

Научная статья

УДК 622.271.6; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-91-101

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ СЕЛЯМИ, ПУТЕМ СОЗДАНИЯ АККУМУЛЯЦИОННЫХ ЗОН И ДОБЫЧЕЙ ИЗ НИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Карпова Жанна Викторовна.

ООО НИПИ «Недра», г. Новочеркасск, Россия.

✉ **Яхеев Валерий Васильевич;**

Актерский Юрий Евгеньевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ **yakvaleri@yandex.ru**

Аннотация. Ежегодное селеобразование в поймах горных рек, где сосредоточены наиболее пригодные для хозяйственной деятельности земли, представляет особую опасность. Крупные селевые сбросы перекрывают основное русло реки и создают угрозу затопления значительных территорий, разрушения объектов жизнедеятельности и угрозу жизни людям.

Целью работы является научное обоснование технологии предотвращения чрезвычайных паводковых ситуаций вызванных последствиями селеобразования, связанных с перемещением вниз по течению горных рек твердых стоков, путем создания зон фильтрации и аккумуляции, в которых накапливаются запасы инертных строительных материалов. По завершении паводкового периода из этой зоны организуют добычу инертных материалов с последующим производством строительных материалов и подготовкой выработанного пространства зоны фильтрации и аккумуляции для следующего паводкового сезона.

Обоснована целесообразность отработки высокогорных отвалов Тырнаузского вольфрамолибденового комбината. Полезное использование техногенного минерального сырья позволят исключить чрезвычайные паводковые ситуации и загрязнение территорий, связанные с техногенным селеобразованием.

Предложенная технология позволяет не только исключить чрезвычайные ситуации, вызванные селями, но и сделать сели созидательным фактором, создающим возобновляемые месторождения инертных строительных материалов.

Ключевые слова: поймы нагорных рек, селеобразование, чрезвычайные ситуации, зона аккумуляции селя, содержание твердого стока, гравийно-валунная составляющая, зона фильтрации твердого стока

Для цитирования: Карпова Ж.В., Яхеев В.В., Актерский Ю.Е. Предотвращение чрезвычайных ситуаций, вызываемых селями, путем создания аккумуляционных зон и добычей из них строительных материалов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 91–101. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-91-101

Scientific article

JUSTIFICATION OF SAFE TECHNOLOGY FOR THE EXPLOITATION OF MOUNTAIN RIVER RESOURCES**Karpova Zhanna V.****LLC NIPI «Nedra», Novocherkassk, Russia.**✉ **Yakheev Valery V.;****Aktersky Yuri E.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**✉ **yakvaleri@yandex.ru**

Abstract. Annual mudflow in the floodplains of mountain rivers, where the most suitable land for economic activity is concentrated, is particularly dangerous. Large mudflows block the main riverbed and pose a threat of flooding of significant territories, destruction of vital facilities and a threat to human life.

The aim of the work is to prevent emergencies related to the movement of solid runoff downstream of mountain rivers, causing mudslides, by creating filtration and accumulation zones in which stocks of inert building materials accumulate. At the end of the flood period, the extraction of inert materials from this zone is organized, followed by the production of building materials and the preparation of the exhausted space of the filtration and accumulation zone for the next flood season.

The feasibility of processing the high-mountain dumps of the Tyrnyauz tungsten-molybdenum plant is substantiated. The beneficial use of technogenic mineral raw materials will allow for the prevention of emergency flood situations and pollution of territories related to technogenic debris flow formation. The proposed technology not only eliminates emergencies caused by debris flows but also turns debris flows into a constructive factor, creating renewable deposits of inert construction materials.

Keywords: floodplains of mountain rivers, gully formation, emergencies, debris accumulation zone, solid flow content, gravel-boulder component, solid filtration zone

For citation: Karpova Zh.V., Yakheev V.V., Aktersky Yu.E. Justification of safe technology for the exploitation of mountain river resources // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 91–101. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-91-101

Введение

В поймах нагорных рек сосредоточены наиболее пригодные для хозяйственной деятельности земли. Территории, прилегающие к руслам рек, имеют важные народно-хозяйственные объекты жизнедеятельности, сельскохозяйственной, транспортной, энергетической инфраструктуры, горнодобывающие предприятия. Одновременно эта зона является экологически наиболее уязвимой. В данной зоне происходит наложение природной составляющей нагрузки на среду и техногенной – результатов жизнедеятельности человека. К природной группе факторов можно отнести регулярное селеобразование в притоках таких рек, как р. Баксан, бассейн которой представляет особую опасность по регулярности, числу и объему селей. В частности, объем грязекаменной массы, попавшей в р. Баксан, 22 июля 2025 г. во время схода селя по Герхожансу, ее правому притоку, специалисты Высокогорного геофизического института (г. Нальчик) оценили в 6–7 млн м³¹.

В паводковый период селевые потоки из многочисленных притоков попадают в основное русло реки. В качестве притоков могут быть как небольшие ручьи, сезонно многократно увеличивающие свой сток, так и более полноводные притоки – источники крупных селевых сбросов. Крупные селевые сбросы перекрывают основное русло реки и создают угрозу затопления значительных территорий, разрушения объектов жизнедеятельности.

¹ Кондратьева Н.В. Ученый: экспертная оценка при проектировании в горах поможет избежать селевых разрушений. URL: <https://tass.ru/nauka/24690547> (дата обращения: 11.02.2026)

Территории, прилегающие к руслам нагорных рек, имеют благоприятный рельеф для концентрации поселений, важных народно-хозяйственных объектов жизнедеятельности, транспортной, энергетической инфраструктуры, предприятий и поэтому весьма уязвимы при возникновении чрезвычайных паводковых ситуаций.

Так, в сентябре 2017 г в результате проливных дождей и сброса около 500 тыс. кубометров воды из высокогорных озер ледника Башкара в притоке р. Баксан – Адыл-Су образовался селя. При сходе селя наблюдались значительные ландшафтные изменения. Произошла подрезка склона обеих сторон русла с уничтожением вековых деревьев, в результате существенно расширилась пойма реки. По сообщению республиканского Главного управления МЧС России, были либо полностью разрушены, либо частично размыты восемь участков федеральной автодороги «Прохладный – Азау», три пешеходных моста, поврежден газопровод высокого давления, потоком унесло несколько автомобилей, ущерб оценивается в несколько десятков миллионов рублей.

Формированию чрезвычайных паводковых ситуаций способствует главная идея существующих селезащитных технологий, суть которой – безопасный режим транспортировки в русло реки селевого потока по специальным сооружениям и дальнейшее производство руслорегулировочных работ с использованием тяжелой строительной техники для повышения транспортирующей способности реки путем удаления из русла реки крупных фракций бульдозерами [1]. Использование тяжелой землеройной техники, транспорта непосредственно в пойме и русле реки является одной из причин загрязнения рек горюче-смазочными материалами. Для ликвидации паводков наносящих ущерб сооружениям и коммуникациям значительная часть руслорегулировочных работ производится в режиме чрезвычайных ситуаций.

Последние годы для г. Тырныауза кроме природного происхождения селевой опасности притоков р. Баксан (Герхожансу и Камык) угрозу представляют техногенные селеобразования из карьерных отвалов в бассейнах рек Большой и Малый Мукулан [2].

Сели природного происхождения вызывают возникновение чрезвычайных паводковых ситуаций, техногенные сели вызывают дополнительно загрязнение поймы рек тяжелыми металлами [3, 4]. То есть в бассейне р. Баксан к повторяемости образования природных селей добавляется повторяемость селей техногенного происхождения имеющих большую экологическую опасность в виде загрязнения окружающей среды. В результате возрастает экологическая уязвимость территорий примыкающих к руслам нагорных рек ниже по течению.

Методы исследования

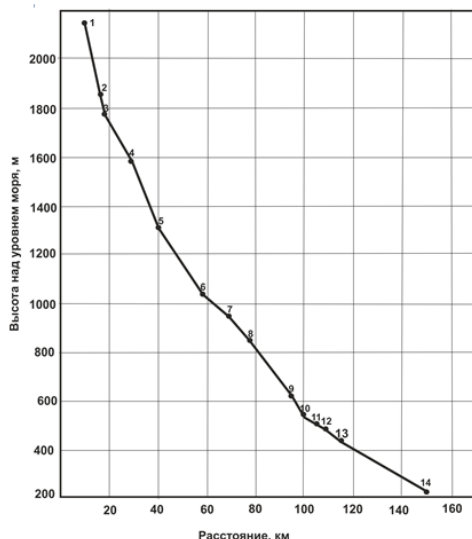
В работе использован комплексный метод исследований, включающий: анализ и научное обобщение теории и практики ликвидации, предотвращения чрезвычайных ситуаций на основе безопасной эксплуатации ресурсов нагорных рек; аналитические, графические методы анализа и расчетов с привлечением математического аппарата и современных систем управления базами данных (СУБД) и языков программирования высокого уровня; экспериментальные исследования; технико-экономический анализ, а также методы математической статистики для обработки получаемых результатов.

Разрушительные свойства селей определяются динамическими параметрами, такими как расход, скорость и плотность селевой массы зависящей от содержания и состава твердого стока [5, 6]. Твердый сток, выход которого составляет от 10 до 70 %, включает крупные камни, мелкозернистые фракции песка и глины. Увеличивающаяся во время паводка транспортирующая способность рек в процесс движения вовлекает наносы. При этом многократно увеличивается транспортирующая способность, растет плотность потока срывающего крупнообломочный материал (самоотмокку).

Высокое содержание твердой фазы обеспечивается скоростью и мощностью потока, которые меняются циклично. При снижении скорости в зонах аккумуляции поток освобождается от наносов. Зона отложения (аккумуляции селя) формируется в расширении (межгорной котловине) и обычно характеризуется уклонами менее 20 %.

Эффективность процесса аккумуляции зависит от транспортирующей способности реки и при ее снижении, зона отложения может формироваться при уклоне 100–150 ‰ [6]. Транспортирующая способность реки меняется от паводковой ситуации и, в свою очередь, зависит от профиля реки.

На рис. 1 и в таблице представлены продольный профиль и параметры русла р. Баксан. Несмотря на значительные средние значения перепадов высотных отметок, даже в верхнем течении реки наблюдается наличие локальных участков межгорной котловины с относительно небольшими уклонами, характерными для зон отложения селя, как например, при слиянии р. Адыл Су.



1 – с. Терскол; 2 – с. Тегенекли; 3 – с. Эльбрус; 4 – с. В. Баксан; 5 – г. Тырныауз; 6 – с. Былым; 7 – с. Бедик; 8 – с. Жанхотеко; 9 – с. Атажукино; 10 – с. Исламей; 11 – с. Дугулугбей; 12 – г. Баксан; 13 – с. Кишпек; 14 – г. Прохладный

Рис. 1. Продольный профиль русла р. Баксан

Таблица

Параметры продольного профиля русла р. Баксан

Населенные пункты	Перепад высот, м	Расстояние, км	Продольный уклон, ‰
с. Терскол – с. Эльбрус	302	18	16,8
с. Эльбрус – с. Верхний Баксан	185	10	18,5
с. Верхний Баксан – г. Тырныауз	283	12	23,5
г. Тырныауз – с. Былым	272	16	17,0
с. Былым – с. Бедик	75	11	6,8
с. Бедик – с. Жанхотеко	100	8	12,5
с. Жанхотеко – с. Атажукино	220	19	11,6
с. Атажукино – с. Исламей	82	6	13,7
с. Исламей – с. Дугулугбей	36	6	6,0
с. Дулугбей – г. Баксан	15	2	7,5
г. Баксан – с. Кишпек	60	7	8,6
с. Кишпек – г. Прохладный	213	36	5,9

Выработанное пространство зоны фильтрации для многократного использования имеет бетонные конструкции берм на сваях, защищающих сооружение и коммуникации от размыва.

Конструктивно пойма реки делится на две части. На одной части под защитой бермы осуществляется водосток [20–22]. Во второй части поймы реки в допаводковый период формируют выработанное пространство.

В паводковый период осуществляется заполнение выработанного пространства намывными отложениями. Направление намыва регулируется углом наклона траншеи к выработанному пространству.

В процессе намыва уточняют ожидаемые показатели качественного состава намываемых объемов:

- объем горной массы в выработанном пространстве;
- выход валунно-гравийной части и ее локализация в выработанном пространстве;
- содержание в валунно-гравийной части горной массы прочных изверженных (интрузивных, эффузивных), метаморфизованных горных пород, представляющих повышенную практическую ценность.

В послепаводковый период сток реки перенаправляется в обводной водосток мимо заполненного намывными отложениями пространства зоны фильтрации. Только после схода воды начинается отработка намывного гравийно-валунного материала. После завершения горных работ сформированное выработанное пространство проходит очистку перед следующим паводковым периодом. Это исключает загрязнение русла реки.

Максимальные возможности одной зоны фильтрации составляют порядка 300 тыс. м³ или 750 тыс. т горной массы. Средние объемы горных работ по единичным зонам фильтрации достигают до 300 тыс. т горной массы в год. Для обеспечения рентабельной работы предлагается использовать современное мобильное оборудование циклично-поточной технологии. Оборудование быстрого разворачивания, адаптированное для работы в комплексе с мобильными гидравлическими экскаваторами и погрузчиками, будет обслуживать несколько зон фильтрации твердого стока.

В ходе исследований особое внимание уделено техногенным селеобразованиям из карьерных отвалов в бассейнах рек Большой и Малый Мукулан.

Отсыпка вскрышных пород с борта Высотного карьера и с юго-западного борта Мукуланского карьера разделенных по высоте примерно на 600 м осуществлялась в Большую Мукуланскую балку. Отсыпка вскрышных пород с восточного борта Мукуланского карьера велась в балку Малый Мукулан.

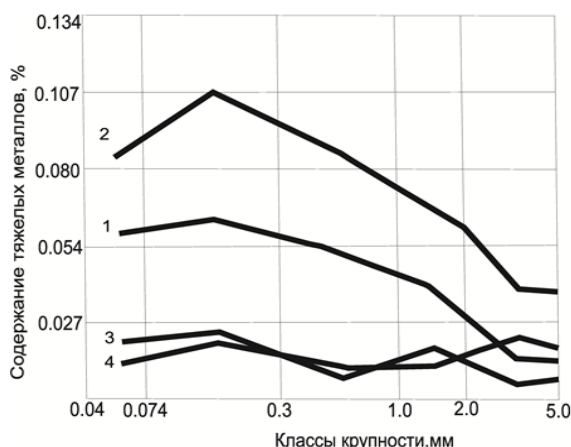


Рис. 4. Распределение тяжелых металлов по фракциям горной массы отвалов Малой Мукуланской балки:

1 и 2 – соответственно распределение МО по классам крупности в пробах 10 и 11;

3 и 4 – соответственно распределение Wo3 по классам крупности в пробах 10 и 11

В отличие от Большой Мукуланской балки, куда складировано более 168 млн м³ вскрышных пород, в Малую Мукуланскую балку складировано менее 7 млн м³, но она (на текущий момент времени) из-за наличия конуса селевого выброса в пойму р. Баксан представляет большую экологическую угрозу. Значительная часть пород, складированных в Малой Мукуланской балке, представлена биотитовыми роговиками и гранитоидами. Средняя часть балки из-за сегрегации при перепуске горной массы заполнена преимущественно мелкими классами крупности. Как показали исследования, содержание молибдена из-за скопления мелких классов более в три раза превышает среднее значение по горной массе (рис. 3). Это представляет дополнительную угрозу загрязнения при селевом выбросе.

В тоже время складированная в отвалы карьеров Тырнаузского вольфрамомолибденового комбината (ВМК) горная масса представляет собой ценное техногенное шеелит и молибден содержащее минеральное сырье и сырье для производства строительных материалов. В отвалы складировались значительные объемы попутно отрабатываемых типов руд, которые не могли эффективно перерабатываться существовавшей в то время технологией обогащения. Так, с борта Высотного карьера на высоте около 2 850 м складировались попутно отрабатываемые скарнированные мраморы, отличавшиеся промышленным содержанием WO₃ и MO. Данный тип руд применявшаяся в то время технология переработки не использовала из-за повышенного содержания кальцитов. В ходе более ранних и настоящих исследований авторов обоснована целесообразность отработки пород с использованием предварительной RGB – кусковой сортировки для разделения отличающихся по RGB признакам скарнов и мрамора.

В Большую Мукуланскую балку ниже горизонта 2 610 м засыпано около 119,8 млн м³ горной массы, значительная часть которой представлена биотитовыми роговиками и гранитоидами. Молибденовые руды с промышленным содержанием молибдена существовавшей технологией отдельно не перерабатывались, лишь шихтовались в определенных пропорциях со скарновыми, шеелитсодержащими рудами, вскрытие которых требовало опережающей отработки рудных биотитовых роговиков и гранитоидов. Поэтому значительные объемы биотитовых роговиков и гранитоидов с промышленным содержанием молибдена были складированы в Большую Мукуланскую балку, средняя часть которой заполнена преимущественно мелкими классами крупности, выделенными за счет сегрегации при перепуске горной массы. Содержание молибдена из-за скопления мелких классов в этой части отвала более чем в два раза превышает среднее значение по горной массе.

Результаты исследования и их обсуждение

При создании экологически безопасной технологии открытой разработки минерального сырья для пойм нагорных рек реализован системный подход, направленный на предотвращение чрезвычайных ситуаций, вызываемых селями природного происхождения, путем создания аккумуляционных зон и добычей из них строительных материалов.

Валунная составляющая твердого стока составляет от 13–19 %, гравийная – до 24–32 %, мелкозернистые фракции песка и глины – до 63 %. Наиболее ценной в плане полезного использования является валунная составляющая твердого стока, представленная изверженными породами в виде гранитов, диоритов, порфиров и кварцевых порфиров. Гравийная составляющая твердого стока может включать до 35 % осадочных пород снижающих их ценность для полезного использования.

Мелкозернистые фракции песка и глины в основном зоной фильтрации не задерживаются. Для селей природного происхождения этот фактор можно рассматривать как положительный решающий безопасную транспортировку вниз по течению более половины селевой массы без риска образования чрезвычайных паводковых ситуаций. При этом валунная и гравийная часть может быть по завершению паводкового сезона переработана и реализована в виде широко востребованных строительных материалов.

Технологический цикл функционирования зон фильтрации предполагает операции направленные на исключение загрязнения русла реки нефтепродуктами:

- начало отработки намывного гравийно-валунного материала только после схода воды;
- обязательная очистка выработанного пространства перед следующим паводковым периодом.

Важной положительной технологической особенностью аккумуляционных зон при работе со стоками селевых потоков природного происхождения является фильтрация валунной и гравийной составляющих твердого стока, когда мелкозернистые фракции песка и глины, зоной фильтрации не задерживаются. Таким образом, решается проблема предотвращения чрезвычайных паводковых ситуаций. Технологический цикл функционирования зон аккумуляции (фильтрации) предполагает переработку и реализацию в виде строительных материалов ценной в плане полезного использования валунно-гравийной составляющей и включает операции направленные на исключение загрязнения русла реки нефтепродуктами.

Нарастающая последние годы селевая активность в бассейнах рек Малый и Большой Мукулан повышает вероятность сброса в реку Баксан горной массы, содержащей продукты выщелачивания рудных минералов вольфрама и молибдена, представляющих повышенную угрозу для экологии.

В результате графоаналитического анализа данных космической съемки установлено, что в отличие от Большой Мукуланской балки, Малая Мукуланская балка на текущий момент времени представляет большую экологическую угрозу. Значительная часть пород складированных в Малой Мукуланской балке представлена биотитовыми роговиками и гранитоидами. Как показали исследования, средняя часть балки из-за сегрегации при перепуске горной массы заполнена преимущественно мелкими классами крупности (-5 мм), склонными к селеобразованию при водонасыщении. Содержание молибдена из-за скопления мелких классов более чем в три раза превышает среднее значение по горной массе. Учитывая, что мелкозернистые фракции зоной фильтрации не задерживаются, то техногенные селевые сбросы несут угрозу чрезвычайных ситуаций загрязнения территорий. Для предотвращения этих угроз необходимо проведение опережающих мероприятий на потенциально опасных участках отвалов. После восстановления эксплуатации Тырныаузского месторождения целесообразна отработка части отвалов с извлечением ценных рудных, нерудных компонентов и вмещающих пород. Вмещающие породы могут использоваться для производства стройматериалов или для закладки выработанного пространства подземного рудника.

Заключение

Предлагается технология, направленная на предотвращение чрезвычайных ситуаций, вызываемых селями, путем создания зон аккумуляции валунно-гравийной части твердых стоков и добычей из них строительных материалов. Положительный эффект от производства строительных материалов увеличивают мероприятия направленные на исключение загрязнения русла реки нефтепродуктами. Разработанная технология позволяет за счет возобновляемых месторождений инертных строительных материалов частично закрывать их потребности при строительстве объектов, сооружений и коммуникаций. Кроме того, предложения по отработке высокогорных отвалов и полезному использованию техногенного минерального сырья позволят исключить чрезвычайные паводковые ситуации и загрязнение территорий связанные с техногенным селеобразованием.

Список источников

1. Хаширова Т.Ю. Исследование переноса наносов и распределение мутности в потоке для охраны предгорных агроландшафтов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. Специальный выпуск. 2008. № 13. С. 113–118.

2. Хаджиев М.М. Оценка селевой опасности района г. Тырнауза: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Нальчик: ВГИ, 2005. 17 с.
3. Хаустов В.В. О миграции рудных элементов в подземных и поверхностных водах (на примере одного из скарновых месторождений Северного Кавказа) // Вестник Ленинградского ун-та. Сер. 7: Геология, география. 1988. Вып. 2. № 14. С. 78–79.
4. Хаустов В.В. Формирование подземных вод района вольфрам-молибденового месторождения Тырнауз и вопросы охраны бассейна реки Баксан от загрязнения: автореф. дис. ... канд. геолого-минералогических наук. Л., 1990. 22 с.
5. Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси: Сабизта сакартвело, 1970. 386 с.
6. Кузнецов К.Л., Чалов Р.С. Русловые процессы и морфология русел горных рек в условиях активной селевой деятельности (на примере рек северного склона Заилийского Алатау) // Геоморфология. 1988. № 2.
7. Русловые процессы на реках зон перехода от гор к равнинам и их регулирование / К. Кшемь [и др.] // Эрозионные и русловые процессы. М.: МГУ, 2005. Вып. 4.
8. Чалов Р.С. Горные реки и реки в горах: продольный профиль, морфология и динамика русел // Геоморфология. 2002. № 3.
9. Гидрология устьев рек Терека и Сулака. М.: Наука, 1993.
10. A comparison of coarse bedload transport measured with bedload traps and Helley-Smith Samplers / K. Bunte [et al.] // Geodinamica Acta. 2008. № 21. P. 53–66.
11. Montgomery D.R., Buffington J.M. Channel-reach morphology in mountain drainage basins // GSA Bulletin. 1997. № 109 (5). P. 596–611.
12. Ryan S.E., Bunte K., Potyondy J.P. Breakout session II, Bedload-transport measurement: Data needs, uncertainty, and new technologies. Smart G.M., Habersack H.M. Pressure fluctuations and gravel entrainment in rivers // Journal of Hydraulic Research. 2007. № 45:5. P. 661–673.
13. Bed load transport under different streambed conditions – a field experiment study in a mountain stream / G.A. Yu [et al.] // International Journal of Sediment Research. 2012. № 27. P. 426–438.
14. Wang Zh., Lee Joseph H.W., Melching S. River Dynamics and Integrated River Management // Springer and Tsinghua Publisher. 2014.
15. Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А. Природно-ориентированные подходы к добыче аллювиальных строительных материалов из речных русел и пойм // Вестник Удмуртского университета. 2012. Вып. 3. С. 3–12.
16. Морфология русел и современный русловой аллювий на горных реках Западного Тянь-Шаня / О.А. Борсук [и др.] // Геоморфология. 1981. № 1.
17. Коннов В.И. Методология оценки экологического состояния малых рек и их защиты от влияния горного производства (на примере Восточного Забайкалья): автореф. дис... д-ра техн. наук. М., 2008.
18. Копалиани З.Д., Твалавадзе О.А., Носелидзе Л.В. Гидравлическое моделирование руслового процесса предгорного участка р. Аносовки на мостовом переходе // Вопросы гидравлики и руслового процесса горных рек. 1992. Вып. 3. С. 88–106.
19. Беркович К.М. Русловые процессы и русловые карьеры. М.: МГУ, 2005.
20. Карпова Ж.В. Проектирование и технология экологически безопасной эксплуатации ресурсов пойм нагорных рек // Вестник ЗабГУ. 2015. № 2 (117). С. 21–25.
21. Карпова Ж.В. Совершенствование экологически безопасной технологии открытой разработки минерального сырья в поймах нагорных рек: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск: ЮРГПУ, 2019. 22 с.
22. Способ добычи инертных материалов: пат. Рос. Федерации № 2 476673 / Хакулов В.А., Секисов А.Г., Игнатов В.Н., Боровков Ю.А., Хакулова Ж.В., Ксенофонов А.С.; Бюл. И. 2013. № 6.

References

1. Hashirova T.Yu. Issledovanie perenosa nanosov i raspredelenie mutnosti v potoke dlya ohrany predgornyyh agrolandshaftov // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Special'nyy vypusk. 2008. № 13. S. 113–118.
2. Hadzhiev M.M. Ocenka selevoj opasnosti rajona g. Tyrnyauza: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. Nal'chik: VGI, 2005. 17 s.
3. Haustov V.V. O migracii rudnyh elementov v podzemnyh i poverhnostnyh vodah (na primere odnogo iz skarnovyh mestorozhdenij Severnogo Kavkaza) // Vestnik Leningradskogo un-ta. Ser. 7: Geologiya, geografiya. 1988. Vyp. 2. № 14. S. 78–79.
4. Haustov V.V. Formirovanie podzemnyh vod rajona vol'fram-molibdenovogo mestorozhdeniya Tyrnyauz i voprosy ohrany bassejna reki Baksan ot zagryazneniya: avtoref. dis. ... kand. geologo-mineralogicheskikh nauk. L., 1990. 22 s.
5. Gagoshidze M.S. Selevye yavleniya i bor'ba s nimi. Tbilisi: Sabieta sakartvelo, 1970. 386 s.
6. Kuznecov K.L., Chalov R.S. Ruslovye processy i morfologiya rusel gornyyh rek v usloviyah aktivnoj selevoj deyatel'nosti (na primere rek severnogo sklona Zailijskogo Alatau) // Geomorfologiya. 1988. № 2.
7. Ruslovye processy na rekah zon perekhoda ot gor k ravninam i ih regulirovanie / K. Kshemen' [i dr.] // Erozionnye i ruslovye processy. M.: MGU, 2005. Vyp. 4.
8. Chalov R.S. Gornyye reki i reki v gorah: prodol'nyy profil', morfologiya i dinamika rusel // Geomorfologiya. 2002. № 3.
9. Gidrologiya ust'ev rek Tereka i Sulaka. M.: Nauka, 1993.
10. A comparison of coarse bedload transport measured with bedload traps and Helley-Smith Samplers / K. Bunte [et al.] // Geodinamica Acta. 2008. № 21. P. 53–66.
11. Montgomery D.R., Buffington J.M. Channel-reach morphology in mountain drainage basins // GSA Bulletin. 1997. № 109 (5). P. 596–611.
12. Ryan S.E., Bunte K., Potyondy J.P. Breakout session II, Bedload-transport measurement: Data needs, uncertainty, and new technologies. Smart G.M., Habersack H.M. Pressure fluctuations and gravel entrainment in rivers // Journal of Hydraulic Research. 2007. № 45:5. P. 661–673.
13. Bed load transport under different streambed conditions – a field experiment study in a mountain stream / G.A. Yu [et al.] // International Journal of Sediment Research. 2012. № 27. P. 426–438.
14. Wang Zh., Lee Joseph H.W., Melching S. River Dynamics and Integrated River Management // Springer and Tsinghua Publisher. 2014.
15. Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A. Prirodno-orientirovannyye podhody k dobyche allyuvial'nyh stroitel'nyh materialov iz rechnyyh rusel i pojm // Vestnik Udmurtskogo universiteta. 2012. Vyp. 3. S. 3–12.
16. Morfologiya rusel i sovremennyy ruslovoj allyuvij na gornyyh rekah Zapadnogo Tyan'-Shanya / O.A. Borsuk [i dr.] // Geomorfologiya. 1981. № 1.
17. Konnov V.I. Metodologiya ocenki ekologicheskogo sostoyaniya malyyh rek i ih zashchity ot vliyaniya gornogo proizvodstva (na primere Vostochnogo Zabajkal'ya): avtoref. dis... d-ra tekhn. nauk. M., 2008.
18. Kopaliani Z.D., Tvalavadze O.A., Noselidze L.V. Gidravlichesкое modelirovanie ruslovogo processa predgornogo uchastka r. Anosovki na mostovom perekhode // Voprosy gidravliki i ruslovogo processa gornyyh rek. 1992. Vyp. 3. S. 88–106.
19. Berkovich K.M. Ruslovye processy i ruslovye kar'ery. M.: MGU, 2005.
20. Karpova Zh.V. Proektirovanie i tekhnologiya ekologicheskoy bezopasnoy ekspluatatsii resursov pojm nagornyyh rek // Vestnik ZabGU. 2015. № 2 (117). S. 21–25.
21. Karpova Zh.V. Sovershenstvovanie ekologicheskoy bezopasnoy tekhnologii otkrytoy razrabotki mineral'nogo syr'ya v pojmah nagornyyh rek: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Novocherkassk: YURGPU, 2019. 22 s.

22. Sposob dobychi inertnykh materialov: pat. Ros. Federacii № 2 476673 / Hakulov V.A., Sekisov A.G., Ignatov V.N., Borovkov Yu.A., Hakulova Zh.V., Ksenofontov A.S.; Byul. I. 2013. № 6.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.11.2025; одобрена после рецензирования: 23.02.2026;
принята к публикации: 24.04.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.11.2025; approved after review: 23.02.2026;
accepted for publication: 24.04.2026

Информация об авторах:

Карпова Жанна Викторовна, инженер ООО «Научно-исследовательский и проектный институт» «Недра» (346421, г. Новочеркасск, Ростовской обл., пр. Баклановский, д. 182, к. 9), кандидат технических наук, e-mail: z.karpovaspb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9664-5863>

Яхеев Валерий Васильевич, доцент кафедры горноспасательного дела и взрывобезопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: yakvaleri@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6822-5108>, SPIN-код: 7607-9304

Актерский Юрий Евгеньевич, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: aue2002@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5767-7462>, SPIN-код: 7387-1442

Information about the authors:

Karpova Zhanna V., engineer at scientific research and design institute «Nedra» (346421, Novocherkassk, Rostov region, Baklanovsky ave., 182, room 9), candidate of technical sciences, e-mail: z.karpovaspb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9664-5863>

Yakheev Valery V., associate professor of the department of mining rescue operations and explosion safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: yakvaleri@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6822-5108>, SPIN: 7607-9304

Akterskiy Yuriy E., professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: aue2002@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5767-7462>, SPIN: 7387-1442