

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 7th International Conference

Chengdu, China, 23–27 September 2024



Edited by
S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC
Moscow
2024

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
7-й Международной конференции

Чэнду, Китай, 23–27 сентября 2024 г.



Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева

ООО «Геомаркетинг»
Москва
2024

泥石流： 灾害、风险、预测、防治

會議記錄

第七届国际会议

中国成都, 2024年9月23日至27日



編輯者

S.S. Chernomorets, K. Hu, K. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC

莫斯科

2024

УДК 551.311.8
ББК 26.823
С29

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). – Ed. by S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC. 622 p.

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2024. 622 с.

泥石流：灾害、风险、预测、防治。 會議記錄 第七届国际会议. 中国成都。 編輯者 S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – 莫斯科: Geomarketing LLC. 622 p.

ISBN 978-5-6050369-6-8

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), К. Ху (Институт горных опасностей и окружающей среды Китайской академии наук), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (Lomonosov Moscow State University), K. Hu (Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS), K.S. Viskhadzhieva (Lomonosov Moscow State University).

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).

Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

© Селевая ассоциация

© Debris Flow Association



Выполнение селезащитных сооружений в узкой полосе отвода автодорог

И.С. Богданов, П.А. Александров

ООО «ГЕИОЗОЛ Проект», Санкт-Петербург, Россия, info@geoizolproject.ru

Аннотация. В статье описывается опыт проектирования гибкого селеудерживающего барьера на свайном основании, который был построен в 2023 г. на 15-м км федеральной автомобильной дороги Р-297 «Амур» Чита – Хабаровск в Забайкальском крае Российской Федерации. Особенность принятого технического решения заключается в размещении защитного сооружения в границах узкой полосы отвода автодороги. В статье приводится описание вариантов технических решений, которые рассматривались на этапе разработки концепции противоселевой защиты, в рамках предпроектных разработок, а также приводятся основные параметры принятого в проектной документации конструктивного решения противоселевой защиты.

Ключевые слова: инженерная защита территории, селезащита, сель, селеудерживающий барьер, GEOIZOL-MP, стесненные условия строительства, автомобильная дорога

Ссылка для цитирования: Богданов И.С., Александров П.А. Выполнение селезащитных сооружений в узкой полосе отвода автодорог. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2024, с. 68–76.

Debris flow protective structures installation in narrow right of way

I.S. Bogdanov, P.A. Alexandrov

GEOIZOL Project LLC, Saint-Petersburg, Russia, info@geoizolproject.ru

Abstract. This article describes the experience in designing of flexible debris flow retention barrier based on pile foundation which was built in 2023 on the 15th kilometer of the federal highway P-297 “Amur” between Chita and Khabarovsk in Zabaykalsky region of Russian Federation. The main feature of the technical solution is that protective structure is placed in narrow right of way. The article provides description of alternative ways of technical solutions which were taken into account during the conceptual design stage of mud flow protection in case of pre-design concept. Also, the article provides general characteristics of constructive solution for debris flow protection accepted in the design documentation.

Key words: engineering protection of territory, debris flow protection, debris flow, flexible debris flow retention barrier, GEOIZOL-MP, constrained building conditions, highway

Cite this article: Bogdanov I.S., Alexandrov P.A. Debris flow protective structures installation in narrow right of way. In: Chernomorets S.S., Hu K., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). Moscow: Geomarketing LLC, 2024, p. 68–76.

Введение

Традиционные сооружения инженерной защиты от селевых потоков (массивные селезадерживающие и селенаправляющие дамбы, запруды, селепропускные,



стабилизирующие сооружения) имеют крупные габариты, занимают значительные площади, требуют выполнения большого объема земляных работ и применения многочисленного парка строительной техники. Эти факторы затрудняют или делают невозможным возведение традиционных сооружений в стесненных условиях строительства без остановки движения автотранспорта.

Гибкие селеудерживающие барьеры (рис. 1) имеют компактные размеры, могут быть выполнены с применением малогабаритной техники, в том числе на крутых горных склонах без устройства технологических подъездных дорог с возможностью доставки материалов и строительной техники с помощью авиации (когда это экономически обосновано).

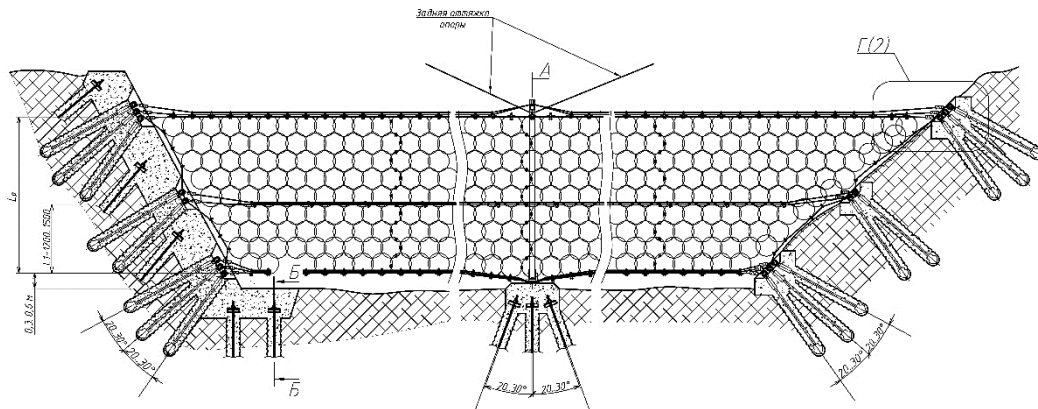


Рис. 1. Общий вид селеудерживающего барьера, установленного в горном кластере Сочи

Работа селезадерживающих барьеров основана на остановке селевого потока и удержании его твердой составляющей в верхнем бьефе, исключая его дальнейшее движение с вовлечением в поток больших масс грунта. Гибкий селеудерживающий барьер представляет собой металлоконструкцию, основным элементом которой является высокопрочная стальная сеть, которая задерживает твердый сток и пропускает жидкую фазу селевого потока. В России применяется сеть с кольцевыми ячейками, так называемая кольчужная сеть производства российской компании «Геобарьер» (рис. 2). Сеть закрепляется на стойках, оборудуется системой демпфирующих элементов (гасителей энергии) и при необходимости дополнительно закрепляется на рельефе стальными тросовыми оттяжками.



Рис. 2. Кольчужная сеть



Барьеры устанавливаются поперек селеопасных русел. Конструкции рассчитаны на восприятие ударных нагрузок от селевого потока. В эксплуатируемом варианте использования сооружения, после прохождения селя барьер очищается от твердого стока, при необходимости меняются демпфирующие элементы. В неэксплуатируемом варианте заполненный твердым стоком барьер становится рельефообразующей структурой.

На протяжении последних нескольких десятилетий гибкие селеудерживающие барьеры нашли широкое применение в альпийском горном регионе Западной Европы. Параллельно с этим собственные разработки вели российские исследователи. Массовое применение в России таких конструкций произошло в рамках подготовки к Зимним Олимпийским играм в Сочи.

На сегодняшний день гибкие селеудерживающие барьеры являются эффективным решением инженерной защиты от селевой опасности, которое позволяет выполнить мероприятия в трудных условиях строительства.

Условия проектирования

Объект проектирования расположен на территории городского округа Чита в Забайкальском крае, на км 15 автомобильной дороги федерального значения Р-297 «Амур» Чита – Невер – Свободный – Архара – Биробиджан – Хабаровск.

Читинский район расположен на Забайкальском среднегорье, где горные территории преобладают над равнинными. Район проводимых работ находится в Читино-Ингодинской впадине, приподнятой над уровнем моря на 640–650 м. В геоморфологическом отношении участок работ расположен в долине р. Смоленая, переходя на склон местного водораздела.

25 июля 2018 г. после выпадения большого количества осадков (около 300 мм в течение недели) произошел выход селевых масс со склона горы Кучугыр на автомобильную дорогу. Работы по расчистке федеральной трассы заняли 9 дней, движение автомобилей было восстановлено лишь 3 августа (рис. 3).



Рис. 3. Участок автотрассы «Амур» в месте схода селя

Помимо аномальных осадков к благоприятным условиям для формирования селя следует отнести горный рельеф, V-образные поперечные профили и крутые борта логов, широкое распространение легкоразмываемых грунтов (супесей). Рельеф на участке характеризуется как денудационно-эрозионный, уклоны поверхности от 10° до 15° в зоне



накопления (разгрузки), от 12° до 20° в зоне транзита, от 15° до 25° в зоне формирования селей. По морфологическим особенностям склоны волнистые, реже прямолинейные.

Для оценки рисков формирования повторных селей на участке проведены инженерные изыскания, в ходе которых были выявлены три селеопасных бассейна общей площадью 92 000 кв. м, которые простираются на 220–250 м в юго-западном направлении вверх по склону от защищаемой автодороги. По совокупности гидрографических и гидрологических характеристик селевых потоков данные селевые бассейны относятся к категории простых с одним выраженным руслом. Категория опасности селевых процессов по площадной пораженности (более 50%) – весьма опасная, согласно таблице 5.1 СП 115.13330.2016 «Геофизика опасных природный воздействий». Расчетный объем селевых потоков по трем бассейнам составил 68 000, 70 000 и 90 000 куб. м.

Выполнение противоселевой защиты было включено в состав работ по капитальному ремонту участка км 10 – км 20 трассы Р-297 «Амур». Проектирование мероприятий выполнялось в несколько этапов, из которых следует выделить три: разработку концепции инженерной защиты от селей, технико-экономическое сравнение вариантов в рамках предпроектных работ, разработку комплектов проектной и рабочей документации.

Концепция противоселевой защиты и предпроектные разработки

По результатам рассмотрения первичных исходных данных, а также на основании информационного запроса были предложены несколько вариантов выполнения мероприятий инженерной защиты, направленных на ликвидацию опасных селевых процессов и/или исключения их воздействия на защищаемую автодорогу.

Первый вариант предусматривал устройство в селевых бассейнах (в зонах формирования и транзита потоков) каскада гибких селеудерживающих барьеров, препятствующих развитию и подпитке селя.

Устройство барьеров предполагалось в неэксплуатируемом варианте. После прохождения селевого потока барьер не расчищается и вместе с задержанным твердым стоком становится рельефообразующим элементом, выполняя лог водотока для снижения вероятности возникновения очагов селеобразования.

В качестве дополнительных мероприятий вблизи барьеров, в местах со вскрытыми грунтами предусматривалось устройство противозрозионной защиты на крутонаклоненных участках склонов, а также закрепление русла сошедшего селя (разрушенной части склона). Для регулирования стока и снижения рисков возникновения селевых процессов предлагалось устройство укрепленных водотоков со сбросом в кювет автодороги.

Второй вариант предусматривал установку каскада подпорных стен (свайных, бетонных гравитационных или армогрунтовых), служащих рельефообразующими элементами. Пространство выше стен должно было засыпаться грунтом для выполнения склона и исключения образования на пологих террасах очагов селеобразования. На поверхности засыпки предусматривались противозрозионные мероприятия.

Спланированные площадки обеспечивались системой водоотведения, включающей сеть водоотводных канав, собирающих воду с поверхности, сеть водоотводных лотков вдоль стен, укрепленный быстроток по поверхности засыпки в каждом лавиносборе и конструкции водопропуска в каждом сооружении.

Третий вариант предполагал исключение воздействия селевых потоков на автодорогу путем устройства селепропускных сооружений закрытого типа под полотном дороги (рис. 4). Сооружения представляют собой заглубленные бетонные или свайные сооружения коробчатого типа с сечением, достаточным для пропуска расчетного селевого потока, одновременно с этим выполняя функцию водопропускных сооружений.



Рис. 4. Селепропускное сооружение закрытого типа, выполненное в горном кластере Сочи

Разработка концепции противоселевых мероприятий претерпела несколько итераций. Одним из наиболее существенных факторов, повлиявших на выбор технического решения, стало расположение селеопасных бассейнов и логов на территории земель лесного фонда. Размещение объектов за пределами границы полосы отвода автодороги потребовало бы сложных длительных мероприятий по установлению публичного сервитута. В связи с этим было принято решение расположить противоселевое сооружение в непосредственной близости от защищаемого объекта, а именно вдоль автодороги на всем протяжении селеопасного участка.

Рассмотрены два варианта конструкции. Первый – гибкий селеудерживающий барьер, размещенный на железобетонном основании. Второй – дамба в виде монолитной подпорной стены на свайном основании, совмещенной с амортизирующим грунтовым отпором (рис. 5).

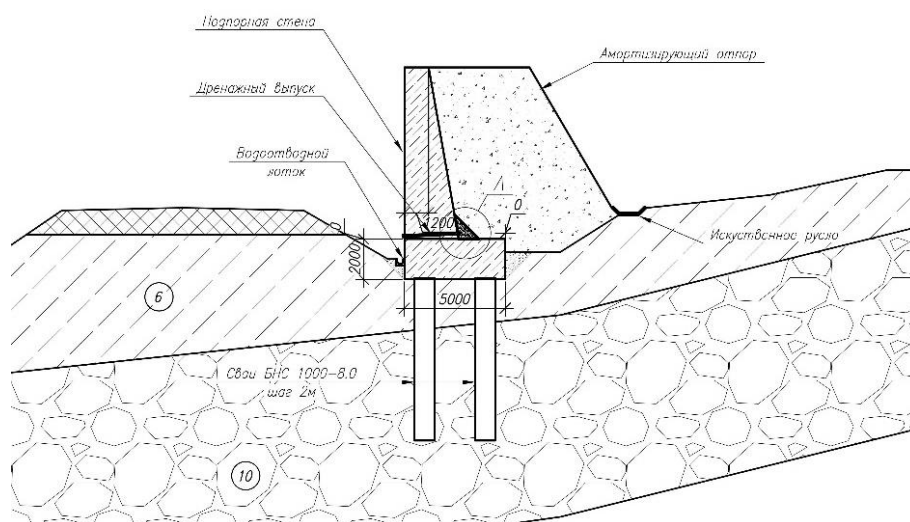


Рис. 5. Дамба в виде подпорной стены на свайном основании с грунтовым отпором. Разрез

На этапе предпроекта был выполнен расчет оценки эффективности применения этих конструкций. Капитальные и эксплуатационные затраты, которые рассчитывались исходя из срока службы сооружений не менее 50 лет, по второму варианту оказались выше на 70%. При этом ширина основания дамбы превышала 20 м, что не позволяло



разместить сооружение в границах полосы отвода автодороги (рис. 6). Следовательно, при реализации второго варианта требовалось выполнение длительных мероприятий по выделению дополнительных сервитутов. По сумме преимуществ был выбран первый вариант.

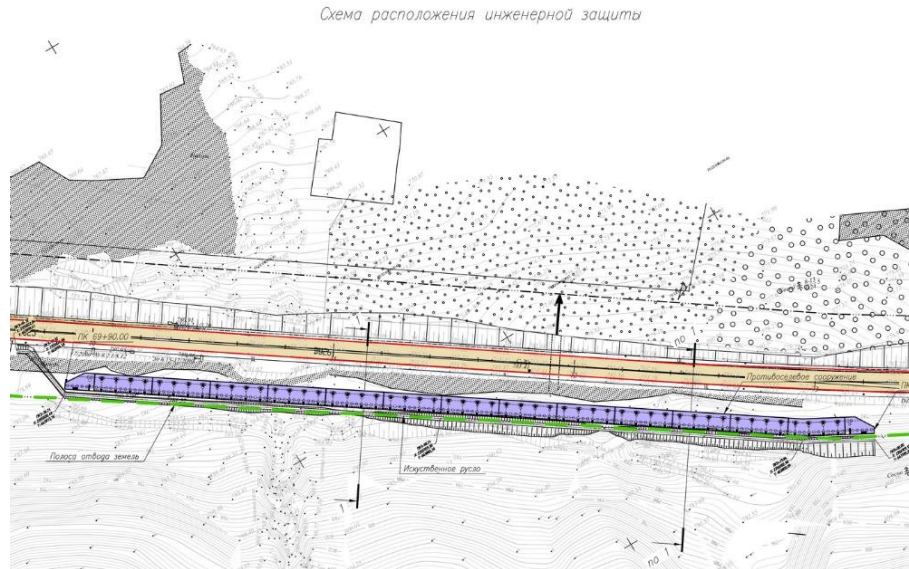


Рис. 6. План расположения сооружения инженерной защиты от селей в границах полосы отвода автодороги

Конструктивные решения

Расчеты показали, что с учетом всех особенностей, среди которых высокие нагрузки, специфика рельефа и необходимость размещения сооружения в узкой полосе отвода дороги, классическое исполнение противоселевого барьера (с системой оттяжек) окажется неэффективным.

Для исключения воздействия селевых явлений на дорогу запроектирована ограждающая селеулавливающая (противооползневая) конструкция, включающая компактно размещенные элементы большой жесткости (рис. 7). Гибкий стальной барьер спроектирован и произведен индивидуально для этого объекта компанией «Геобарьер».

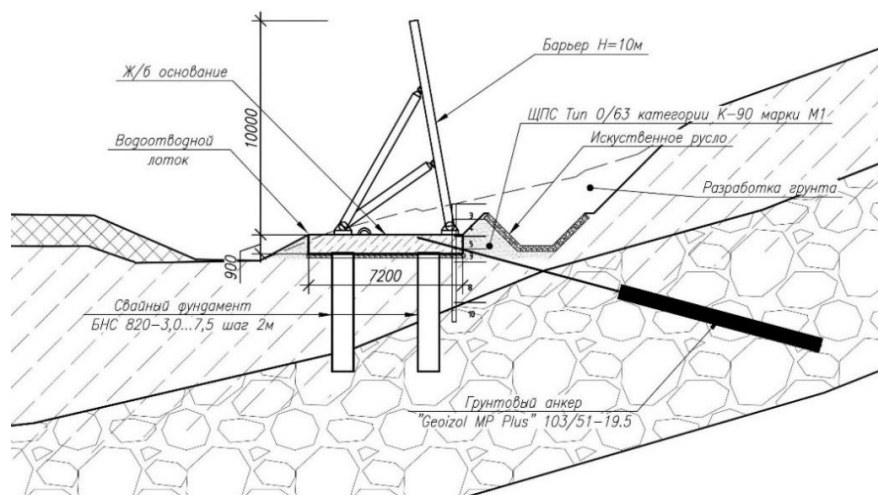


Рис. 7. Гибкий селеулавливающий барьер с лямбда-образными стойками на свайном основании. Разрез



Проектом предусмотрено устройство сетчатого селеудерживающего барьера ГБ-3500.00.000. Для предотвращения опрокидывания при воздействии значительного объема селевых масс с учетом потенциально возможной скорости потока барьер установлен на массивное железобетонное основание на свайном фундаменте. Расчетное давление селевого потока в нижней точке барьера составило 146,3 кПа. Для обеспечения устойчивости сооружения, с учетом динамической и статической нагрузок, приняты буронабивные сваи диаметром 820 мм, длиной 3,0–7,5 м, заглубленные в материковый гранит, устраиваемые с шагом 2,0 м. Общая протяженность сооружения составила 282 м.

Для восприятия значительных горизонтальных нагрузок, возникающих при ударе селевой волны, конструкция усилена грунтовыми буроинъекционными анкерами GEOIZOL-MP 103/78 длиной 19,5 м.

В ходе проведенных расчетов определено, что высота отложения селевых масс выше уровня фундамента составит 9 м (рис. 8), в этой связи требуемая эффективная высота барьера принята 10 м.

Стойки барьера в профиль повторяют очертания греческой буквы лямбда (λ). Стойка состоит из главной мачты, отклоненной от вертикали на 10° по направлению движения потенциального селя (в сторону дороги), и двух подпорок. Стойки шарнирно, с помощью фундаментных болтов закрепляются к закладным деталям, выполненным в железобетонном основании. Поперечную устойчивость стойки обеспечивают канатные оттяжки, которые крепят к середине вертикальной мачты. Сверху и снизу лямбда-стойки объединены несущими канатными поясами прочностью на разрыв 316 кН. Несущие канаты крепят к петлям закладных элементов через энергопоглотители.

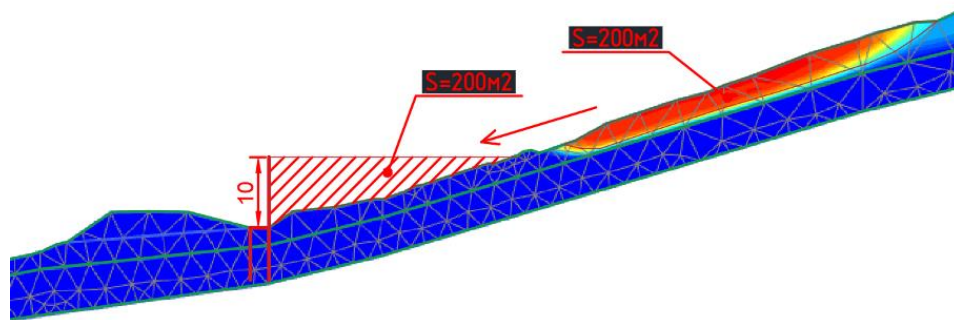


Рис. 8. Определение эффективной высоты барьера

Лямбда-стойки установлены с шагом в 6 м. Каждая пара образует секцию (всего их 47), которая перекрывается полотном кольчужной сети. Кольца, из которых состоит сеть, плетутся из высокоуглеродистой проволоки и представляют собой высокопрочный стальной канат толщиной 20 мм без начала и конца. Каждое кольцо диаметром 420 мм вплетается в шесть соседних, образуя полотно сети, прочность которой на разрыв составляет свыше 1500 кН/пог. м. Сеть при помощи такелажных скоб сверху и снизу крепится к несущим канатам. Края сеток соединены между собой, образуя сплошное непрерывное полотно. Согласно расчетам, барьер в нижней точке выдерживает давление потока свыше 140 кПа.

Выводы

Концепция применения гибких селеудерживающих барьеров предусматривает выполнение инженерной защиты от селевых процессов на труднодоступных территориях и в стесненных условиях строительства. При этом возможно использование различных вариантов конструктивных решений, которые разрабатываются в зависимости от специфики конкретного проекта.



В рамках проектирования мероприятий противоселевой защиты участка трассы «Амур» (рис. 9) инженеры компании «ГЕОИЗОЛ Проект» в общей сложности проработали около десятка различных вариантов защитных сооружений.



Рис. 9. Строительство селеудерживающего барьера на автодороге «Амур»

Индивидуальный подход, учитывающий все сложности и ограничения, позволил предложить оптимальное решение инженерной задачи. Реализованный вариант с устройством селеудерживающей конструкции, созданной по индивидуальному проекту, позволил обеспечить безопасную эксплуатацию объекта с наименьшими затратами времени и финансовых средств. В том числе за счет компактного размещения сооружения в границах полосы отвода автомобильной дороги без необходимости выделения дополнительных земельных участков.

Список литературы

- Bichler A., Yonin D., Stelzer G. Flexible debris flow mitigation: introducing the 5.5 Mile debris fence // *Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding: Proceedings of the 11-th Annual Symposium on Landslides and Engineered Slopes, Banff, Canada, 3–8 June 2012* (edited by Eberhardt et al.). London: Taylor and Francis Group, 2012. P. 1209–1214.
- Bogdanov I.S. Comprehensive engineering protection of the territory on the example of the Sochi Mountain cluster / Zhussupbekov, A., Sarsembayeva, A., & Kaliakin, V.N. (Eds.). (2023). *Smart Geotechnics for Smart Societies: Proceedings of the 17th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (17th ARC, Astana, Kazakhstan, 14–18 August, 2023)* (1st ed.). CRC Press. P. 2330–2333 URL: <https://doi.org/10.1201/9781003299127>.
- Gleirscher E., Stelzer G., Illmer D., Bichler A. Snowcatcher – full-scale test site in the Stubai Valley // *Proceedings of the International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches and Other Rapid Gravity Mass Flows, Siglufjörður, Iceland, April 3–5, 2019*. vedur.is/gogn/snjoflod/varnarvirki/snow2019abstracts/Snow2019_Gleirscher_Illmer_Stelzer_Bichler_eabstract.pdf.
- Salimova Barno Jamalovna Features of engineering surveys in the design of protection from mudslides of highways // *International scientific review*. 2023. №LXXXVIII. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/features-of-engineering-surveys-in-the-design-of-protection-from-mudslides-of-highways> (дата обращения: 06.03.2024).



- Wendeler C., Volkwein A. Hazard prevention using flexible multi-level debris flow barriers. Protection against debris flows by installation of 13 flexible barriers in the Milibach River (Canton Berne, Switzerland) // INTERPRAEVENT 2008 – Conference Proceedings, Vol. 1. 2008.
- Маций С.И., Сухляева Л.А. Полуколичественная оценка селевого риска на автомобильных дорогах // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2019. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/polukolichestvennaya-otsenka-selevogo-riska-na-avtomobilnyh-dorogah> (дата обращения: 20.03.2024).
- Салимова Б.Д. Инженерная защита автомобильных дорог в горных районах // Экономика и социум. 2023. № 3–1 (106). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/inzhenernaya-zaschita-avtomobilnyh-dorog-v-gornyh-rajonah> (дата обращения: 06.03.2024).
- СП 115.13330.2016 Свод правил. Геофизика опасных природных воздействий: Актуализированная редакция СНиП 22-01-95 утвержден Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 16.12.2016 N 956/пр: введен 17.06 2017. – М.: Стандартинформ, 2018.
- ТУ-1275-001-75212412-04 Технические условия. Сетка стальная с кольцевыми ячейками. Изменение № 1 утвержден ФГУП Стандартинформ: введен 10.12.2015. – Москва. 2015. ООО «ГЕО-БАРЬЕР». 2004. URL: https://www.geobarrier.ru/_files/ugd/c4dfcd_dbc682a8d3f44af392bfa45f923b9a20.pdf (дата обращения: 06.03.2024).