

Information about the authors

Kucher Dmitry Evgenyevich, candidate of technical sciences, Ph.D., Deputy dean of the faculty of ecology "Peoples' friendship of Russia" (FGAOU VO RUDN); 117198, Russia, Moscow, St. Mikluho-Maklaya, 8/2; e-mail: dmitr004@gmail.com

Piven Elena Anatolyevna, candidate of medical sciences, associate professor of the department of public health and hygiene at the Russian University of Peoples' Friendship; 117198, Russia, Moscow, St. Mikluho-Maklaya, 8. e-mail: PivenEl@mail.ru

Chernova Elizaveta Gennadyevna, post-graduate student of the agro

biotechnology department of the Agricultural and Technological Institute of the Russian University of Peoples' Friendship. 117198, Russia, Moscow, St. Mikluho-Maklaya, 8/2. Bodies.

Surikova Natalia Vyacheslavovna, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of agricultural construction and real estate expertize of the Institute of reclamation, water management and construction named after A.N. Kostyakov, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev. 127550, Russia, Moscow, Pryanishnikova street, 19. e-mail: gushin1963@bk.ru

УДК 502/504:626.87:631.6:631.459

DOI 10.26897/1997-6011-2020-3-28-35

М.С. ЗВЕРЬКОВ^{1,2}, С.С. СМЕЛОВА¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга», г. Коломна, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Коломна, Российская Федерация

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЛИОРАТИВНОГО ОБУСТРОЙСТВА СКЛОНА ПОСЛЕ ОБРУШЕНИЯ ПО СХЕМЕ АСЕКВЕНТНОГО МАЛОГО ОПОЛЗНЯ

*Отмечается, что основной проблемой береговых склонов является постепенное их разрушение под действием поверхностного стока, формируемого осадками в твердой и жидкой фазе, весенними паводками, а также антропогенными причинами. Рассматривается отсыпанный грунтовый склон, ранее подвергшийся разрушению по схеме асеквентного малого оползня. На склоне устроены террасы и проведено фитомелиоративное обустройство, организован поверхностный сток. В статье проводится ретроспективная оценка эффективности защиты склона за период 2015-2020 гг. Приведен краткий обзор методов оценки устойчивости грунтовых склонов. Коэффициент устойчивости k_{st} вычислен по методу Г.М. Шахуняца при отсутствии фильтрационного потока и составляет 3,64. Центр поверхности скольжения определен графоаналитически, радиус поверхности скольжения $R = 45,1$ м. Общий перепад высот составляет от 1,5 до 4,5 м. В локализации насыпной грунтовой призмы $-2...2,5$ м. При профилировании склона исходили из того, что подошва была уже сложена грунтовыми массами, образовавшимися в результате малого оползня 2012-2013 гг. На террасах произведена рядовая посадка древесно-кустарниковой растительности из ивы пятитычинковой (*Salix pentandra*) и сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris*) в декоративных целях. Ретроспективный анализ показал, что проведенные мероприятия по мелиоративному обустройству склона в условиях антропогенно возникшего очага разрушения грунтовой насыпи по схеме асеквентного малого оползня эффективно выполняют защитную функцию. Однако требуется реконструкция террас в связи с нарушением их геометрии и регулярный уход за зелеными насаждениями.*

Фитомелиорация, оползни, укрепление грунтов, террасы, мелиоративные мероприятия, поверхностный сток, эрозия почвы.

Введение. Основной проблемой береговых склонов является постепенное их разрушение под действием поверхностного стока, формируемого осадками в твердой и жидкой фазе, весенними паводками, а также антропогенными причинами. Как линейная и плоскостная, так и ускоренная формы водной эрозии способствуют развитию деградационных процессов, которые вызывают нарушение функционирования геосистем и снижают надежность сооружений, возведенных на склоне или вблизи него. Особой опасности подвержены незадернованные откосы грунтовых насыпей однородного и неоднородного сложения, на которых отсутствует не только древесно-кустарниковая, но и травянистая растительность. Поэтому главная задача проектировщиков такого земляного сооружения – это укрепление склона путем проведения комплекса технических и фитомелиоративных мероприятий, препятствующих риску возникновения деформаций склона из-за перемещения, осыпания и эрозии грунтовых масс.

Планирование участка с уклоном – процесс достаточно трудоемкий, при котором необходимо учитывать многие факторы. Кроме того, в условиях городской застройки необходимо дополнительно опираться на опыт проектирования и оценки таких земляных сооружений из области инженерной экологии, ландшафтного дизайна и дендрологии. Главная цель закрепления склона – остановить разрушительный процесс.

Выбор метода укрепления (технической мелиорации) зависит от таких морфологических и топологических характеристик проектируемого или реконструируемого склона, как тип грунта и уклон. При малых и средних углах (до 8%) между поверхностью склона и горизонталью допустимо не прибегать к таким сложным мелиоративным мероприятиям, как, например, анкеровка или инъектирование грунта, а укреплять форму склона такими «природными способами», как, например, посадкой растений, корневая система которых естественным образом «армирует» почву, препятствует возникновению эрозии и оползневых процессов.

Важнейшей задачей является регулирование гидрогеологического режима

территории путем перехвата поверхностного стока устройством террас [1], нагорных канав, дренажных лотков, отведения воды с берм. В случае влияния подземных вод, имеющих выход на поверхности откоса, они должны быть отведены с помощью дренажных устройств в ливнестоchnую сеть [2].

Рассматриваемый в настоящей статье объект расположен в городском округе Коломна Московской области. Проведенное ранее закрепление склона требует оценки эффективности мероприятий и необходимости дальнейших работ по защите откоса от разрушения. Стоит отметить, что подобные явления для региона не редкость [3, 4].

В настоящее время существует большое число моделей, методов и программных комплексов, которые могут использоваться для прогнозирования рисков утраты прочности грунтов на склонах и в насыпях земляных сооружений, а также сценарных расчетов и определения масштабов последствия движения грунтовых масс. Граничные условия этих способов оценки определяют возможность их использования только при наличии необходимо «набора» исходных данных.

Все существующие способы расчета обычно делят на численные и аналитические (упрощенные) методы. Численные методы позволяют провести исследования и анализ процесса, как правило, с учетом различных факторов, среди них, например, строение грунта, учет его изотропных или анизотропных свойств, условия насыщения, характер нагрузки и др. С одной стороны, такой подход позволяет произвести всестороннюю оценку процесса, изучить эффективность защитных мероприятий, а с другой стороны, увеличивает число параметров моделей, что усложняет их применение. Кроме того, параметры не всегда имеют четкую и прямую связь с каким-либо физическим процессом или характеристикой грунта и часто могут быть определены только с помощью нестандартных геотехнических испытаний [5].

Наиболее широко распространенными являются методы круглоцилиндрических поверхностей скольжения, при которых массив грунта делится на отсеки. Обычно

анализ устойчивости профиля склона основывается на зависимостях [2]:

$$k_{st} = M_{sr} / M_{sa};$$

$$k_{st} = \{\Sigma[(P_{gi} + P_{qi})\cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i] + \Sigma[c_i l_i]\} / \Sigma[(P_{gi} + P_{qi})\sin\alpha_i],$$

где k_{st} – коэффициент устойчивости склона (устойчивость считается обеспеченной при $k_{st} > 1$); M_{sr} и M_{sa} – моменты относительно некоторого центра вращения круглоцилиндрической поверхности всех сил, соответственно удерживающих и смещающих оползневый блок (грунтовой отсек); P_{gi} и P_{qi} – соответственно вес грунта и равнодействующая нагрузки в i -ом отсеке грунта; φ_i – угол внутреннего трения; c_i – удельное сцепление; l_i – длина поверхности скольжения в пределах отсека; α_i – угол наклона поверхности скольжения отсека к горизонту.

Существует также способ оценки устойчивости с помощью F_s – критерия безопасности [6]:

$$F_s = T_s / T_d = (P_i \operatorname{tg}\varphi_i + c_i) / (P_{gi} \sin\alpha_i + F_i),$$

где P_i – вес грунта с учетом прочностных характеристик; F_i – фильтрационная сила.

При $F_s = 1$ начинается нарушение прочности грунта. Аналогичный критерий, но в другом виде рассмотрен также в работе [7]. Учет фильтрационных сил при расчете устойчивости склонов предлагается во многих моделях [2, 8]. В частности, в работе [8] представлены метод и обобщенная теория для расчета террасированного откоса и инфильтрации, а также для оценки устойчивости склона.

Также необходимо отметить большое число работ по оценке влияния растительного покрова на стабильность грунтовых склонов. Например, в исследовании [9] отмечается, что благодаря наличию растительного покрова на склоне сцепление (связность) грунта увеличивается на 3,8 кПа, а без учета влияния растительного покрова грунт на склоне является неустойчивым. В некоторых исследованиях [10, 11, 12] отмечается, что корневая система растений способствует увеличению прочности почвы на сдвиг τ , обеспечивая дополнительный компонент когезии (связности) грунта в уравнении Мора-Кулона:

$$\tau = (c + \Delta c) + (\sigma - u) \operatorname{tg}\varphi,$$

где Δc – поправка на дополнительную связность грунта корнями растений; σ – нормальное давление грунта (например, вес грунта); u – поровое давление грунта.

Однако влияние растительности на устойчивость грунтов может иметь как положительный, так и отрицательный эффект. Например, старые деревья отрицательно

влияют на устойчивость склона. Погибая, их корневая система и вес хорошо развитой кроны может наоборот вызвать разрушение грунта. Поэтому очень важно регулярно проводить оценку состояния зеленых насаждений на склоне.

Цель настоящей работы заключалась в ретроспективном анализе эффективности фитомелиоративного обустройства склона в условиях антропогенно возникшего очага разрушения грунтовой насыпи по схеме асеквентного малого оползня.

Материалы и методы исследований.

Спутниковые снимки получены с помощью программы Google Earth (версия 7.3.2). Расчеты выполнены с использованием электронных таблиц Microsoft Excel (версия 16.0). Морфологическое описание состояния грунтового склона проводилось в 2012-2020 гг.

Напластование насыпного грунта однородное, выход фильтрационного потока – по подошве склона. Обрушение откоса происходило по схеме оползня. Грунт насыпной (суглинок тяжелый пылеватый тугопластичный) со следующими физико-механическими характеристиками (приняты по лабораторным данным и по СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений»): удельный вес $\gamma = 14,8...16,2$ кН/м³, влажность 6...10%, удельное сцепление $c = 26$ кПа, угол внутреннего трения $\varphi = 20$ град, коэффициент пористости грунта в 2015 г. 0,89, в 2016-0,85, в 2017 и 2018 гг. – 0,82, в 2019-2020 гг. – 0,8. Наклон склона к горизонту $\approx 26,9$ град.

При расчете устойчивости откосов по схеме оползня применяют метод горизонтальных сил, предложенный Масловым и Берером, или теоретический метод Шахунянца Г.М. [13, 14]. В данной работе коэффициент устойчивости откоса k_{st} вычисляли по ускоренному способу расчета по формуле Г.М. Шахунянца при отсутствии фильтрационного потока [15]:

$$k_{st} = \Sigma[(\gamma_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i + c_{oi})a_i h_{cp,i} \lambda_i] / \Sigma[\gamma_i \sin\alpha_i a_i h_{cp,i} \lambda_i],$$

где a_i – горизонтальная составляющая длины оползневого блока; $h_{cp,i}$ – высота оползневого блока; i – номер расчетного отсека (оползневого блока); α_i – угол наклона поверхности скольжения оползневого блока к горизонту; величины c_{oi} и λ_i определяются по зависимостям: $c_{oi} = c_i / (h_{cp,i} \cos\alpha_i)$ и $\lambda_i = \cos\varphi_i / \cos(\alpha_i - \varphi_i)$; γ_i , φ_i , c_i – соответственно удельный вес, угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта оползневого блока.

Результаты и обсуждение. Ретроспективный ряд спутниковых снимков рассматриваемого объекта представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Ретроспективный ряд спутниковых снимков (©GoogleEarth):

а, б – изменение формы подошвы и бровки (сплошная и пунктирная белая линия) склона в 2004-2011 гг.; в – начало формирования оползневого тела в 2012 г. (пунктирная красная линия); г – сформированный асеквентный малый оползень (пунктирная красная линия), изменение положения подошвы склона в 2013 г.; д – сформированная бровка склона насыпным грунтом (в 2014 г.) и террасирование (в 2015 г., доступный спутниковый снимок отсутствует); е, ж, з – мелиоративные мероприятия в виде закрепления склона путем террасирования (сплошная и пунктирная белая линия), кулисных посадок древесной растительности, перехвата поверхностного стока в ловчий дренажный и сбросной лотки (сплошная черная линия); ← – направление стока; → – направление движения воды в ручье Зеленом; $\frac{10}{\text{м}}$ – масштаб

В 2004 г. (рис. 1а) до возведения хозяйственных построек вблизи бровки уклон суглинистого склона составлял 1:1,5. Требовались мероприятия по повышению устойчивости грунта. Для возведения сооружения (рис. 1б) бровка была расширена насыпным грунтом (уклон 1:0,75) и предпринята попытка закрепления грунта посадкой древесно-кустарниковой растительности, в результате чего также изменилась геометрия подошвы склона. Однако отсутствие организации поверхностного стока и превышение предельной нагрузки на бровку геотехнически опасного (крутого) склона и др. причины могли способствовать потере устойчивости грунта. В 2012 г. (рис. 1в) начал развиваться очаг разрушения грунтовой насыпи по схеме асеквентного малого оползня, который в 2013 г. (рис. 1г) вызвал перемещение больших масс грунтов вниз по склону. В том же году был отсыпан новый склон, изменена геометрия бровки (уклон насыпи 1:0,16). В 2015 г. мелиоративные мероприятия в виде закрепления склона путем террасирования, кулисных посадок древесной растительности, перехвата поверхностного стока в ловчий дренажный и сбросной лотки. Морфологические наблюдения за склоном в 2015-2018 гг. (рис. 1е-з) и в 2019 г. [16] позволяют предположить, что грунт находится в стабилизированном состоянии, так как изменения формы бровки и подошвы склона не происходят. Однако наблюдается изменение формы и геометрических характеристик поверхности и стенок террас. Вероятнее всего это связано с тем, что часть грунта выше каждой террасы естественным образом выполаживалась. Развитие корневой системы растений так же могло привести к деформации грунта.

В ряду причин развития разрушения грунтового массива в виде асеквентного малого оползня можно выделить: неоправданно близкое возведение хозяйственной постройки вблизи бровки, чрезмерно крутой угол заложения откоса насыпи, развитие вертикальных и горизонтальных сил, сдвигающих откос, нарушение гидрогеологической обстановки территории (изменение путей поверхностно стока, сброс ирригационных и дождевых вод с прилегающей территории и др.), выход фильтрационного потока грунтовых вод по подошве насыпи. Установить конкретную причину «запуска» сползания грунта на данный момент невозможно, вероятнее всего, имело место совместное действие указанных причин.

Расчетная схема для аналитической оценки коэффициента устойчивости склона по методу Г.М. Шахунянца показана на рисунке 2. Центр поверхности скольжения определен графоаналитически, радиус поверхности скольжения $R = 45,1$ м. Верхняя точка поверхности скольжения соответствует границе насыпи. Перепад высот составляет от 1,5 до 4,5 м. В локализации насыпной грунтовой призмы 2...2,5 м.

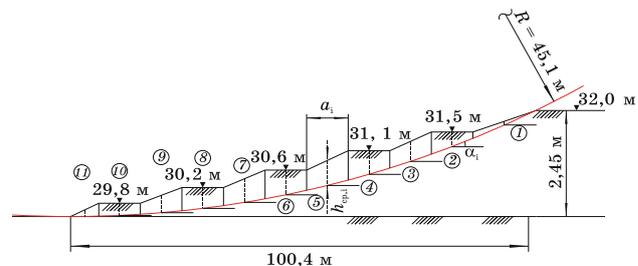


Рис. 2. Расчетная схема к определению коэффициента устойчивости (поверхность скольжения показана красным цветом, номера соответствуют оползневым блокам 1-11)

В соответствии с расчетами коэффициент устойчивости грунтовой насыпи составляет $k_{st} = 3,64$, что намного больше требуемого значения (1). Это свидетельствует о том, что принятая конструктивная схема насыпи надежная, однако, для ее реализации можно было выбрать другой профиль, что существенно снизило бы затраты на ее возведение. Но при профилировании склона исходили из того, что подошва была уже сложена грунтовыми массами, образовавшимися в результате малого оползня 2012-2013 гг.

В качестве дополнительных мероприятий технической мелиорации территории выполнено устройство террас с помощью подпорных стенок, которые выполнены в виде щитов из плоского шифера высотой до 50 см с креплением на опоры, погружаемые в грунт на глубину до 1...1,5 м. Пространство между подпорными стенками заполнено грунтом. В результате образовалось 5 террас (расчетный участок соответствует схеме рис. 2) [15]. На вершине также сооружены ловчие дрены и сбросной лоток поперек склона. Перехваченный поверхностный сток сбрасывается в овраг, по дну которого протекает ручей Зеленый. Очистка сточных вод не производится.

На террасах произведена посадка древесно-кустарниковой растительности,

формирующей хорошо развитую корневую систему. В данном случае это насаждения ивы пятитычинковой (*Salix pentandra*), естественно произрастающей по берегу ручья Зеленого и сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris*) в декоративных целях. Ива легко укореняется при размножении зелеными и одревесневшими стеблевыми черенками. Наибольший противоэрозионный эффект обычно достигается при рядовой посадке поперек склона. В данном случае была выполнена именно такая схема посадки деревьев, что способствовало закреплению грунта и препятствовало дальнейшему развитию сползания грунтовых масс.

По состоянию на весну 2020 г. (рис. 3) стенки террас из шифера ввиду обветшалости практически везде заменены на металлические листы и каменную наброску из валунов. Требуется реконструкция насыпи, восстановление профиля террас. Осуществлена расчистка склона от сорной растительности и зарослей борщевика, произведена обрезка деревьев. Последнее способствует развитию более мощной корневой системы и формированию густой компактной кроны. Это необходимая мера в связи с тем, что ива пятитычинковая имеет жизненную форму дерева высотой до 16 м и диаметром ствола до 75 см, быстро растет, так как к почвам нетребовательна. Кроме того, в случае частичного затопления оврага, например, полыми или паводковыми водами, эти деревья легко переносят неблагоприятные условия. В текущий период также выполнена посадка свежесрезанных побегов ив (диаметром до 25...30 мм) ниже пятой террасы путем забивки в грунт, которые легко укоренились и будут выполнять защитную функцию.



Рис. 3. Склон и состояние террас в марте 2020 г.

Заключение

Ретроспективный анализ показал, что проведенные мероприятия по мелиоративному обустройству склона в условиях антропогенно возникшего очага разрушения грунтовой насыпи по схеме асеквентного малого оползня эффективно выполняют защитную функцию. Однако требуется реконструкция террас в связи с нарушением их геометрии и регулярный уход за зелеными насаждениями. Многие виды ив (*Salix*) благодаря хорошо развитой корневой системе и быстрому росту являются незаменимым посадочным материалом для укрепления неустойчивых грунтов, влажных склонов и берегов. Наблюдения за состоянием склона после проведения фитомелиоративных мероприятий подтверждают, что ива способна в короткие сроки сформировать прочный каркас для грунта. Ее корневая система естественным образом армирует грунт, эффективно задерживая разрушение грунтового массива, уменьшая степень эрозии почвенного покрова. При подборе деревьев и кустарников для укрепления склонов в первую очередь нужно обращать внимание на растения, которые произрастают в аналогичных условиях в данной местности. Чаще всего на береговых склонах можно увидеть заросли различных видов ивы – естественных «закрепителей» береговых склонов.

Библиографический список

1. Crosta G.B., Dal Negro P., Frattini P. Soil slips and debris flows on terraced slopes // Natural Hazards and Earth System Sciences (2003) 3: 31-42. DOI: 10.5194/nhess-3-31-2003.
2. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник / С.Б. Ухов и др. – М.: АСВ, 1994. – 527 с.
3. Смелова С.С., Захарченко Ю.Ю. Геоморфология «Протопоповского» оползня в долине реки Оки (на территории города Коломны Московской области) // Экология и строительство. – 2018. – № 4. – С. 11-17. DOI: 10.35688/2413-8452-2018-04-002.
4. Смелова С.С. Оползень как результат антропогенной эрозии береговых склонов / Мат-лы VIII региональной научно-практ. конф. студентов, аспирантов, ученых и специалистов. – Воскресенск: Университет машиностроения, 2014. – С. 311-315.
5. Montrasio L., Valentino R.A. model for triggering mechanisms of shallow landslides // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 1149-1159, 2008. DOI: 10.5194/nhess-8-1149-2008.

6. **Montrasio L., Valentino R.** Experimental analysis and modelling of shallow landslides, *Landslides*, 4, 291-296, 2007.

7. **Montrasio L., Schilirò L., Terrone A.** Physical and numerical modelling of shallow landslides // *Landslides*. DOI 10.1007/s10346-015-0642-x.

8. **Loáiciga H.A., Johnson J.M.** Infiltration on sloping terrain and its role on runoff generation and slope stability // *Journal of Hydrology* 561 (2018) 584-597. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.04.023.

9. **Viet T.T., Lee G., Kim M.** Shallow Landslide Assessment Considering the Influence of Vegetation Cover // *Journal of the Korean Geo-Environmental Society* Vol. 17, Issue 4, P. 17-31. DOI 10.14481/jkges.2016.17.4.17.

10. **Gray D.H., Megahan W.F.** (1981), Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho batholith, *For. Serv., U.S. Dep. of Agric.*, pp. 1-23.

11. **Swanston D.N.** (1970), Mechanics of debris avalanching in shallow till soils of southeast Alaska, *USDA Forest Service Research Paper PNW*, Vol. 103, pp. 121-134.

12. **Wu T.H., McKinnell W.P., Swanston D.N.** (1979), Strength of tree roots on Prince of Wales Island, Alaska, *Can. Geotech.*, Vol. 16, No. 1, pp. 19-33.

13. **Калинин Э.В.** Инженерно-геологические расчеты и моделирование. – М.: МГУ, 2006. – 245 с.

14. **Еналдиева М.А.** Охрана оползневых участков противооползневыми сооружениями – проволочными анкерами

с коническими и поворотными наконечниками: дисс.. канд. техн. наук: 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель. – Краснодар: 2015. – 178 с.

15. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/In- dex2/1/4294814/4294814196.htm> (Дата обращения 30.07.2020 г.)

16. **Смелова С.С., Зверьков М.С.** Мелиоративные мероприятия и сооружения в практике укрепления грунтов береговых склонов и ландшафтов с оползневой активностью // *Природообустройство*. – 2019. – № 5. – С. 20-25. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-5-20-25.

Материал поступил в редакцию 01.07.2020 г.

Сведения об авторах

Зверьков Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, ученый секретарь ФГБНУ ВНИИ «Радуга»; 140483, Московская область, Коломенский р-н, пос. Радужный, 38; доцент Коломенского института (филиала) Московского политехнического университета; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408.; e-mail: mzverkov@bk.ru

Смелова Светлана Станиславовна, кандидат биологических наук, доцент Коломенского института (филиала) Московского политехнического университета; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408.

M.S. ZVERKOV^{1,2}, S.S. SMELOVA¹

¹ Federal state budgetary scientific institution «All-Russian research Institute of irrigation systems and agricultural water supply «Raduga», Kolomna, Russian Federation

² Federal state budgetary educational institution of higher education «Moscow Polytechnic University», Kolomna, Russian Federation

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF RECLAMATION DEVELOPMENT OF THE SLOPE AFTER THE FALL UNDER THE SCHEME OF THE ASEQUENT SHALLOW LANDSLIDE

It is noted that the main problem of coastal slopes is their gradual destruction under the influence of the surface runoff formed by precipitation in the solid and liquid phase, spring floods, as well as anthropogenic causes. There is considered a soil slope, which has previously been destroyed by the scheme of asequent shallow landslide. Terraces were created on the slope and phytomelioration measures were carried out, surface runoff was arranged. The retrospective assessment of the efficiency of slope protection for the 2015-2020 period is given in the article. There is given a brief survey of the methods for soil slopes stability analysis. The stability factor $k_{st} = 3.64$ was calculated by the method of G.M. Shakhunyants without of filtration flow. A graphic-analytical method for the determination of the center of the sliding surface was used, the radius of the sliding surface is $R = 45.1$ m. The total height difference is from 1.5 to 4.5 m. In the localization of the soil prism the height difference is 2...2.5 m. The slope was already

composed of soil masses formed as a result of a shallow landslide in 2012-2013. On the terraces there was made an ordinary planting of wood and shrub vegetation in the form of willow of the five-thousand (*Salix pentandra*) and lilacs ordinary (*Syr'nga vulg'ris*) for decorative purposes. The retrospective analysis showed that the measures carried out on the reclamation development of the slope under the conditions of anthropogenically arisen outbreak of destruction of a soil fill under the scheme of asekvental small landslide effectively perform a protective function. However, the reconstruction of the terraces is required due to the violation of their geometry and regular care of green plantings.

Phytomelioration, landslides, soil stabilization, terraces, reclamation measures, surface runoff, soil erosion.

References

1. **Crosta G.B., Dal Negro P., Frattini P.** Soil slips and debris flows on terraced slopes // Natural Hazards and Earth System Sciences (2003) 3: 31-42. DOI: 10.5194/nhess-3-31-2003.
2. Механика грунтов, основаниа и фундаменты: Учебник / С.Б. Ухов и др., М., 1994, 527 с.
3. **Smelova S.S., Zakharchenko Yu.Yu.** Geomorphologiya «Protopopovskogo» opolznaya v doline reki Oki (na territorii goroda Kolomny Moskovskoj oblasti) // Ekologiya i stroitelstvo. 2018. № 4. S. 11-17. DOI: 10.35688/2413-8452-2018-04-002.
4. **Smelova S.S.** Opolzen kak rezultat antropogennoj erozii beregovyh sklonov / Mat-ly VIII regionalnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov, uchenyh i specialistov. – Voskresensk: Universitet mashinostroeniya, 2014. – S. 311-315.
5. **Montrasio L., Valentino R.** A model for triggering mechanisms of shallow landslides // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 1149-1159, 2008. DOI: 10.5194/nhess-8-1149-2008.
6. **Montrasio L., Valentino R.** Experimental analysis and modelling of shallow landslides, Landslides, 4, 291-296, 2007.
7. **Montrasio L., Schilirò L., Terrone A.** Physical and numerical modelling of shallow landslides // Landslides. DOI 10.1007/s10346-015-0642-x.
8. **Loáiciga H.A., Johnson J.M.** Infiltration on sloping terrain and its role on runoff generation and slope stability // Journal of Hydrology 561 (2018) 584-597. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.04.023.
9. **Viet T.T., Lee G., Kim M.** Shallow Landslide Assessment Considering the Influence of Vegetation Cover // Journal of the Korean Geo-Environmental Society Vol. 17, Issue 4, P. 17-31. DOI 10.14481/jkges.2016.17.4.17.
10. **Gray D.H., Megahan W.F.** (1981), Forest vegetation removal and slope stability in the idaho batholith, For. Serv., U.S. Dep. of Agric, pp. 1-23.
11. **Swanston D.N.** (1970), Mechanics of debris avalanching in shallow till soils of southeast alaska, USDA Forest Service Research Paper PNW, Vol. 103, pp. 121-134.
12. **Wu, T.H., McKinnell W.P., Swanston D.N.** (1979), Strength of tree roots on prince of wales island, alaska, Can. Geotech, Vol. 16, No. 1, pp. 19-33.
13. **Kalinin E.V.** Inzhenerno-geologicheskie raschety i modelirovanie. – М.: 2006. – 245 s.
14. **Enaldieva M.A.** Ohrana opolznevyh uchastkov protivopolznevyimi sooruzheniyami – provolochnymi ankerami s konicheskimi i povorotnymi nakonechnikami: diss.. kand. tekhn. nauk: 06.01.02 – Melioratsiya, rekultivatsiya i ohrana zemel / Krasnodar, 2015. 178 s.
15. Rekomendatsii po vyboru metodov rascheta koefficienta ustojchivosti sklona i opolzneвого davleniya [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294814/4294814196.htm> (Data obrashcheniya 30.07.2020 g.)
16. **Smelova S.S., Zverkov M.S.** Meliorativnye meropriyatiya i sooruzheniya v praktike ukrepleniya gruntov beregovyh sklonov i landshaftov s opolznevoj aktivnostyu // Prirodobustrojstvo. 2019. № 5. S. 20-25. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-5-20-25.

The material was received at the editorial office
01.07.2020

Information about the authors

Zverkov Mikhail Sergeevich, candidate of technical sciences; academic secretary; Federal state budgetary scientific institution «All-Russian scientific research Institute «Raduga»; Raduzhnyj, 38, Kolomna, Moscow region, Russia, 140483; associate professor of the Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; Russia, 140402, Kolomna, ul. Oktyabrskoj revolyucii, 408; e-mail: mzverkov@bk.ru.

Smelova Svetlana Stanislavovna, candidate of biological sciences; associate professor of the Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; Russia, 140402, Kolomna, ul. Oktyabrskoj revolyucii, 408.