

УДК 551.4.04

АНТРОПОГЕННЫЙ ФАКТОР В УСИЛЕНИИ ОПОЛЗНЕВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ СХОДА ОПОЛЗНЯ И РАЗРУШЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕЗЕРВУАРА ЧИСТОЙ ВОДЫ В П. СИНЕГОРСК

Сахаров Валерий Александрович¹,
sakhsakh@yandex.ru

Ильин Владимир Вениаминович¹,
vladimirilyin7@gmail.com

Ильин Николай Владимирович¹,
Zieqed@gmail.com

Строкин Константин Борисович¹,
strokin07@rambler.ru

Новиков Денис Геннадьевич¹,
Denis.G.Novikov@gmail.com

¹ Сахалинский государственный университет,
Россия, 693008, г. Южно-Сахалинск, ул. Пограничная, 2

Актуальность исследования обусловлена активизацией оползневых процессов в результате инженерной деятельности человека, приводящей к разрушению инфраструктурных объектов жизнеобеспечения городов и поселков Сахалинской области на примере схода оползня в районе резервуара чистой воды в п. Синегорск в июле 2017 г. В настоящее время в Сахалинской области ведется интенсивное освоение склонов горных отрогов и участков подножий, прилегающих непосредственно к склонам. К примеру, развитие спортивного комплекса «Горный воздух» и строительство горнолыжных трасс охватывает склоны, которые входят в состав территории города Южно-Сахалинска, и, соответственно, находятся в непосредственной близости не только к инфраструктурным объектам, но и к жилым районам города. Другие склоны с построенными трассами спускаются в долины рек с обустроенными водохранилищами (реки Рогатка и Еланка). Развитие неблагоприятных процессов в виде оползней на данных участках может привести к формированию селевых потоков катастрофических масштабов, направленных также в районы города.

Цель: изучить условия формирования оползня, оценить его параметры, выявить причины схода и дать прогноз на развитие аналогичных катастрофических процессов в будущем.

Объект: резервуар чистой воды в п. Синегорск, южный склон.

Методы: маршрутные рекогносцировочные обследования, бурение скважин до 10 м глубиной с отбором проб через 0,3...0,5 м, геофизические исследования георадарной установкой ОКО-2, лабораторные испытания физико-механических свойств грунтов.

Результаты. По данным исследований выполнено изучение инженерно-геологического строения участка развития оползня в районе резервуара чистой воды. Изучены параметры сошедшего оползня, выявлены условия и причины его формирования. Дана ретроспективная оценка устойчивости склона до схода оползня и оценка возможного развития опасных геологических процессов изученного участка в будущем.

Ключевые слова:

Оползневые процессы, склоновые процессы, склон, сейсмичность территории, делювиальные отложения, тело оползня, элювий, объемный вес грунта, угол внутреннего трения, уклон поверхности скольжения, коэффициент устойчивости склона, грунтовые воды.

Введение

Объект исследования находится на юге Сахалинской области, в п. Синегорск. Резервуар чистой воды (далее – резервуар) расположен на южном склоне сопки, на расстоянии 0,5 км севернее ближайшего жилого дома с разностью в отметках порядка 90 м. Резервуар представляет собой заглубленную емкость объемом 1000 м³ (10*20*5 м) из сборного железобетона. В зоне расположения резервуара находится также его инфраструктура – здание хлораторной, система трубопроводов со смотровыми колодцами и камерами переключений, сторожка, подъездные пути.

Сход оползня произошел в районе инфраструктурных коммуникаций резервуара в июле 2017 г. В результате схода были повреждены и разрушены

трубопроводы, колодцы, задвижки, обваловка резервуара и прилегающий ландшафт, был частично перекрыт стекающий по дну оврага ручей.

После схода оползня ООО «Геоэксперт» выполнило инженерно-геологические изыскания до глубины 10 м. В лабораторных условиях были определены физико-механические характеристики грунтов в естественном состоянии. Авторы статьи выполнили ретроспективную оценку коэффициента устойчивости склона для восстановленной поверхности до его обрушения.

Исходные данные

В качестве исходных данных были оценены общие сведения о строении района, а также результаты современных исследований по данному направлению [1–11].

Геологическое строение. В геологическом строении участка исследований принимают участие верхнемеловые образования красноярковской (K_2kr) и быковской (K_2bk) свит [12]. Краснояркоковская свита представлена туфопесчаниками, туффитами, туфоалевролитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, с прослоями туфов дациандезитов и линзами конгломератов. Мощность пород свиты составляет 400–900 м. Быковская свита сложена алевролитами, редко туфоалевролитами, аргиллитами с прослоями песчаников и мергелистыми конкрециями. Мощность образований достигает 1600 м.

Верхнемеловые породы практически повсеместно перекрыты четвертичными отложениями мощностью до 6 м. Породы представлены делювием и элювием. Отличаются от коренных пород коричневым цветом.

Почвенно-растительный слой выделяется практически повсеместно на исследуемой территории, за исключением участков склона, подверженных антропогенным изменениям и гравитационным процессам. Мощность почвенно-растительного слоя составляет 0,10...0,15 м.

Тектоническое строение. В тектоническом отношении исследуемый участок расположен в пределах верхнепалеозойского-нижнекайнозойского структурного этажа, мелового-нижнепалеоценового структурного яруса, на Синегорском блоке Сусунайского блокового складчато-надвигового поднятия [13]. Район характеризуется интенсивной складчатостью и обилием дизъюнктивных нарушений. Углы падения крыльев складок составляют 20–60°. Смещение блоков горных пород по разрывным нарушениям, как правило, близко к вертикальному.

Гидрогеологические условия. Согласно гидрогеологическому районированию, район и участок работ расположен в пределах Западно-Сахалинского гидрогеологического массива [14]. Сложность гидрогеологических условий обусловлена сильной расчлененностью рельефа, значительной дислоцированностью пород и соответствующим развитием трещин и разломов. В гидрогеологическом разрезе преобладают безнапорные трещинные подземные воды, менее развиты трещинно-жилные подземные воды. Питание приурочено к водораздельным участкам, разгрузка – в долины рек. Вне зон развития трещиноватости фильтрационные свойства горных пород весьма низкие. Скважины практически безводные. Непосредственно на участке исследований до глубины бурения 10 м подземные воды не встречены. Экспресс-наливы в скважины показали весьма низкую проницаемость пород. После наливов положение уровня в течение часа наблюдений практически не изменилось. Грунты отнесены к слабоводопроницаемым (K_f от 0,005 до 0,3 м/сут).

Свойства грунтов. По результатам лабораторного тестирования грунтов в инженерно-геологическом разрезе выделено пять элементов (ИГЭ – инженерно-геологический элемент):

1. Слой почвенно-растительный, мощность 0,1...0,16 м. На склоне отсутствует.
2. Суглинок делювиальный, полутвердый, коричневый. Развита на глубине от 1,8 до 5,9 м, мощность слоя составляет 0,85...3,5 м.

3. Суглинок делювиальный, тугопластичный, коричневый. Развита на глубине от 0,15 до 1,4 м, мощность слоя составляет 0,5...0,7 м.
4. Суглинок делювиальный, мягкопластичный, коричневый. Вскрыт тремя скважинами (2–4), мощность слоя составляет 1,0...3,45 м. Развита на глубине от 0,16 до 3,6 м.
5. Суглинок элювиальный, твердый серый специфический грунт, аргиллит в зоне гипергенеза. Развита на всей площади работ. Кровля элемента вскрыта на глубине от 2,8 до 6,0 м. Мощность слоя более семи метров. Имеет характерный серый цвет. В забойной части скважин, на глубине 10 м, вскрываются грунты близкие к аргиллиту. (Физико-химическое выветривание специфического грунта связано с взаимным воздействием горных пород, воды и атмосферы).

Геологические и инженерно-геологические процессы

Эндогенные процессы. К неблагоприятным физико-геологическим явлениям на площади исследований относится ее высокая сейсмичность [15]. Согласно СП 14.13330.2018, по средним грунтовым условиям (второй категории) сейсмичность территории по карте «А» составляет восемь (8) баллов, по карте «В» – девять (9) баллов.

Экзогенные процессы. В июле 2017 г. на склоне юго-западной экспозиции сошел оползень срезавшего-консеквентного типа. Глубина захвата грунтов составила 3–4 м, ширина – до 20 м, длина тела оползня – до 46 м. В результате верхняя оползневая терраса сформировалась в районе отметки 289 м, а подошва оползня частично перекрыла стекающий по дну долины мелкий ручей. Бровка срыва находилась на отметке 300 м. Смещение тела составило 11 м. Угол наклона поверхности скольжения – от 19 до 38 градусов. Были повреждены колодцы, задвижки и трубопроводы, разрушена обваловка резервуара и природный ландшафт (рис. 1–6). Инженерно-геологический разрез склона представлен на рис. 7.

В результате выполненных обследований объекта были выявлены причины возникновения и активизации опасного геологического процесса.

Резервуар полностью установлен в четвертичных делювиальных грунтах – от его нижней части до кровли аргиллитов (находящихся в стадии гипергенеза, но имеющих высокие физико-механические характеристики) от 1 до 3 м. В бетонном отстойнике емкости появилась трещина с зиянием до 3 см и протяженностью около метра. Грунт, по результатам выполненных работ, слабоводопроницаемый, потому небольшой дополнительный расход воды в емкости не был заметным. Но процесс замачивания грунта, при постоянном водопитоке, получал все большее развитие. Кроме того, на склоне (отметка 289,72 м) наблюдается слабый источник воды, соответственно, по его водопитокам также формируются ослабленные зоны, впоследствии – поверхности скольжения. В результате совместного воздействия природного источника и искусственного притока из резервуара сформировалась обобщенная водная система, которая

и стала поверхностью скольжения тела оползня. Судя по возрасту изогнутых стволов деревьев (рис. 2), процесс формирования длился 5–7 лет. Когда момент

сдвигающих усилий превысил момент удерживающих сил, произошло оползание грунтового массива и его частичное обрушение.



Рис. 1. Поверхность отрыва и скольжения
Fig. 1. Landslide tear-off and sliding surface



Рис. 2. Тело оползня
Fig. 2. Landslide body



Рис. 3. Водоток под телом оползня
Fig. 3. Watercourse under the landslide body



Рис. 4. Повреждения производственной инфраструктуры
Fig. 4. Damage to production infrastructure



Рис. 5. Смещение колец колодца
Fig. 5. Offset of the well rings



Рис. 6. Разрушение обваловки резервуара
Fig. 6. Destruction of the tank embankment

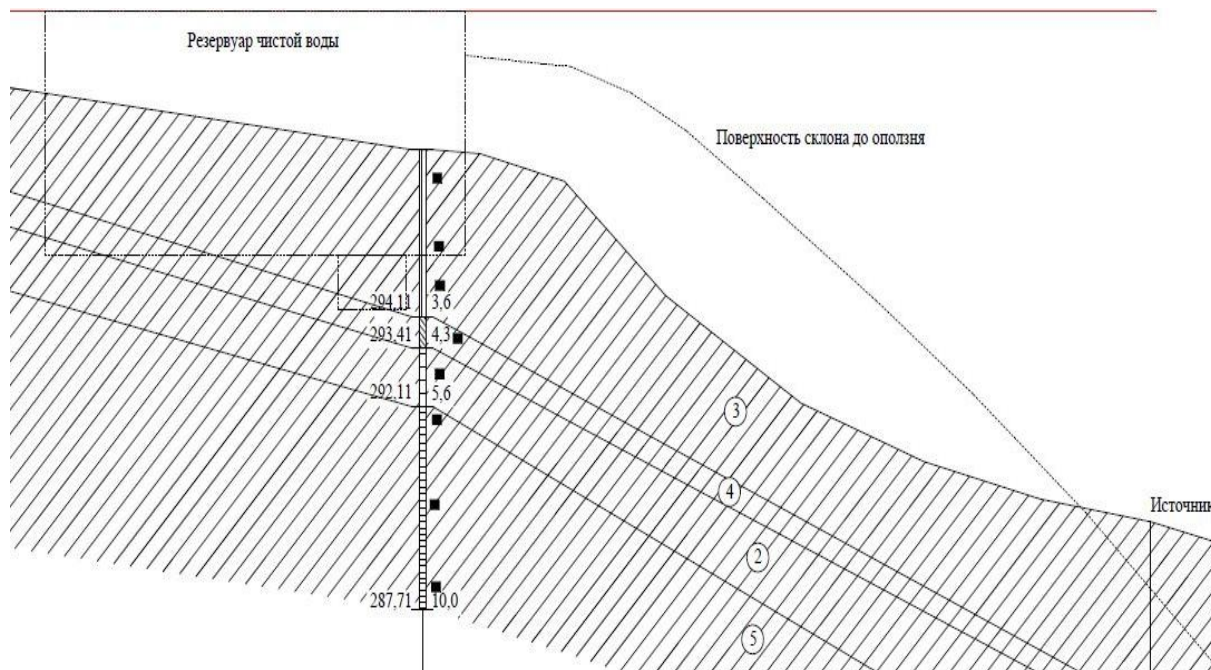


Рис. 7. Инженерно-геологический разрез склона
Fig. 7. Engineering-geological section of the slope

Как было отмечено выше, вся емкость стоит на делювиальных грунтах. На территории объекта в виде прослоев и линз вскрыт делювиальный суглинок мягкопластичной консистенции. Его залегание отмечается на уровне подошвы сооружения. Природные грунты в результате длительного замачивания также претерпели значительные изменения в сторону ослабления их физико-механических характеристик. Их улучшение непосредственно под зданием в естественных условиях не может произойти в ближайшее десятилетие. Кроме того, в разработанные ослабленные зоны вода будет поступать естественным путем – из атмосферных осадков, и, соответственно, будет сохраняться опасность формирования новых оползней, которые могут вовлекать в процесс уже и здание резервуара.

Заключение Расчеты коэффициентов устойчивости склона

Расчеты коэффициентов устойчивости склона были выполнены тремя методами:

- 1) метод расчета касательных сил прислоненного откоса;
- 2) суммированный расчет отдельных призм;
- 3) метод круглоцилиндрической поверхности скольжения.

Ретроспективная оценка устойчивости склона. Расчеты выполнены для восстановленной поверхности склона до обрушения (без учета формирования поверхности скольжения высачивающейся водой из резервуара). Соответственно: $K_y=1,04; 1,07; 1,03$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

Низкие значения коэффициента устойчивости обусловлены крутизной склона и залеганием мягкопластичных грунтов в основании разреза. Дополнительный приток воды из резервуара создал условия для схода оползня.

Сход оползня обусловлен сочетанием множества факторов, включая антропогенный [16–18]. В бетонном отстойнике резервуара появилась трещина с шириной до 3 см и протяженностью до метра. Ее появление связано с высокой сейсмичностью района и техническим состоянием отстойника резервуара. На склоне (8 м ниже резервуара) находится малодебитный нисходящий родник, следовательно, по системе его водосбора формируются ослабленные зоны. Дополнительный приток воды из трещины отстойника резервуара, прослой мягкопластичных суглинков и система локального водосбора сформировали поверхность скольжения тела оползня.

Необходимо учитывать, что при наличии обводненной потенциальной поверхности скольжения и повышенной сейсмичности района сход оползня может произойти и при положительных показателях коэффициента устойчивости [19].

При строительстве объектов и развитии инфраструктуры Сахалина следует учитывать комплексное сочетание неблагоприятных природных и антропогенных факторов [20–24], так как появление одного процесса может спровоцировать развитие другого (оползни и сели).

2. 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.
3. 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.
4. 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.
 5. 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. – V. 10 (5). – P. 599–610.
 6. Effects of bedrock anisotropy on hillslope failure in the Darjeeling-Sikkim Himalaya: an insight from physical and numerical models / S. Roy, A. Baruah, S. Misra, N. Mandal // Landslides. – 2015. – V. 12 (5). – P. 927–941.
 7. Strokova L.A. Methods of estimating surface settlement during driving of urban tunnels // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2010. – V. 47. – № 3. – P. 92–95.
 8. 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.
 9. 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. – V. 14 (6). – P. 1915–1927.
 10. 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. – V. 14 (6). – P. 1901–1914.
 11. Walsby J.C. Geosure: a bridge between geology and decision making // Communicating Environmental Geoscience. – London, UK: Geological Society, 2008. – P. 81–87.
 12. Геология СССР. Т. 33. Остров Сахалин. – М.: Недра, 1970. – 431 с.
 13. Мелкий В.А., Осипенко А.Б., Ильин В.В. К вопросу о первичной природе метаморфических пород острова Сахалина // Тез. докл. конф. молодых ученых-вулканологов. – Петропавловск-Камчатский, 1985. – С. 23.
 14. Гидрогеология СССР. Т. XXIV. Остров Сахалин. – М.: Недра, 1972. – 344 с.
 15. Левин Б.В., Ким Ч.У., Соловьев В.Н. Оценка сейсмической опасности и результаты детального сейсмического районирования для городов о. Сахалин // Тихоокеанская геология. – 2012. – Т. 31. – № 5. – С. 93–103.
 16. Understanding of landslide risk through learning by doing: case study of Koroška Bela community, Slovenia / M.J. Auflic, S. Kumelj, T. Peternel, J. Jez // Landslides. – 2019. – V. 16 (9). – P. 1623–1628.
 17. Chen D., Wei W., Chen L. Effects of terracing practices on water erosion control in China: a meta-analysis // Earth-Science Review. – 2017. – V. 173. – P. 109–121.
 18. A dynamic model for rapid startup of high-speed landslides based on the mechanism of friction-induced thermal pressurization considering vaporization / N. Zhao, R. Zhang, E. Yan, X. He, J. Liu // Landslides. – 2020. – V. 17 (7). – P. 1545–1560.
 19. Castellanos B.A., Brandon T.L., VandenBerge D.R. Use of fully softened shear strength in slope stability analysis // Landslides. – 2016. – V. 13 (4). – P. 697–709.
 20. Ильин В.В., Сахаров В.А. Расчет устойчивости склонов на участках строительства объектов спортивно-туристического комплекса «Горный воздух» (Гора Большевик, г. Южно-Сахалинск) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 4. – С. 208–216. DOI: 10.18799/24131830/2019/4/227 (РИНЦ, Scopus, WoS).
 21. Сахаров В.А., Ильин В.В. Динамика экзогенных процессов на участках строительства объектов спортивно-туристического комплекса «Горный воздух» // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 9. – С. 32–41. DOI: 10.18799/24131830/2019/9/2253 (РИНЦ, Scopus, WoS).
 22. Landslides across the USA: occurrence, susceptibility, and data limitations / B.B. Mirus, E.S. Jones, R.L. Baum, J.W. Godt // Landslides. – 2020. – V. 17 (10). – P. 2271–2285.
 23. Mulargia F., Visconti G., Geller R.J. Scientific principles and public policy // Earth-Science Review. – 2018. – V. 176. – P. 214–221.
 24. A multidisciplinary approach for landslide residual risk assessment: the Pomarico landslide (Basilicata Region, Southern Italy) case study Landslides / A. Perrone, F. Canora, G. Calamita, J. Bellanova, V. Serlenga, S. Panebianco // Landslides. – 2021. – V. 18 (1). – P. 353–365.

Поступила 25.01.2022 г.

Информация об авторах

Сахаров В.А., кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета.

Ильин В.В., старший преподаватель кафедры строительства Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета.

Ильин Н.В., студент Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета.

Строкин К.Б., доктор экономических наук, директор Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета.

Новиков Д.Г., научный сотрудник лаборатории Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета.

UDC 551.4.04

ANTHROPOGENIC FACTOR IN ENHANCING LANDSLIDE ACTIVITY IN SAKHALIN REGION ON THE EXAMPLE OF A LANDSLIDES AND DESTRUCTION OF THE INFRASTRUCTURE OF A PURE WATER RESERVOIR IN SINEGORSK

Valeriy A. Sakharov¹,
sakhsakh@yandex.ru

Vladimir V. Ilin¹,
sakhsakh@yandex.ru

Nikolay V. Ilin¹,
Zieqed@gmail.com

Konstantin B. Strokin¹,
strokin07@rambler.ru

Denis G. Novikov¹,
Denis.G.Novikov@gmail.com

¹ Sakhalin State University,
2, Pogranichnaya street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693008, Russia.

The relevance of the study is caused by the activation of landslide processes as a result of human engineering activities, leading to the destruction of infrastructure facilities for the life support of cities and settlements in the Sakhalin Region, as exemplified by a landslide in the area of the clean water reservoir in the village of Sinegorsk in July 2017. At present, the Sakhalin Region is intensively developing the slopes of mountain spurs and sections of the foothills adjacent directly to the slopes. For example, the development of the «Mountain Air» sports complex and the construction of ski slopes cover the slopes that are part of the territory of the city of Yuzhno-Sakhalinsk, and, accordingly, are in close proximity not only to infrastructure facilities, but also to residential areas of the city. Other slopes with built tracks descend into river valleys with equipped reservoirs (the Rogatka and Elanka rivers). The development of unfavorable processes in the form of landslides in these areas can lead to the formation of debris flows of catastrophic proportions, directed also to the districts of the city.

Purpose: to study the conditions for the formation of a landslide, evaluate its parameters, identify the reasons for the descent and give a forecast for the development of similar catastrophic processes in the future.

Object: reservoir of clean water in the village of Sinegorsk, southern slope.

Methods: route reconnaissance surveys, drilling of wells up to 10 m deep with sampling every 0,3 ... 0,5 m, geophysical studies by an OKO-2 GPR installation, laboratory tests of the physical and mechanical properties of soils.

Results. According to the research data, the study of the engineering-geological structure of the landslide development site in the clean water reservoir area was carried out. The parameters of the descended landslide were studied, the conditions and reasons for its formation were revealed. A retrospective assessment of the stability of the slope before the descent of a landslide and assessment of the possible development of dangerous geological processes in the studied area in the future are given.

Key words:

Landslide processes, slope processes, slope, seismicity of the territory, deluvial deposits, landslide body, eluvium, bulk density of soil, angle of internal friction, slope of the sliding surface, slope stability coefficient, groundwater.

REFERENCES

- Konyushkov V.V., Veselov A.A., Kondratyeva L.N. Complex analysis of the results of engineering surveys for the design, construction and operation of structures in areas with slope processes]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, vol. 328, no. 11, pp. 111–125. In Rus.
- Osipov V.I., Mamaev A.A., Yastrebov A.A. Otsenka i ranzhirovanie po stepeni opolznevoy opasnosti uchastkov stroitelstva olimpiyskikh ob'yektov v g. Sochi [Assessment and ranking by the degree of landslide hazard of sites for construction of Olympic facilities in the city of Sochi]. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, 2013, vol. 6, pp. 530–537.
- Semikina S.S., Sotnikov P.V. Assessment of landslide hazard of the coastal slopes in the city of Barnaul. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, vol. 328, no. 7, pp. 67–75. In Rus.
- Strokova L.A., Ermolaeva A.V. Natural features of construction of the main gas pipeline «The Power of Siberia» on a site Chayandinskoe oil and gas field – Lensk. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 4, pp. 41–55. In Rus.
- Gibson A.D., Culshaw M.G., Dashwood C., Pennington C. V.L. Landslide management in the UK – the problem of managing hazards in a «low-risk» environment. *Landslides*, 2013, vol. 10, no. 5, pp. 599–610.
- Roy S., Baruah A., Misra S., Mandal N. Effects of bedrock anisotropy on hillslope failure in the Darjeeling-Sikkim Himalaya: an insight from physical and numerical models. *Landslides*, 2015, vol. 12, no. 5, pp. 927–941.
- 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.
- 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.
- Tian Y., Xu C., Chen J., Zhou Q., Shen L. Geometrical characteristics of earthquake-induced landslides and correlations with control factors: a case study of the 2013 Minxian, Gansu, China, Mw 5.9 event. *Landslides*, 2017, vol. 14, no. 6, pp. 1915–1927.
- Tsou C.-Y., Chigira M., Matsushi Y., Hiraishi N., Arai N. Coupling fluvial processes and landslide distribution toward geomorphological hazard assessment: a case study in a transient landscape in Japan. *Landslides*, 2017, vol. 14, no. 6, pp. 1901–1914.

11. Walsby J.C. *Geosure: a bridge between geology and decision making. Communicating Environmental Geoscience*. London, UK, Geological Society, 2008. pp. 81–87.
12. *Geologiya SSSR. T.33. Ostrov Sakhalin* [Geology of the USSR. Vol. 33. Sakhalin Island]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 431 p.
13. Melkiy V.A., Osipenko A.B., Ilin V.V. K voprosu o pervichnoy prirode metamorficheskikh porod ostrova Sakhalina [To the issue of the primary nature of the metamorphic rocks of the island of Sakhalin]. *Tezisy dokladov konferentsii molodykh uchenykh-vulkanologov* [Proc. of the Conference of young scientists-volcanologists]. Petropavlovsk-Kamchatsky, 1985. pp. 23.
14. *Gidrogeologiya SSSR. T.XXIV. Ostrov Sakhalin* [Hydrogeology of the USSR. Vol. XXIV. Sakhalin island]. Moscow, Nedra Publ., 1972. 344 p.
15. Levin B.V., Kim Ch.U., Solovyev V.N. Otsenka seismicheskoy opasnosti i rezultaty detalnogo seismicheskogo rayonirovaniya dlya gorodov o. Sakhalin [Seismic hazard assessment and results of detailed seismic zoning for cities is. Sakhalin]. *Pacific Geology*, 2012, vol. 31, no. 5, pp. 93–103.
16. Auflic M.J., Kumelj S., Peternel T., Jez J. Understanding of landslide risk through learning by doing: case study of Koroška Bela community, Slovenia. *Landslides*, 2019, vol. 16, no. 9, pp. 1623–1628.
17. 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.
18. Zhao N., Zhang R., Yan E., He X., Liu J. A dynamic model for rapid startup of high-speed landslides based on the mechanism of friction-induced thermal pressurization considering vaporization. *Landslides*, 2020, vol. 17, no. 7, pp. 1545–1560.
19. Castellanos B.A., Brandon T.L., VandenBerge D.R. Use of fully softened shear strength in slope stability analysis. *Landslides*, 2016, vol. 13, no. 4, pp. 697–709.
20. Ilin V.V., Sakharov V.A. Calculation of the stability of slopes on the construction sites of the objects of the sports and tourist complex «Mountain Air» (Mount Bolshevik, Yuzhno-Sakhalinsk). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2019, vol. 330, no. 4, pp. 208–216. In Rus. DOI: 10.18799/24131830/2019/4/227
21. Saharov V.A., Ilin V.V. Dynamics of exogenous processes at the construction sites of the sports and tourist complex «Mountain Air». *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2019, vol. 330, no. 9, pp. 32–41. DOI: 10.18799/24131830/2019/9/2253.
22. Mirus B.B., Jones E.S., Baum R.L., Godt J.W. Landslides across the USA: occurrence, susceptibility, and data limitations. *Landslides*, 2020, vol. 17, no. 10, pp. 2271–2285.
23. Mulargia F., Visconti G., Geller R.J. Scientific principles and public policy. *Earth-Science Review*, 2018, vol. 176, pp. 214–221.
24. Perrone A., Canora F., Calamita G., Bellanova J., Serlenga V., Panebianco S. A multidisciplinary approach for landslide residual risk assessment: the Pomarico landslide (Basilicata Region, Southern Italy) case study. *Landslides*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 353–365.

Received: 25 Jan 2022

Information about the authors

Valeriy A. Sakharov, Cand. Sc., head of the laboratory of physical and chemical research, Sakhalin State University.

Vladimir V. Ilin, senior teacher, Sakhalin State University.

Nikolay V. Ilin, student, Sakhalin State University.

Konstantin B. Strokin, Dr. Sc., director, Oil and Gas Technical Institute, Sakhalin State University.

Denis G. Novikov, laboratory researcher, Sakhalin State University.