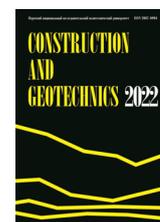




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 14, № 3, 2023

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2023.3.01

УДК 624.151.2: 628.2 (470.624)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОГО НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЛЕЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СЕЛЕВЫХ БАССЕЙНОВ Р. МЗЫМТЫ

М.А. Бандурин, В.А. Волосухин, И.А. Приходько, А.А. Руденко

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 02 февраля 2023

Одобрена: 20 июня 2023

Принята к публикации:

24 июля 2023

Ключевые слова:

селевые потоки, риск, моделирование, мониторинг, климатические изменения, природные и техногенные катастрофы.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрено выявление потенциальных очагов формирования водно-селевых потоков в районе Олимпийских объектов южного склона хребта Псехако и водосборов рек 1-го, 2-го и 3-го Галионов (водосбора р. Мзымты), сбор и изучение природно-климатических и морфологических характеристик селевых бассейнов и исследование возможности их негативного воздействия на эксплуатируемые Олимпийские объекты, создание базы данных селевых бассейнов. Внедрение полученных результатов исследований природно-климатических и морфологических характеристик селевого бассейна р. Мзымты предполагается при обосновании противоселевых мероприятий по защите инфраструктуры эксплуатируемых Олимпийских объектов от негативного воздействия водно-селевых потоков. Для обеспечения надежности функционирования указанных фундаментов и оснований сооружений важное значение имеет учет возможности негативного воздействия на них водно-селевых потоков, формирующихся в условиях горной местности и природно-климатических особенностей данного региона, а также в связи с крайне недостаточной изученностью на данных территориях современного состояния развития селевых процессов и возможности их активизации в результате воздействия на природные ландшафты селевых бассейнов при эксплуатации фундаментов и оснований олимпийских объектов и их инфраструктуры (подъездных и технологических дорог, линий электропередач, трасс горнолыжных спусков, канатно-кресельных дорог, различных площадок и т.д.). Учитывая влияние последствий крупномасштабного техногенного воздействия на природный ландшафт, на территории эксплуатации Олимпийских объектов по южному склону хребта Псехако, материалами проведенного обследования подтверждаются выводы о повышенной селевой опасности русел водотоков ручьев Рудничный, Сумасшедший, Камбуровский. Основной причиной схода указанных селевых потоков является техногенное воздействие на вышерасположенные природные ландшафты, в том числе сброс разжиженных грунтовых отвалов с крутых склонов, концентрация поверхностного стока в сосредоточенные размываемые врезы и т.д. Выполнено имитационное моделирование устойчивости откосов р. Тобиас, самых опасных сочетаний в условиях статических и сейсмических воздействий, для прогнозирования образования селевых потоков.

© ПНИПУ

© **Бандурин Михаил Александрович** – доктор технических наук, декан факультета гидромелиорации, e-mail: chepura@mail.ru.

Волосухин Виктор Алексеевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: director@ibgts.ru.

Приходько Игорь Александрович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: prihodkoigor2012@yandex.ru.

Руденко Артем Анатольевич – аспирант, e-mail: 4away704@gmail.com.

Mikhail A. Bandurin – Doctor of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Hydroreclamation, e-mail: chepura@mail.ru.

Viktor A. Volosukhin – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: director@ibgts.ru.

Igor A. Prikhodko – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: prihodkoigor2012@yandex.ru.

Artem A. Rudenko – Postgraduate Student, e-mail: 4away704@gmail.com.

MODELING OF THE POSSIBLE NEGATIVE IMPACT OF MUDFLOWS IN THE MONITORING OF MUDFLOW BASINS OF THE RIVER MZYMTA

M.A. Bandurin, V.A. Volosukhin, I.A. Prikhodko, A.A. Rudenko

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 02 February 2023

Approved: 20 June 2023

Accepted for publication:
24 July 2023

Keywords:

mudflows, risk, modeling,
monitoring, climate change, natural
and man-made disasters.

ABSTRACT

The article considers the identification of potential sources of formation of water and mudflows in the area of the Olympic objects of the southern slope of the Psekhako ridge and the catchment areas of the 1st, 2nd and 3rd Galion rivers (the catchment area of the Mzymta river). The collection and study of natural, climatic and morphological characteristics mudflow basins and the study of the possibility of their negative impact on the operated Olympic facilities, the creation of a database of mudflow basins. Implementation of the results of studies of the natural-climatic and morphological characteristics of the mudflow basin of the river. Mzymta is assumed in the justification of anti-mudflow measures to protect the infrastructure of operated Olympic facilities from the negative impact of water and mudflows. To ensure the reliability of the functioning of these foundations and foundations of structures. It is important to take into account the possibility of a negative impact on them of water and mudflows that form in the conditions of mountainous terrain and natural and climatic features of this region, as well as due to the extremely insufficient knowledge of the current state of development in these territories. mudflow processes and the possibility of their activation as a result of the impact on the natural landscapes of mudflow basins during the operation of the foundations and foundations of Olympic facilities and their infrastructure (access and technological roads, power lines, ski slopes, chairlifts, various sites, etc.). Taking into account the impact of the consequences of a large-scale technogenic impact on the natural landscape, in the territory of operation of the Olympic facilities along the southern slope of the Psekhako ridge, the materials of the survey confirm the conclusions about the increased mudflow hazard of the watercourses of the river. Rudnichny, r. Sumasshedshiy, r. Kamburovsky. The main reason for the descent of these mudflows is the technogenic impact on the upstream natural landscapes, including the discharge of liquefied soil dumps from steep slopes, the concentration of surface runoff into concentrated eroded, cuts, etc. Simulation modeling of the stability of the river slopes was performed. Tobias, the most dangerous combinations of impacts under static and seismic conditions, to predict the formation of mudflows.

© PNRPU

Введение

Долина р. Мзымты расположена на южном склоне Западного Кавказа на территории Адлерского района города Большой Сочи Краснодарского края. Горный рельеф Западного Кавказа, в пределах которого находится исследуемый район бассейна р. Мзымты, имеет в своей высокогорной части скалистый и скалисто-обрывистый рельеф с элементами фирновых полей вечных снегов, в низкогорье – с оползневыми участками, обрывами, оврагами промоинами.

Долина р. Мзымты на севере ограничена отрезком Главного хребта между вершинами Чугуш (3238,2 м) и Ачишха (2856,8 м), а на юге – Южным Боковым хребтом, который представлен здесь рядом отдельных хребтов: Ачишхо (Ачишхо, 2390,7 м), хребет Аибга-Агепста (Агепста, 3256 м) и отрогом Южного Бокового хребта – Гагрским хребтом (Ах-Аг, 2732 м). Все хребты в основном имеют широтное и близкое к нему юго-западное направление [1].

Большая часть долины – межгорная котловина, представляющая собой Краснополянский грабен, ограниченный Псебским и Южноажуйским сбросами. Грабен приурочен к Мзымтинской шовно-депресссионной зоне. Мзымтинская шовно-депресссионная зона принципиально аналогична Архызо-Загеданской, но значительно крупнее. Таким образом,

часть Главного хребта, обрамляющая Краснополянскую котловину, представляет собой ряд хребтов, разделенных глубоко врезанными притоками р. Мзымты [2].

Южный Боковой хребет состоит из отдельных горных массивов. Хребет Ачишхо имеет в плане вид подковы, обращенной на север, которая поднимается высокой стеной над Краснополянской котловиной. Наибольшая высота 2390 м – вершина Ачишхо. Краснополянская котловина из описанных котловин наиболее широкая – более 10 км – и имеет низко расположенное дно со средней высотой 750 м.

Данный регион характеризуется сложностью и разнообразием геологического строения. В связи с этим было выделено восемь категорий статиграфогенетических комплексов, сложенных породами: высокопрочными скальными, скальными и полускальными, полускальными, скальными с пластичными, полускальные с пластичными, пластичными со скальными и полускальными, связными нелитифицированными (четвертичными), несвязными. Большая часть долины р. Мзымты – межгорная котловина, представляющая собой Краснополянский грабен, ограниченный Псебским и Южноажуйским сбросами. Грабен приурочен к Мзымтинской шовно-депресссионной зоне, которая аналогична Архызо-Загеданской депрессии, но значительно крупнее [3, 4].

Исследуемые реки Кепша, Медовеевка, Сулимовский ручей, Пслух, Бзерпия и Бешенка целиком входят в состав бассейна р. Мзымты в качестве притоков 1–3-го порядка, поэтому их гидрологическую характеристику будем рассматривать вместе с ней [5].

Основная часть

Район работ проведения натурных исследований по географическому положению находится на территории южного склона хребта Псехако, где были обследованы следующие водно-селевые бассейны ручьев Сумасшедший, Камбуровский, Рудничный.

На участке от пос. Красная Поляна до границы Ачишхинского массива долина р. Мзымты расположена в пределах высокогорного рельефа с абсолютными отметками водоразделов, превышающих 2000 м (хребет Аибгинский с отметками вершин 2500–3250 м). Этот участок долины имеет трапециевидное поперечное сечение: ширина его между водоразделами 5–6 км, а днища – до 250–300 м. Склоны долины плоские или слабовогнутые, имеют крутизну от 25–30 до 40–50 м, расчленены многочисленными боковыми эрозионными долинами [6].

Хребет Чугуш простирается с северо-запада на юго-восток и имеет в плане вид дуги. Венчает его вершина с одноименным названием, на которой расположено несколько ледников. Далее на восток следует хребет Ассара (с вершиной Ассара, 2831,8 м), который образует с хребтом Чугуш в плане подкову.

Хребет Дзитаку (Дзитаку, 2818 м) образует горный узел, от которого на север отходит ответвление – хребет Уруштен. За ним следует массив Псеашха, который имеет ряд отрогов. На юго-запад выдается отрог Главного хребта – хребет Аишха (с вершиной Аишха, 2856,8 м).

Учитывая влияние последствий крупномасштабного техногенного воздействия на природный ландшафт (вырубку лесов и подрезку склонов под канатные дороги и автодороги, сброс грунтовых отвалов в водотоки и др.), на территории эксплуатации Олимпийских объектов по южному склону хребта Псехако, материалами проведенного обследования подтверждаются выводы о повышенной селевой опасности русел водотоков ручьев Рудничный,

Сумасшедший, Камбуровский. Селевые процессы в указанных руслах представляют непосредственную угрозу для Олимпийских объектов и их инфраструктуры, в том числе автодорог и насосной станции искусственного оснежения по р. Рудничный.

Основной причиной схода указанных селевых потоков является техногенное воздействие на вышерасположенные природные ландшафты (дороги и др.), в том числе сброс разжиженных грунтовых отвалов с крутых склонов, концентрация поверхностного стока в сосредоточенные размываемые врезы и т.д.

Главный водораздел сложен в основном кристаллическими породами, окаймленными юрскими сланцами. Периферийные и передние хребты на южном склоне горной системы Главного кавказского хребта образованы верхнеюрскими меловыми и третичными породами с сильным развитием карста. Основные черты рельефа данного района в высокогорной части – скалистый и скалисто-обрывистый с элементами фирновых полей вечных снегов, в низкороме с оползневыми участками, обрывами, оврагами, промоинами.

В известняках, слагающих вышеуказанные хребты, развит карстовый рельеф: различные воронки, сталактитовые пещеры, подземные реки и т.п. [7]. Диабазовая цепь параллельных хребтов Ачишхо и Аибга отделена от Главного водораздела продольными долинами. Эти долины являются результатом понятной эрозии боковых притоков поперечных долин вдоль зон тектонических нарушений и речных перехватов. Ближе к морю идет прибрежная полоса предгорной ступенчатой лестницы – ряд террасообразных участков, расположенных на древних уровнях денудации, отвечающих положениям уровня моря в различные моменты геологической истории 2008 г. [8, 9].

Полученные натурные материалы позволяют сделать вывод о дальнейшем развитии селевых процессов на данном участке в виде периодического схода отдельных селевых потоков относительно небольшой мощности (до нескольких сот кубометров) на Новое Краснополянское шоссе (А-149) вдоль р. Мзымты. Вместе с тем следует отметить, что здесь имеется также селевое русло с «подвешенным» потенциальным селевым массивом до 2 тыс. м³, готовым обрушиться на автодорогу при продолжительных или ливневых дождях. Это представляет опасность и для землеройной техники, припаркованной на конусе выноса данного селевого русла.

Селевое русло по р. Рудничный было квалифицировано как опасное, в котором в случае интенсивных ливневых дождей неизбежно возникнет селевой поток, реально угрожающий завалом участка, укрепленного габионами, с последующим выходом селевых масс на насосную станцию и завалом нижерасположенного железобетонного моста. Такое уже происходило 21.07.2011, селевой поток разрушил уже построенную насосную станцию, с завалом габионного участка русла и железобетонного моста. Селевые отложения были вынесены и в водопропускной водоток у газовой электростанции [10].

Селевое русло р. Сумасшедший (0,88 км от устья р. Пслух) является правобережным притоком р. Мзымты. По руслу реки периодически сходят селевые потоки значительной мощности с выносом больших объемов селевых масс прямо в р. Мзымту, что неоднократно приводило к частичному перекрытию русла реки с оттеснением ее к левому берегу, изменению наносного режима и русловых процессов в пойме реки, занесению водохранилища Краснополянской ГЭС. В целом русло ручья, насыщенное потенциально селевыми материалами и имеющее значительные уклоны (0,2–0,3 и более), представляет большую селевую опасность, реализация которой напрямую зависит только лишь от интенсивности и продолжительности ливневых осадков [11].

Селевое русло р. Тобиас относится к весьма опасным селевым руслам на горном кластере «Красная Поляна». На момент выполнения обследования (12.08.2022) вода в реке прозрачная, расход водного потока (на уровне 900 м) составляет 170–175 л/с. Здесь на верхней части левого берегового склона расположены грунтовые отвалы – потенциальные источники грязевых селевых масс, состояние хорошее, дренажирующая подушка – банкет из карчей и стволов деревьев, весьма устойчива против оползней и оплывин (рис. 1).

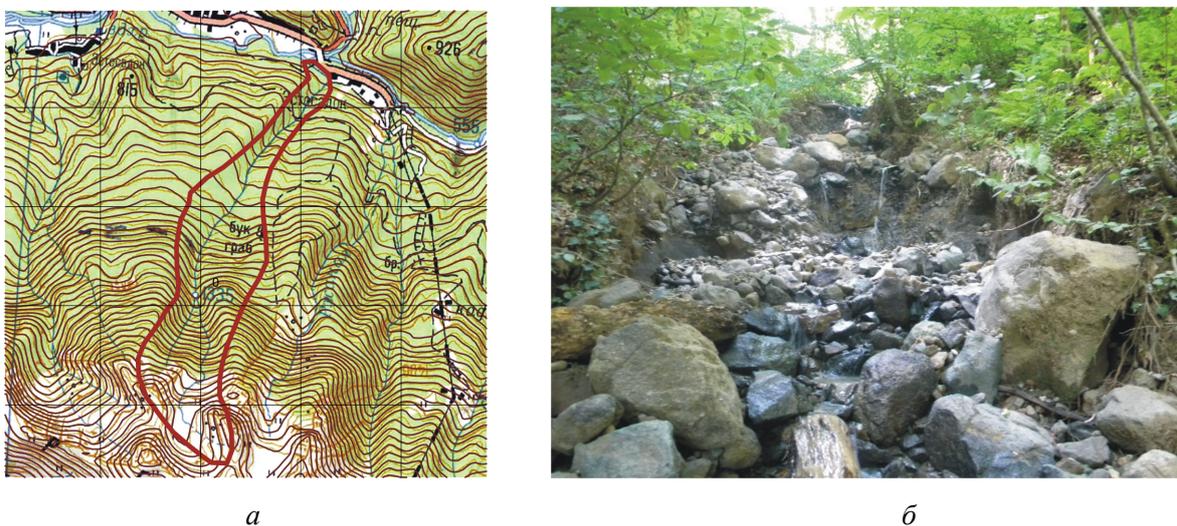


Рис. 1. Натурные исследование по р. Тобиас: *а* – район проведения исследований; *б* – крупнообломочные селевые выносы русла ручья
Fig. 1. Field research along the river. Tobias: *a* – research area; *б* – coarse clastic mudflows of the stream channel

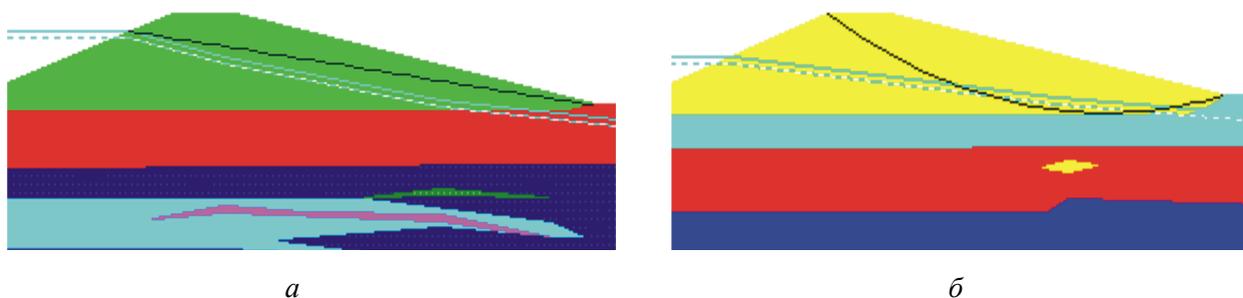


Рис. 2. Имитационное моделирование устойчивости откосов р. Тобиас: *а* – метод Можевитинова; *б* – по соотношению моментов сил
Fig. 2. Simulation modeling of the stability of the slopes of the river. Tobias: *a* – Mozhevitinov method; *б* – according to the ratio of the moments of forces

Русло р. Тобиас, имеющее уклоны $> 15^\circ$ ($> 0,27$), завалено большими объемами гравийно-галечникового и каменного материала, валунами с размерами до 1,0–1,2 м и более, карчами и стволами поваленных деревьев. Изложенные факторы подтверждают выводы [8, 9, 12] о весьма значительной селеопасности р. Тобиас и неизбежности возникновения здесь в случае обильных ливневых дождей мощного селевого грязе-водо-каменного потока, представляющего серьезную угрозу нижерасположенным Олимпийским объектам. Сход селей сопровождается оползневыми процессами с захватом деревьев и выносами валунов и каменных глыб размерами до 1,5–2,0 м и более.

В дальнейшем было проведено имитационное моделирование устойчивости откосов р. Тобиас, самых опасных сочетаний в условиях статических и сейсмических воздействий, для прогнозирования образования селевых потоков (рис. 2).

По результатам проведенного имитационного моделирования устойчивости установлено, что коэффициент устойчивости откосов р. Тобиас во всех расчетных створах выше допускаемого [13].

Сейсмические нагрузки снижают значение коэффициента устойчивости, %, в расчетных створах: I–I на 54,3; II–II на 64,3; III–III на 75,6; IV–IV на 71,2; V–V на 49,9; VI–VI на 65,2; VII–VII на 78,4; VIII–VIII на 63,2.

Результаты имитационного моделирования показывают, что в условиях возможного негативного воздействия селей при мониторинге селевых бассейнов р. Мзымты недопустимы заторные явления, наиболее опасны для двух расчетных створов VI–VI и VII–VII.

Результаты имитационного моделирования свидетельствуют, что в достаточно большом количестве расчетных створов в период прохождения паводка их устойчивость не обеспечена. На основании экспериментальных исследований в натуральных условиях установлены эмпирические зависимости профилеформирующих параметров устойчивости откосов р. Тобиас, отвечающие условиям устойчивой работы на сдвиг и опрокидывание от внешних воздействий.

Заключение

Проведены натурные исследования селевых бассейнов в районе Олимпийских объектов. На трех селевых руслах подтверждены предупреждения Росгидромета (ВГИ) [14–17] о неизбежности воздействия селевых потоков на Олимпийские объекты и их инфраструктуру, в том числе на автодороги по руслам р. Тобиас и ручья Юрмух, на насосную станцию искусственного оснежения по ручью Рудничный.

Наиболее селеопасными водотоками на обследованных территориях на сегодняшний день являются: р. Тобиас, р. Рудничный, р. Сумасшедший, р. Юрмух, р. Камбуровский.

При этом основными причинами активизации селевых процессов является вырубка лесов и подрезка склонов под канатные дороги и автодороги, сброс грунтовых отвалов в водотоки, концентрация поверхностного стока и др. [18–20].

Выявлено также, что на водосборах рек 1-го, 2-го и 3-го Галионов существуют боковые селевые притоки незначительной мощности. В то же время сами русла указанных рек, вопреки существующим мнениям, не представляют на данный момент какой-либо значительной селевой (не паводковой) опасности для эксплуатации совмещенной дороги. Данное положение может нарушиться в случае крупномасштабных техногенных воздействий на естественные природные ландшафты их водосборных площадей [21, 22].

В настоящее время продолжается интенсивное освоение новых территорий северного склона хребта Аибга, в том числе хребта Юрьев, под строительство новых объектов и их инфраструктуры, что неизбежно приведет к активизации селевых процессов на этих территориях.

На основании выполненных натурных исследований предложены рекомендации по снижению селеопасности водотоков. Недопустимость сброса выработанных грунтов скальных пород со строительных площадок на вершине хребта Аибга в водосборный бассейн р. Тобиас. Недопустимость устройства новых отвалов глинистых грунтов (с дорог, горнолыжных трасс и др.) на береговых склонах селевых водотоков [23].

В отдельных случаях возможно складирование отвалов глинистых грунтов в неглубоких балках с устройством специальных противоэрозионных дренирующих оснований.

Мероприятия по стабилизации существующих отвалов глинистых грунтов на береговых склонах селевых водотоков (недопустимость дальнейшего наращивания объемов отвалов; перехват и организованный безопасный отвод поверхностных и грунтовых вод, воздействующих на отвалы и их основания; устройство дренируемых подпорных стен, защитных сооружений и т.д.) [24, 25].

Мероприятия по организации перехвата и безопасного отвода поверхностного стока от мест его сосредоточения (полотна профильных и грунтовых дорог, строительных площадок, горнолыжных трасс и др.) в тальвеги русел водотоков.

Очистка селевых русел от древесных материалов (стволов деревьев, пней, карчей и т.д.) за исключением крупных стволов поваленных деревьев диаметрами более 0,6–0,8 м и длиной 8–10 м и более.

Создание на транзитном участке селевого русла сквозных заторно-каскадных противоселевых сооружений из жестких объемно-каркасных элементов в виде свободно уложенных в русло (незакрепленных) металлических решетчатых конструкций. Селепропускное сооружение на конусе выноса р. Тобиас по безопасному выводу селевых и наносоводных потоков под железной и автодорогами в р. Мзымты.

Мероприятия по защите оголенных (в результате оползней, эрозионных смылов, нарушения поверхностного почвенного слоя и др.) береговых склонов селевых водотоков от дальнейшего негативного развития поверхностных экзогенно-эрозионных процессов – укрепление специальными сетками, залужение, залесение и т.д.

Противоселевое сооружение на конусе выноса Сулимовского ручья по защите территории электрической подстанции «Роза Хутор» от селевого потока.

Устройство гладкого односкатного, значительно расширенного и углубленного селепропускного сооружения (вместо существующего) на конусе выноса Сулимовского ручья под автомобильной дорогой вдоль р. Мзымты. Периодическая расчистка селевых выносов перед решетчатой оградой.

Устройство большепролетного высотного (вместо существующего) путепровода линии электрокабеля над селевым руслом р. Фермерки. Выполнение односкатного прямолинейного расширенного селепропускного сооружения в гладкой облицовке (вместо существующего).

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда (грант № 22-17-20001).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Селевая опасность на Красной Поляне (строительство Олимпийских объектов) / К.Н. Анахаев, К.А. Гегиев, О.Л. Антоненко [и др.] // Приволжский научный журнал. – 2011. – № 3 (19). – С. 164–167.

2. Wendeler C., Barinov A., Luis R. Mechanized installation of high-tensile chain-link mesh for underground support // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: set of 2 volumes,

Saint Petersburg. 22–26.05.2018. – Saint Petersburg: Taylor & Francis Group, London, UK, 2018. – P. 1333–1341.

3. Погорелов А.В., Киселев Е.Н. Снежный покров в бассейнах рек Пшехи и Белой: многолетние изменения и закономерности распределения // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. – Краснодар: Краснодарское региональное отделение Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество», 2021. – С. 278–284.

4. Wu Y., Lan H. Debris Flow Analyst (DA): A debris flow model considering kinematic uncertainties and using a GIS platform // Engineering Geology. – 2020. – Vol. 279. – P. 105877. DOI: 10.1016/j.enggeo.2020.105877

5. Finite-element simulation of possible natural disasters on landfall dams with changes in climate and seismic conditions taken into account / M.A. Bandurin, V.A. Volosukhin, A.V. Mikheev [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk. 17–20.01.2018. – Tomsk, 2018. – P. 032011. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032011

6. Tang J.B., Hu K.H. A debris-flow impact pressure model combining material characteristics and flow dynamic parameters // Journal of Mountain Science. – 2018. – Vol. 15, no. 12. – P. 2721–2729. DOI: 10.1007/s11629-018-5114-z

7. Formation conditions of rainfall-generated mudflows in mountain regions / K.N. Anakhaev, U.I. Makitov, K.A. Anakhaev, A.K. Dyshekov // Russian Meteorology and Hydrology. – 2016. – Vol. 41, no. 6. – P. 418–424. DOI: 10.3103/S1068373916060066

8. Updated Characteristics of Torrential Pools / K.N. Anakhaev, V.V. Belikov, B.K. Amshokov, K.K. Anakhaev // Power Technology and Engineering. – 2021. – Vol. 55, no. 3. – P. 344–347. DOI: 10.1007/s10749-021-01363-7

9. Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений низконапорных водохранилищ и обводнительно-оросительных систем / В.А. Волосухин, М.А. Бандурин, Я.В. Волосухин [и др.]; под общ. ред. В.А. Волосухина. – Новочеркасск: Лик, 2010. – 338 с.

10. Крестин Б.М., Мальнева И.В. Активность оползневых и селевых процессов на территории Большого Сочи и ее изменения в начале XXI века // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2015. – № 1. – С. 58–66.

11. Современные тенденции развития экзогенных геологических процессов в районе Б. Сочи и Красной Поляны / Б.М. Крестин, И.В. Мальнева, В.И. Дьяконова [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 7. – С. 48–52.

12. Перминов Н.А. Моделирование и мониторинг конструкционной безопасности уникальных подземных сооружений системы водоотведения крупных городов в сложных грунтовых условиях // Construction and Geotechnics. – 2021. – Т. 12, № 1. – С. 30–45. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.1.03

13. Yurchenko I.F. Information support system designed for technical operation planning of reclamative facilities // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2018. – Т. 96, № 5. – P. 1253–1265.

14. Богомолова О.А., Богомолов А.Н., Богомолов С.А. Способ определения прочностных свойств закрепленного грунта основания шахты // Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13, № 3. – С. 40–49. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.04

15. Юрченко И.Ф. Безопасность автоматизированных технологий регулирования мелиоративного режима агроэкосистемы // Инженерные технологии и системы. – 2022. – Т. 32, № 1. – С. 28–40.

16. Кононова Н.К., Мальнева И.В. Циркуляция атмосферы северного полушария и наводнения, сели, оползни на черноморском побережье кавказа и прилегающих горных территориях // Устойчивое развитие горных территорий. – 2012. – Т. 4, № 1–2. – С. 27–37.
17. Запорожченко Э.В. Северный Кавказ: глобальное потепление и гляциальные сели // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 2. – С. 12–16.
18. Михайлов В.О. Классификация численных математических моделей селевых и склоновых процессов // Инженерная геология. – 2011. – № 3. – С. 26–33.
19. Сафаров М.С., Фазылов А.Р. Применение современных технологий дистанционного зондирования для мониторинга селеопасных районов горных территорий // ГеоРиск. – 2020. – Т. 14, № 2. – С. 32–41. DOI: 10.25296/1997-8669-2020-14-2-32-41
20. Бандурин М.А., Волосухин В.А. Мониторинг сооружений водного хозяйства // Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы, Зерноград, 25–26 октября 2012 года / Правительство Ростовской области, Министерство сельского хозяйства и продовольствия; ФГБОУ ВПО АЧГАА. – Зерноград, 2012. – С. 98–101.
21. Finite element simulation of cracks formation in parabolic flume above fixed service live / М.А. Bandurin, V.A. Volosukhin, A.V. Mikheev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk, 04–06.12.2017. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022010. DOI: 10.1088/1757-899X/327/2/022010
22. Ашпиз Е.С., Савин А.Н., Явна В.А. Защита Железнодорожного пути линии Туапсе – Адлер от опасных склоновых процессов // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 7. – С. 52–57.
23. Мельников Ю.В. Образование селевых потоков в левом притоке Тешикташ реки Эшкакон // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4–1 (22). – С. 61–65.
24. Сафаров М.С., Фазылов А.Р., Фазылов В.А. Мониторинг и исследования водных объектов и опасных гидрологических явлений горных территорий с применением беспилотных летательных аппаратов // Вестник Международного Университета Кыргызстана. – 2021. – № 2 (43). – С. 348–355.
25. Фазылов А.Р., Фазылов В.А. Гидротехнические мероприятия и регулирование селей в условиях изменения климата // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2–1 (24). – С. 105–113.

References

1. Anakhayev K.N., Gegiyev K.A., Antonenko O.L. [et al. dr.] Selevaya opasnost' na Krasnoy Polyane (stroitel'stvo Olimpiyskikh ob"yektov) [Mudflow hazard at Krasnaya Polyana (construction of Olympic facilities)]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal*, 2011, no. 3 (19), pp. 164-167.
2. Wendeler C., Barinov A., Luis R. Mechanized installation of high-tensile chain-link mesh for underground support. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: set of 2 volumes, Saint Petersburg*, 22–26 May 2018. Saint Petersburg, Taylor & Francis Group, London, UK, 2018, pp. 1333-1341.
3. Pogorelov A.V., Kiselev Ye.N. Snezhnyy pokrov v basseynakh rek Pshekhi i Beloy: mnogoletniye izmeneniya i zakonomernosti raspredeleniya. *Vestnik Krasnodarskogo regional'nogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2021, pp. 278-284.

4. Wu Y., Lan H. Debris flow analyst (DA): A debris flow model considering kinematic uncertainties and using a GIS platform. *Engineering Geology*, 2020, vol. 279, pp. 105877. DOI 10.1016/j.enggeo.2020.105877.
5. Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Mikheev A.V. [et al.]. Finite-element simulation of possible natural disasters on landfall dams with changes in climate and seismic conditions taken into account. *Journal of Physics: Conference Series*, Tomsk, 17–20 January 2018, pp. 032011. DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032011.
6. Tang J.B., Hu K.H. A debris-flow impact pressure model combining material characteristics and flow dynamic parameters. *Journal of Mountain Science*, 2018, vol. 15, no 12, pp. 2721-2729. DOI 10.1007/s11629-018-5114-z.
7. Anakhaev K.N., Makitov U.I., Anakhaev K.A., Dyshekov A.K. Formation conditions of rainfall-generated mudflows in mountain regions. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2016, vol. 41, no 6, pp. 418-424. DOI 10.3103/S1068373916060066.
8. Anakhaev K.N., Belikov V.V., Amshokov B.K., Anakhaev K.K. updated characteristics of torrential pools. *Power Technology and Engineering*, 2021, vol. 55, no. 3, pp. 344-347. DOI 10.1007/s10749-021-01363-7.
9. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Volosukhin YA.V. [et al.]. Monitoring bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy nizkonapornykh vodokhranilishch i obvodnitel'no-orositel'nykh sistem [Safety monitoring of hydraulic structures of low-pressure reservoirs and irrigation and drainage systems]. Ed. V.A. Volosukhin. Novocheerkassk, OOO "Lik", 2010, 338 p.
10. Krestin B.M., Mal'neva I.V. Aktivnost' opolznevoego i selevogo protsessov na territorii Bol'shogo Sochi i yeye izmeneniya v nachale XXI veka [Landslide and mudflow activity in the territory of Greater Sochi and its changes in the early XXI century]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2015, no. 1, pp. 58-66.
11. Krestin B.M., Mal'neva I.V., D'yakonova V.I. [et al.]. Sovremennyye tendentsii razvitiya ekzogennykh geologicheskikh protsessov v rayo ne B. Sochi i Krasnoy Polyany [Current trends in the development of exogenous geological processes in the B. Sochi and Krasnaya Polyana area. Sochi and Krasnaya Polyana]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2010, no. 7, pp. 48-52.
12. Perminov N.A. Modelling and monitoring of structural safety of unique underground structures of the sewage system of large cities in difficult ground conditions. *Construction and Geotechnics*, 2021, voi. 12, iss. 1, pp. 30-45. DOI 10.15593/2224-9826/2021.1.03.
13. Yurchenko I.F. Information support system designed for technical operation planning of reclamative facilities. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2018, vol. 96, no. 5, pp. 1253-1265.
14. Bogomolova O.A., Bogomolov A.N., Bogomolov S.A. Method for determining the strength properties of the fixed soil of the mine base. *Construction and Geotechnics*, 2022, vol. 13, iss. 3. pp. 40-49. DOI 10.15593/2224-9826/2022.3.04.
15. Yurchenko I.F. Bezopasnost' avtomatizirovannykh tekhnologiy regulirovaniya meliorativnogo rezhima agroekosistemy. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy*, 2022, vol. 32, no. 1, pp. 28-40.
16. Kononova N.K., Mal'neva I.V. Tsirkulyatsiya atmosfery severnogo polushariya i navodneniya, seli, opolzni na chernomorskom poberezh'ye kavkaza i privileyushchikh gornykh territoriyakh. *Ustoychivoye razvitiye gornykh territoriy*, 2012, vol. 4, no. 1-2, pp. 27-37.
17. Zaporozhchenko E.. Severnyy Kavkaz: global'noye potepleniye i glyatsial'nyye seli. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo*, 2007, no 2, pp. 12-16.

18. Mikhaylov V.O. Klassifikatsiya chislennykh matematicheskikh modeley selevykh i sklonovykh protsessov. *Inzhenernaya geologiya*, 2011, no. 3, pp. 26-33.
19. Safarov M.S., Fazylov A.R. Primeneniye sovremennykh tekhnologiy distantsionnogo zondirovaniya dlya monitoringa seleopasnykh rayonov gornykh territoriy. *GeoRisk*, 2020, vol. 14, no. 2, pp. 32-41. DOI 10.25296/1997-8669-2020-14-2-32-41
20. Bandurin M.A., Volosukhin V.A. Monitoring sooruzheniy vodnogo khozyaystva. *Innovatsionnyye puti razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: zadachi i perspektivy*, Zernograd, 25–26 October 2012. Pravitel'stvo Rostovskoy oblasti, Ministerstvo sel'skogo khozyaystva i prodovol'stviya; FGBOU VPO ACHGAA, Zernograd, 2012, pp. 98-101.
21. Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Mikheev A.V. [et al.] Finite element simulation of cracks formation in parabolic flume above fixed service live. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Tomsk, 04–06 December 2017. Tomsk, Institute of Physics Publishing, 2018, p. 022010. DOI 10.1088/1757-899X/327/2/022010
22. Ashpiz Ye.S., Savin A.N., Yavna V.A. Zashchita Zheleznodorozhnogo puti linii Tuapse - Adler ot opasnykh sklonovykh protsessov. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2017, no. 7, pp. 52-57.
23. Mel'nikov YU.V. Obrazovaniye selevykh potokov v levom pritoke Teshiktash reki Eshkakon. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, no. 4-1 (22), pp. 61-65.
24. Safarov M.S., Fazylov A.R., Fazylov V.A. Monitoring i issledovaniya vodnykh ob'yektov i opasnykh gidrologicheskikh yavleniy gornykh territoriy s primeneniym bespilotnykh letatel'nykh apparatov. *Vestnik Mezhdunarodnogo Universiteta Kyrgyzstana*, 2021, no. 2 (43), pp. 348-355.
25. Fazylov A.R., Fazylov V.A. Gidrotekhnicheskiye meropriyatiya i regulirovaniye seley v usloviyakh izmeneniya klimata. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 2-1 (24), pp. 105-113.