Slope stability was determined both for the main combination of loads and for the special one (seismic of 8 points) using such methods as: Phi/c reduction, Morgenstern-Price method and Shahunyan's method. The results obtained showed good convergence.

Keywords: landslide; engineering protection; gabion construction; pile foundation; computer modelling; highway; analysis; slope stability

REFERENCES

1. Matsiy S.I., Leyer D.V., Ryabukhin A.K. (2017). Protective pile structures of overpass piers "streamlined" by landslide soil. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture*, 4(8), pp. 15–24 (in Russian).
2. Matsiy S.I., Leyer D.V. (2013). The study of the interaction of landslide soil with protective structures of the supports of overpasses. *Construction and Architecture*, 1(1), pp. 49–53 (in Russian).
3. Ito T., Matsui T. (1975). Methods to estimate lateral force action on stabilizing piles. *Soils and foundations*, 4(15), pp. 43–59.
4. Ito T., Matsui T., Hong W.P. (1981). Design method for stabilizing piles against landslide – one row of piles. *Soils and Foundations*, 1(21), pp. 21–37.
5. Winter H., Schwarz W., Gudehus G. (1983). *Stabilization of clay slopes by piles. Volume 2*. Rotterdam, pp. 545–550.
6. Leyer D.V. (2016). Optimization of the calculation method for a protective structure on a pile foundation "streamlined" by landslide clay soils. *Political Internet electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, [online] 5(119). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2016/05/pdf/83.pdf> (in Russian).
7. Lesnoy V.A., Matsiy S.I., Leyer D.V., Koneva A.O., Ryabukhin A.K., Ryabukhin L.K., Tkacheva M.S. (2016). The practice of geotechnical monitoring during the construction of the “Doubler of Kurortny Prospekt” road tunnels in Sochi. *Political Mathematical Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*, 120, pp. 449–465 (in Russian).
8. Leyer D.V., Matsiy S.I., Bezuglova E.V. (2013). Monitoring and modeling of landslide processes on the example of the city of Sochi. *Construction and architecture*, 1(1), pp. 54–61 (in Russian).
9. Bogomolov A.N. and etc. (2012). Reasons for the activation of a landslide on the federal highway of Sochi and measures to stabilize it. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*, 29(48), pp. 6–14 (in Russian).
10. Leyer D.V. (2016). Engineering protection of overpass supports on landslide slopes of the city of Sochi (Krasnodar Territory). *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture*, 3(7), pp. 127–143 (in Russian).