

И.Л. Бартоломей¹, М.О. Карпушко¹, Е.Н. Карпушко²

¹Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

²Волгоградский государственный технический университет,
Институт архитектуры и строительства, Волгоград, Россия

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА ПОД КАНАТНУЮ ДОРОГУ

В настоящее время задачи оценки и прогноза устойчивости склонов приобретают все большее значение. Основными причинами являются дефицит в больших городах территорий для строительства зданий и сооружений, дорог, проложения трасс трубопроводов, линий электропередач и др. Нарушение устойчивости нагруженных склонов, являющихся основаниями сооружений, связано с огромным материальным ущербом и возможными человеческими жертвами. Следовательно, поиск надежного и эффективного метода расчета устойчивости склонов с учетом всех основных параметров, влияющих на их устойчивость, является актуальной задачей. В данной работе расчет производится на объекте горнолыжного комплекса. На склоновой части опасность могут представлять оползневые процессы. Для оценки развития оползневых процессов в местах массового скопления отдыхающих и спортсменов для целей их безопасного пребывания должна быть выполнена проверка устойчивости склона. Объектами исследования послужили склоны: горы по линии подъемника; грунты, слагающие верхнюю часть литосферы до глубины 10 м; подземные воды. Границей рассматриваемого участка является канатная дорога – линейное, динамически нагруженное сооружение с промежуточными опорами, нижней и верхней станциями. По данным исследований инженерно-геологических элементов был произведен расчет коэффициента устойчивости склона в пределах изученного участка по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Данный метод основан на виртуальной поверхности сдвига метода предельного равновесия и результатах расчета напряженного состояния. Результаты оценки устойчивости склона показали, что поверхность предполагаемого смещения характеризуется коэффициентом устойчивости меньше нормативного. Требуется проведение дополнительных мероприятий по закреплению грунтов.

Ключевые слова: устойчивость, поверхность скольжения, Midas GTS NX, коэффициент устойчивости, реконструкция канатной дороги.

I.L. Bartolomei¹, M.O. Karpushko¹, E.N. Karpushko²

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²Volgograd State Technical University, Institute of Architecture and Civil Engineering,
Volgograd, Russian Federation

CALCULATION OF THE STABILITY OF THE SLOPE FOR THE CONSTRUCTION OF A CABLEWAY

Currently, the issues of assessing and predicting slope stability are becoming increasingly important. The main reasons are the lack of territories in large cities for the construction of buildings and structures, roads, laying pipelines, power lines, etc. Lack of stability of the loaded slopes that are the bases of structures is associated with huge material damage and possible human victims. Therefore, a reliable and effective method for calculating slope stability, taking into account all the main parameters that affect the stability, is an urgent task. In this paper, the calculation is made by the example of a ski complex. Landslides can be dangerous on the slopes. In order to assess the development of landslide processes in the places of holiday-makers and athletes' gathering for the purpose of their safe stay, the stability of the slope must be checked. The objects of the study were the slopes of the mountain along the lift line, soils composing the upper part of the lithosphere to the depth of 10 m and underground water. The boundary of the examined section is a cableway – linear, dynamically loaded structure with intermediate supports, lower and upper stations. According to the research of engineering and geological elements, slope stability coefficient was calculated within the studied area using the method of round-cylindrical sliding surfaces. This method is based on the virtual shear surface of the limit equilibrium method and the results of the stress state calculation. The results of the slope stability assessment showed that the surface of the assumed displacement is characterized by a stability coefficient less than the standard one. Additional measures are required to consolidate the soil.

Keywords: stability, sliding surface, Midas GTS NX, stability coefficient, cableway reconstruction.

Пермский край обладает значительным культурным, историческим и природным потенциалом для развития как внутреннего, так и въездного туризма. С учетом географического положения, уникальных природных и исторических памятников туризм развивается в Полазненском городском поселении, расположенном в центральной части Пермского края на левом берегу Камского водохранилища, входящем в состав Добрянского муниципального района.

Полазненское городское поселение характеризуется выгодным географическим положением, близостью к областному центру, хорошо развитой транспортной инфраструктурой, а также наличием уникальных природно-ландшафтных ресурсов. Центром отдыха является крупный горнолыжный центр с базой отдыха.

Ежегодно комплекс принимает спортсменов и отдыхающих, как в зимний, так и в летний периоды. На территории комплекса тренируется СШОР по горнолыжному спорту и сноуборду. Развитие горнолыжного комплекса «Полазна» для Пермского края имеет приоритетное значение. Соответственно, безопасность эксплуатации объекта и безопасность пребывающих там людей выходит на первый план [1–3]. На данный момент комплексу требуется новая и современная канатно-буксировочная дорога.

Произведем поверочный расчет устойчивости склона для установки подъемного механизма.

В качестве исходных данных были изучены сведения о климате, рельефе, геоморфологии, особенностях геологического строения, гидрогеологических условий, геологических и инженерно-геологических процессах, физико-механических свойствах грунтов. Также было оценено современное состояние изученности склоновых процессов в научно-исследовательской литературе [4–16]. На основании собранных материалов был определен состав, объемы и методика исследовательских работ. Расчетное сечение было назначено после изучения и анализа инженерно-геологического профиля с учетом прочностных характеристик инженерно-геологических элементов.

Расчет устойчивости склона в двухмерной постановке был проведен в программном комплексе MIDAS GTS NX.

Границей рассматриваемого участка является канатная дорога – линейное, динамически нагруженное сооружение с промежуточными опорами, нижней и верхней станциями. В состав инфраструктуры канатной дороги входит здание оператора вблизи верхней станции канатной дороги, которое предназначено для размещения электроаппаратуры управления дорогой и временного пребывания персонала. Ориентировочные габариты здания 4×5 м.

Уровень ответственности зданий и сооружений согласно Федеральному закону «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ – нормальный (II).

Предполагаемый тип фундамента – под опоры и станции канатной дороги (предварительно) – железобетонный, столбчатый, мелкого заложения, глубиной 3,5 м, под помещения дежурного (предварительно) – железобетонный, ленточный, мелкого заложения, глубиной 3 м.

В геоморфологическом отношении территория приурочена к склону долины реки Камы. Абсолютные отметки поверхности земли по устьям выработок изменяются от 111,80 до 214,50 м (система высот – Балтийская). Уклон поверхности 16° в северо-западном направлении, в сторону р. Камы. Участок примыкает к линии уреза воды в р. Каму, превышение верхней части участка над уровнем воды около 110 м.

В геологическом строении района изысканий (до исследуемой глубины 30,0 м) принимают участие элювиально-делювиальные (edQ) отложения четвертичного возраста, перекрытые с поверхности биогенными (bQ) и техногенными четвертичными (tQ) отложениями. Также скважинами и шурфами были встречены карстующиеся коренные породы (Pir). В соответствии с геолого-литологическим строением участка, полевыми и лабораторными данными, а также согласно ГОСТ 20522–2012 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний», ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация на участке изысканий» выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

ИГЭ-1 – насыпной грунт: щебенистый грунт (tQ);

ИГЭ-2а – глина с щебнем тугопластичная (дресвы, щебня до 19 %) (edQ);

ИГЭ-2б – глина с щебнем мягкопластичная (дресвы, щебня до 25 %) (edQ);
 ИГЭ-3а – суглинок дресвяный полутвердый (дресвы, щебня до 44 %) (edQ);
 ИГЭ-3б – суглинок дресвяный тугопластичный (дресвы, щебня до 42 %) (edQ);
 ИГЭ-4 – дресвяный грунт с суглинистым мягкопластичным заполнителем (заполнителя до 43 %) (edQ);
 ИГЭ-5 – щебенистый грунт с супесчаным пластичным заполнителем (заполнителя до 39 %) (edQ);
 ИГЭ-6 – известняк малопрочный средней плотности среднепористый размягчаемый средневыветрелый (Pir);
 ИГЭ-7 – гипс малопрочный средней плотности среднепористый размягчаемый средневыветрелый (Pir).
 Рекомендуемые расчетные значения характеристик грунтов для выделенных ИГЭ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сводная таблица расчетных характеристик грунтов выделенных ИГЭ

Номер ИГЭ	Наименование грунта	Расчеты оснований по несущей способности			Модуль общей деформации	Коэффициент фильтрации грунта, м/сут
		Плотность грунта ρ , г/см ³	Угол внутреннего трения φ , град	Удельное сцепление грунта C , кПа		
1	Насыпной грунт: щебенистый грунт (tQ)	1,93	18	2	34,0	–
2а	Глина с щебнем тугопластичная (дресвы, щебня до 19 %) (edQ)	1,74	13	27	11,6	0,00021
2б	Глина с щебнем мягкопластичная (дресвы, щебня до 25 %) (edQ)	1,71	8	26	7,0	0,00024
3а	Суглинок дресвяный полутвердый (дресвы, щебня до 44 %) (edQ)	1,95	13	28	21,9	0,00028
3б	Суглинок дресвяный тугопластичный (дресвы, щебня до 42 %) (edQ)	1,87	12	11	22,2	0,00054
4	Дресвяный грунт с суглинистым мягкопластичным заполнителем (заполнителя до 43 %) (edQ)	1,93	16	5	26,6	0,0062
5	Щебенистый грунт с супесчаным пластичным заполнителем (заполнителя до 39 %) (edQ)	2,03	18	3	32,7	0,048
6	Известняк малопрочный средней плотности среднепористый размягчаемый средневыветрелый (Pir)	2,19	–	–	–	1,5
7	Гипс малопрочный средней плотности среднепористый размягчаемый средневыветрелый (Pir)	2,22	–	–	–	1,5

Расчетная модель включает в себя профиль сооружения с привязкой к конкретному участку основания в наиболее опасном месте. Расчетный створ приведен на рис. 1. Высотная отметка верха склона на сечении А-А – 214,50 м, максимальная высота – 110,0 м.

Устойчивость сооружения считается обеспеченной, если коэффициент надежности γ_n по ответственности сооружений равен или выше значения, принимаемого для сооружений: II класса – 1,20, III класса – 1,15, IV класса – 1,10.

При построении инженерно-геологического разреза использовались результаты обработки материалов инженерно-геологических изысканий (рис. 2). Они позволили детально установить границы между геологическими слоями, различающимися по своим физическим и механическим характеристикам.

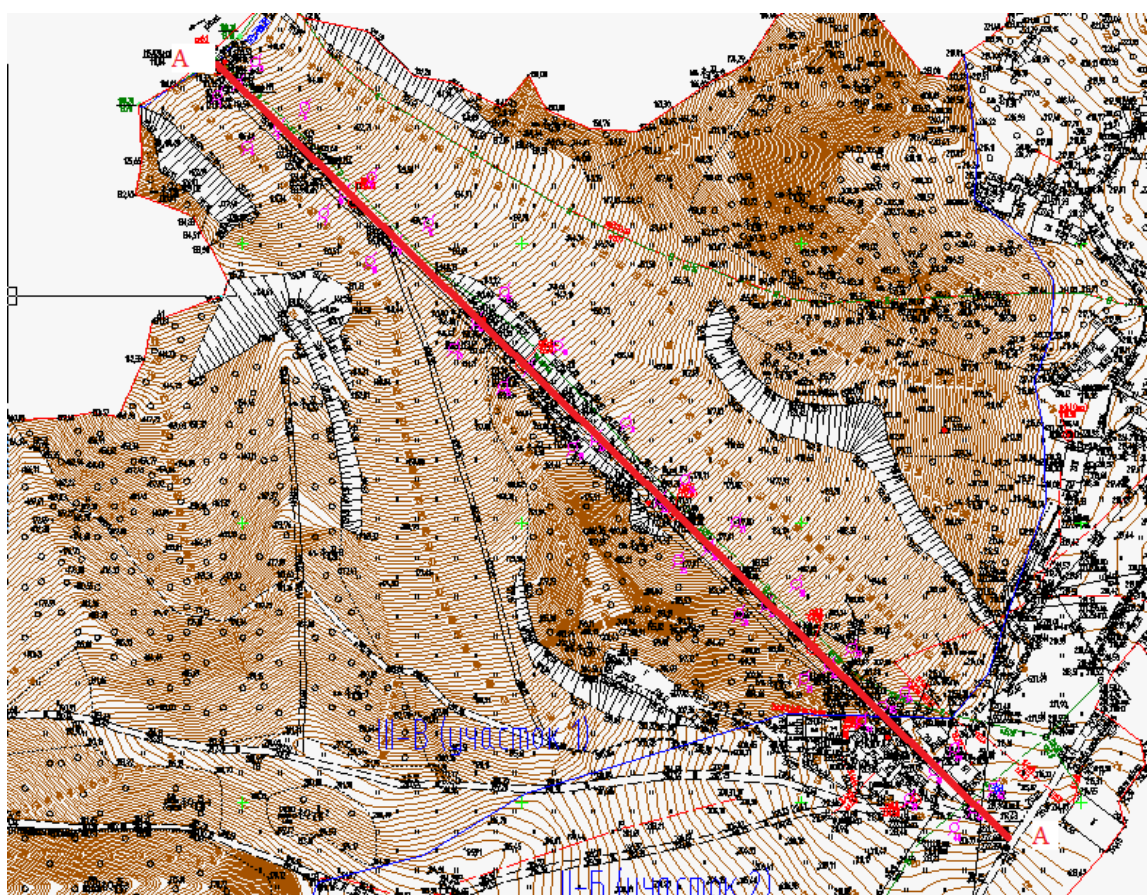


Рис. 1. Ситуационный план. Расчетные сечения

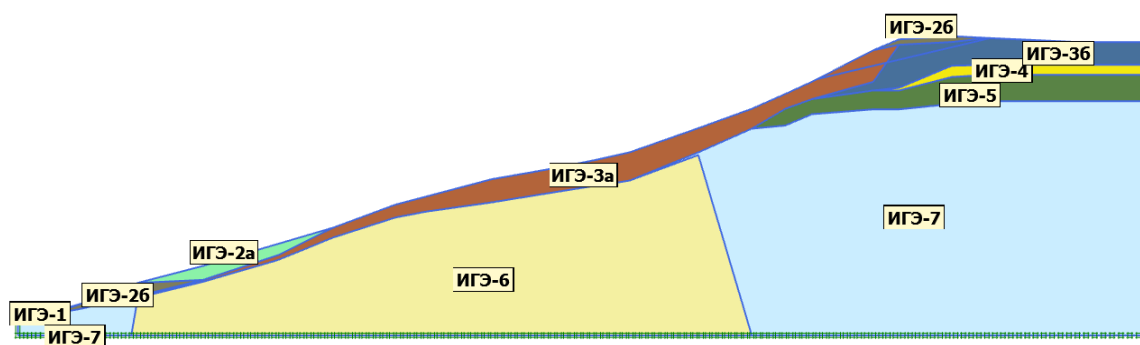


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез продольного профиля

Программный комплекс MIDAS GTS NX основан на использовании метода конечных элементов в условиях двухмерной задачи. Он позволяет моделировать условия площадки с учетом нелинейности материала и начальных напряжений в грунте [17].

В программном комплексе MIDAS GTS NX реализованы два метода определения коэффициента устойчивости:

1. Метод КЦПС – круглоцилиндрической поверхности скольжения. Задается область построения центров дуги скольжения и область построения касательных к кругу.

Метод предельного равновесия является одним из наиболее часто используемых методов анализа устойчивости существующих откосов. Однако в рамках данного метода невозможно определить историю напряжений существующего откоса или учесть изменения в поведении грунта. С другой стороны, в расчетах устойчивости откосов с использованием метода конечных элементов есть возможность учесть процесс формирования откоса и различные характеристики

грунта, но это требует большего времени счета в связи с необходимостью выполнения нескольких нелинейных расчетов.

Данный метод основан на виртуальной поверхности сдвига метода предельного равновесия и результатах расчета напряженного состояния.

В рамках данного метода коэффициент безопасности вычисляется для нескольких заданных поверхностей сдвига с использованием результатов расчета напряженного состояния методом конечных элементов. По итогам расчетов определяется критическая кривая сдвига и минимальный коэффициент безопасности. При этом может использоваться модель материала Мора – Кулона.

2. Метод снижения прочностных характеристик. Расчет устойчивости откоса с использованием метода конечных элементов является детальным приближенным решением, удовлетворяющим все условия равновесия сил, условия совместности, уравнения состояния и граничные условия в каждой точке откоса. Данный метод численного анализа позволяет моделировать близкую к реальной форму обрушения, лучше учитывая реальные условия работы сооружения. При этом достаточно точно может быть оценен механизм обрушения и минимальный коэффициент безопасности откоса. В частности, процесс обрушения моделируется автоматически, без необходимости предварительного задания возможной поверхности обрушения.

Метод редукции (метод расчета устойчивости откоса, основанный на методе конечных элементов) состоит в постепенном снижении сдвиговой прочности и выполнении расчета НДС до тех пор, пока решение не перестанет сходиться. Такая ситуация соответствует обрушению откоса, а максимальный коэффициент понижения сдвиговой прочности считается минимальным коэффициентом устойчивости откоса. Кроме того, метод редукции позволяет рассмотреть процесс деформирования откоса от его начального состояния до момента обрушения без необходимости указания возможных положений поверхности обрушения.

Расчет устойчивости склона выполнялся в следующей последовательности:

1. Начальный расчет: задание статических условий, заданных напряжений от собственного веса массива грунта.

2. Расчет устойчивости склона методом ЦКПС.

Устойчивость сооружения считается обеспеченной, если коэффициент надежности по ответственности сооружений (γ_n) равен или выше значения, принимаемого для сооружений II класса – 1,20.

Полученный коэффициент устойчивости $K_{уст} = 0,939$. Таким образом, устойчивость склона не обеспечена. Результат расчета в программном комплексе MIDAS приведен на рис. 3.

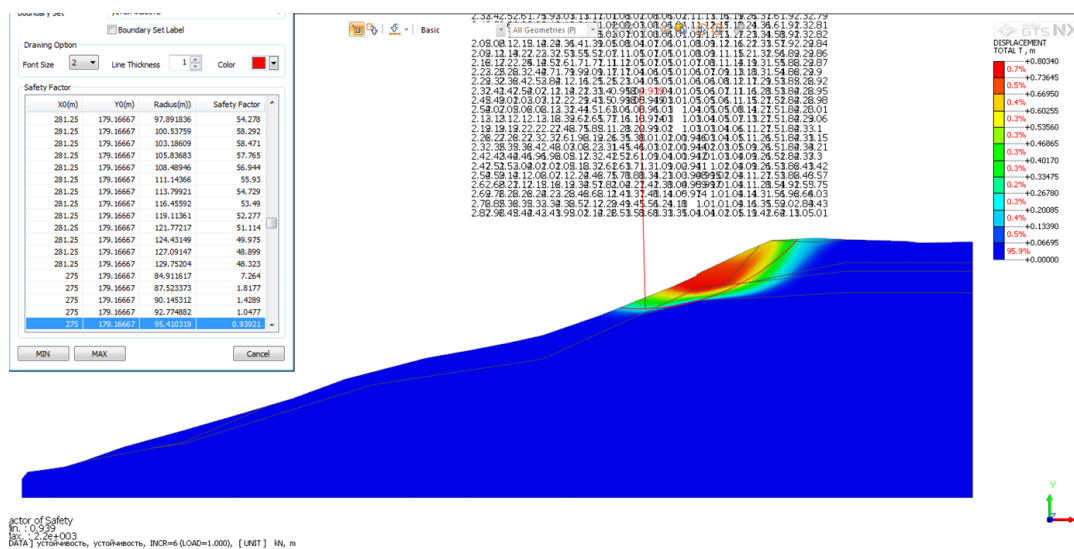


Рис. 3. Результаты расчета устойчивости склона

В результате выполненных исследований и расчета были сделаны следующие выводы:

1. Оценка устойчивости склона показала, что поверхность предполагаемого смещения характеризуется коэффициентом устойчивости менее 1,2.
2. Предполагаемая поверхность смещения находится в элювиальных отложениях и формирует в верхней части склона оползневое тело протяженностью 70,0 м по линии падения склона, захватывающее всю мощность четвертичных отложений на данном участке (около 10 м).
3. Требуется проведение дополнительных мероприятий по закреплению грунтов: например, цементация полного объема оползневого склона, устройство подпорной стенки, выполаживание склона, закрепление поверхности склона одерновкой, мощением камнем и др.

Список литературы

1. Дудлер И.В., Хайме Н.М., Лярский С.П. Методология инженерных изысканий для особо опасных, технически сложных и уникальных объектов // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. – 2013. – № 2. – С. 115–129.
2. Конюшков В.В., Веселов А.А., Кондратьева Л.Н. Комплексный анализ результатов инженерных изысканий для проектирования, строительства и эксплуатации сооружений на территориях со склоновыми процессами // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2017. – Т. 328, № 11. – С. 111–125.
3. Landslide management in the UK – the problem of managing hazards in a «low-risk» environment / A.D. Gibson, M.G. Culshaw, C. Dashwood, C.V.L. Pennington // *Landslides*. – 2013. – Vol. 10 (5). – P. 599–610.
4. Крестин Б.М., Мальнева И.В. Активность оползневого и селевого процессов на территории Большого Сочи и ее изменения в начале XXI века // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. – 2015. – № 1. – С. 58–66.
5. Осипов В.И., Мамаев А.А., Ястребов А.А. Оценка и ранжирование по степени оползневой опасности участков строительства олимпийских объектов в г. Сочи // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. – 2013. – № 6. – С. 530–537.
6. Семикина С.С., Сотников П.В. Оценка оползневой опасности береговых склонов на территории города Барнаул // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2017. – Т. 328, № 7. – С. 67–75.
7. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Природные особенности строительства участка газопровода «Сила Сибири» на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск // *Известия Томского политехнического университета*. – 2015. – Т. 326, № 4. – С. 41–55.
8. Castellanos B.A., Brandon T.L., VandenBerge D.R. Use of fully softened shear strength in slope stability analysis // *Landslides*. – 2016. – Vol. 13 (4). – P. 697–709.
9. Chen D., Wei W., Chen L. Effects of terracing practices on water erosion control in China: a meta-analysis // *Earth-Science Review*. – 2017. – Vol. 173. – P. 109–121.
10. Mulargia F., Visconti G., Geller R.J. Scientific principles and public policy // *Earth-Science Review*. – 2018. – Vol. 176. – P. 214–221.
11. Roy S., Baruah A., Misra N.S. Mandar Effects of bedrock anisotropy on hillslope failure in the Darjeeling-Sikkim Himalaya: an insight from physical and numerical models // *Landslides*. – 2015. – Vol. 12 (5). – P. 927–941.
12. Strokova L.A. Methods of estimating surface settlement during driving of urban tunnels // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 2010. – Vol. 47, № 3. – P. 92–95.
13. Strokova L.A., Ermolaeva A.V., Golubeva V.V. The Investigation of Dangerous Geological Processes Resulting In Land Subsidence While Designing the Main Gas Pipeline in South Yakutia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2016. – № 43. – 6 p.
14. Geometrical characteristics of earthquake-induced landslides and correlations with control factors: a case study of the 2013 Minxian, Gansu, China, Mw 5.9 event / Y. Tian, C. Xu, J. Chen, Q. Zhou, L. Shen // *Landslides*. – 2017. – Vol. 14 (6). – P. 1915–1927.

15. Coupling fluvial processes and landslide distribution toward geomorphological hazard assessment: a case study in a transient landscape in Japan / C-Y. Tsou, M. Chigira, Y. Matsushi, N. Hiraishi, N. Arai // *Landslides*. – 2017. – Vol. 14 (6). – P. 1901–1914.
16. Walsby J.C. Geosure: a bridge between geology and decision making // *Communicating Environmental Geoscience*. – London, UK: Geological Society, 2008. – P. 81–87.
17. Руководство по программе Midas GTS NX [Электронный ресурс] // MIDASoft Inc. – URL: <http://ru.midasuser.com/web/page.php?no=65> (дата обращения: 26.01.2020).

References

1. Dudler I.V., Hajme N.M., Lyarskij S.P. Metodologiya inzhenernyh izyskanij dlya osobo opasnyh, tekhnicheskij slozhnyh i unikal'nyh ob"ektov [Engineering survey methodology for especially dangerous, technically complex and unique objects] *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, 2013, no. 2, pp. 115–129.
2. Konyushkov V.V., Veselov A.A., Kondrat'eva L.N. Kompleksnyj analiz rezul'tatov inzhenernyh izyskanij dlya proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii sooruzhenij na territoriyah so sklonovymi processami [Comprehensive analysis of engineering survey results for the design, construction and operation of structures in areas with slope processes] *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2017, vol. 328, no. 11, pp. 111–125.
3. Landslide management in the UK – the problem of managing hazards in a «low-risk» environment / A.D. Gibson, M.G. Culshaw, C. Dashwood, C.V.L. Pennington // *Landslides*, 2013, vol. 10 (5), pp. 599–610.
4. Krestin B.M., Mal'neva I.V. Aktivnost' opolznevoego i selevogo processov na territorii Bol'shogo Sochi i ee izmeneniya v nachale XXI veka [The activity of landslide and mudflow processes on the territory of Great Sochi and its changes at the beginning of the XXI century] *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, 2015, no. 1, pp. 58–66.
5. Osipov V.I., Mamaev A.A., YAstrebov A.A. Ocenka i ranzhirovanie po stepeni opolznevoj opasnosti uchastkov stroitel'stva olimpijskij ob"ektov v g. Sochi [Assessment and ranking according to the degree of landslide hazard of the construction sites of Olympic facilities in Sochi] *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, 2013, no. 6, pp. 530–537.
6. Semikina S.S., Sotnikov P.V. Ocenka opolznevoj opasnosti beregovyh sklonov na territorii goroda Barnaul [Landslide hazard assessment of coastal slopes in the city of Barnaul] *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2017, vol. 328, no. 7, pp. 67–75.
7. Strokova L.A., Ermolaeva A.V. Prirodnye osobennosti stroitel'stva uchastka gazoprovoda «Sila Sibiri» na uchastke CHayandinskoe neftegazokondensatnoe mestorozhdenie – Lensk [Natural features of the construction of the Power of Siberia gas pipeline section at the Chayandinskoye oil and gas condensate field] *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 326, no. 4, pp. 41–55.
8. Castellanos B.A., Brandon T.L., VandenBerge D.R. Use of fully softened shear strength in slope stability analysis // *Landslides*, 2016, vol. 13 (4), pp. 697–709.
9. Chen D., Wei W., Chen L. Effects of terracing practices on water erosion control in China: a meta-analysis // *Earth-Science Review*, 2017, vol. 173, pp.109–121.
10. Mulargia F., Visconti G., Geller R.J. Scientific principles and public policy // *Earth-Science Review*, 2018, vol. 176, pp. 214–221.
11. Roy S., Baruah A., Misra N.S. Mandal Effects of bedrock anisotropy on hillslope failure in the Darjeeling-Sikkim Himalaya: an insight from physical and numerical models // *Landslides*, 2015, vol. 12 (5), pp. 927–941.
12. Strokova L.A. Methods of estimating surface settlement during driving of urban tunnels // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2010, vol. 47, no. 3, pp. 92–95.
13. Strokova L.A., Ermolaeva A.V., Golubeva V.V. The Investigation of Dangerous Geological Processes Resulting In Land Subsidence While Designing the Main Gas Pipeline in South Yakutia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, no. 43, 6 p.
14. Geometrical characteristics of earthquake-induced landslides and correlations with control factors: a case study of the 2013 Minxian, Gansu, China, Mw 5.9 event / Y. Tian, C. Xu, J. Chen, Q. Zhou, L. Shen // *Landslides*, 2017, vol. 14 (6), pp. 1915–1927.
15. Coupling fluvial processes and landslide distribution toward geomorphological hazard assessment: a case study in a transient landscape in Japan / C-Y. Tsou, M. Chigira, Y. Matsushi, N. Hiraishi, N. Arai // *Landslides*, 2017, vol. 14 (6), pp. 1901–1914.
16. Walsby J.C. Geosure: a bridge between geology and decision making // *Communicating Environmental Geoscience*. – London, UK: Geological Society, 2008, p. 81–87.
17. Rukovodstvo po programme Midas GTS NX [Midas GTS NX Program Guide] Available at: <http://ru.midasuser.com/web/page.php?no=65> (accessed 26.01.2020).

Об авторах

Карпушко Марина Олеговна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: mkarpushko@gmail.com).

Бартоломей Игорь Леонидович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: barmadesu@yandex.ru).

Карпушко Елена Николаевна (Волгоград, Россия) – кандидат экономических наук, доцент, профессор кафедры «Экспертиза и эксплуатация объектов недвижимости», доцент кафедры «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», Волгоградский государственный технический университет, Институт архитектуры и строительства (400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, e-mail: hhelena@mail.ru).

About the authors

Marina O. Karpushko (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: mkarpushko@gmail.com).

Igor' L. Bartolomei (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: barmadesu@yandex.ru).

Elena N. Karpushko (Volgograd, Russian Federation) – Ph.D. in Economic Sciences, Professor, Department of the Examination and Operation of Real Estate Objects, Associate Professor, Department of the Construction and Operation of Transport Structures, Volgograd State Technical University, Institute of Architecture and Civil Engineering (1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation, e-mail: hhelena@mail.ru).