ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2023;(7):76-87
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 551.2.3 DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_76

ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ФИАГДОНСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА

З.Э. Маковозова[1], М.А. Аксенова[2], Кесвани Четан[3], Б.З. Умиров[4]

[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, РСО-Алания, Россия, e-mail: geologistik@bk.ru
[2] Филиал Южного федерального университета в г. Геленджике, Геленджик, Россия
[3] Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
[4] Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Республика Казахстан

Аннотация: Приведены результаты полевых исследований экзогенных геологических процессов по Фиагдонскому хвостохранилищу с примыкающей к нему долиной р. Ханикомдон с целью определения влияния опасных экзогенных процессов на устойчивость природно-техногенной системы. В процессе анализа полученных данных подтверждена гипотеза о том, что активизация экзогенных геологических процессов проходит в ускоренном режиме на территориях, частично или полностью промышленно использованных. На основании теоретических и экспериментальных исследований установлен факт, что оценка риска развития опасных экзогенных процессов на предгорных и горных территориях на сегодняшний день не учитывает климатический и геодинамический факторы, действующие суммарно. Под воздействием данных факторов на территории определено ускорение развития экзогенных процессов. Природно-техногенная система Фиагдонского хвостохранилища подвергается сверхнагрузке – это выражено в образовании новых очагов экзогенных процессов, имеющих сезонную и метеорологическую зависимость. Возрастающая геодинамическая нагрузка участка увеличивает риск повторного проявления уже имеющихся опасных экзогенных процессов – осыпей, обвалов различного масштаба и локальных оползневых масс. Результаты исследований в дальнейшем позволят рассчитать коэффициент устойчивости природно-технической системы с учетом геодинамической нагрузки исследуемой территории и сформулировать ее актуальную климатическую модель.

Ключевые слова: техногенез, хвостохранилище, окружающая среда, геоморфологические черты, климат, метеорология, циркуляция атмосферы, геодинамика

Благодарность: Исследования выполнены в Южном федеральном университете за счет средств Российского научного фонда (проект № РНФ/23-37-ГЛ, № 23-77-00015).

Для цитирования: *Маковозова З. Э., Аксенова М. А., Кесвани Четан, Умиров Б. З.* Вопросы оценки влияния опасных экзогенных процессов на устойчивость природно-техногенных систем на примере Фиагдонского хвостохранилища // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 7. – С. 76–87. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_76.

© З.Э. Маковозова, М.А. Аксенова, Кесвани Четан, Б.З. Умиров. 2023.

Effect of hazardous exogenous processes on nature and manmade system stability: A case-study of a Fiagdon tailings pond

Z.E. Makovozova[1], M.A. Aksenova[2], Keswani Chetan[3], B.Z. Umirov[4]

[1] North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia, e-mail: geologistik@bk.ru
[2] Branch of Southern Federal University in Gelendzhik, Gelendzhik, Russia
[3] Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
[4] Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Republic of Kazakhstan

Abstract: The field studies of the exogenous geological processes at Fiagdon tailings pond and in adjacent valley of the River Khanikomdon aim to identify the hazardous exogenous impacts on the stability of the test nature-and-technology system. The obtained data analysis has confirmed the hypothesis on the accelerated actuation of the exogenous geological processes in the areas which are partly or totally utilized industrially. Based on the theoretical and experimental research, it is stated that the current risk assessment of the hazardous exogenous processes in the submountain and mountain regions neglects the factors of climate and geodynamics, which produce an integrated effect by the way. Under the influence of these factors, the exogenous processes accelerate in the test area. The nature-and-technology system of Fiagdon tailings pond suffers a super load—this shows up as initiation of new sources of exogenous processes which exhibit dependence on the season and weather. The increasing geodynamic loading of the area aggravates the risk of repetitive occurrence of the hazardous exogenous processes such as various scale rock slides and rock falls, and local landslides. The research findings can help calculate the resistivity of a nature-and-technology system with regard to its dynamic load and can assist in construction of its relevant climatic model.

Key words: techno genesis, tailings pond, environment, geomorphology characteristics, climate, meteorology, air circulation, geodynamics.

Acknowledgements: The research was carried out at the Southern Federal University at the expense of the Russian Science Foundation (Project No. RNF/23-37-GL, No. 23-77-00015).

For citation: Makovozova Z. E., Aksenova M. A., Keswani Chetan, Umirov B. Z. Effect of hazardous exogenous processes on nature and manmade system stability: A case-study of a Fiagdon tailings pond. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(7):76-87. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_76.

Введение

Научно-технический прогресс привел к постоянной ускоренной трансформации земной коры с формированием новых природно-техногенных систем (ПТС), которые необходимо оценивать комплексно, учитывая различную природу влияющих на них факторов. ПТС — это геосистемы, для которых присущ непосредственный элемент в виде технического устройства или сооружения [1, 2]. Если природно-техногенная система находится в районе проявления активных экзогенных геологических процессов, то создаются неблагоприятные условия, нарушающие устойчивость всей экосистемы [3, 4].

К природным факторам влияния относятся: очаги развития экзогенных геологических процессов, геологическое строе-

ние, инженерно-геологические свойства горных пород, большое количество атмосферных осадков и уровни стояния грунтовых вод, что вызывает сильное обводнение грунтов. К антропогенным факторам влияния относятся: отвалы грунтов, искусственно созданные при строительстве и эксплуатации Фиагдонского хвостохранилища, обводнение массивов естественных и техногенных грунтов подземным поверхностным стоком, перераспределенным при возведении хвостохранилища и связанной с ним инфраструктуры. В статье приведены методы и результаты оценки влияния опасных экзогенных процессов на устойчивое развитие горных территорий, которые дополняют полноту геоэкологического мониторинга предприятий горно-металлургического комплекса (ГМК) [5, 6].

Изучение факторов, оказывающих влияние на развитие экзогенных процессов горных территорий, является актуальной задачей с учетом оценки накопленного техногенного воздействия горно-обогатительных комбинатов на окружающую среду [7].

Целью исследования было определение факторов оценки влияния опасных экзогенных процессов на устойчивость Фиагдонской природно-техногенной системы и подтверждения гипотезы о том, что активизация экзогенных геологических процессов проходит в ускоренном режиме на территориях, частично или полностью промышленно использованных горно-обогатительными комбинатами.

Также авторы поставили перед собой задачу изучить теоретические аспекты закономерностей развития опасных геоморфологических процессов, выделить наиболее опасные, которые развиваются в рамках ПТС в результате деятельности предприятий ГМК, и оценить масштабы риска их влияния на окружающую среду с учетом региональной специфики.

Объект исследований

Фиагдонское хвостохранилище как объект ГМК было введено в эксплуатацию в 1970 г. Территориально оно находится в узком, V-образном ущелье в пойме р. Ханикомдон на высоте 1250 м над уровнем моря. Исследуемый объект имеет традиционно для котловинных хвостохранилищ вытянутую форму с границами, обозначенными скальными выходами песчано-сланцевых и известняковых пород ранней и поздней юры [8, 9].

Хвостохранилище было закрыто в 2003 г., и с того времени рекультивационные и мелиорационные мероприятия по улучшению качества почвенного слоя и сохранности растительного покрова не проводились.

Оценка влияния опасных экзогенных процессов на устойчивость Фиагдонской ПТС не проводилась.

Материалы и методы

На основе теоретических исследований геологических процессов, которые развиваются на ПТС в результате деятельности предприятий ГМК из ряда причин разномасштабных экзогенных геологических процессов (ЭГП), выделяются:

- энергетические геодинамические преобразования, происходящие в земной коре и прилегающих слоях атмосферы;
- развивающийся техногенез с учетом влияния накопленного антропогенного воздействия предприятий ГМК [10].

Для объективной оценки влияния ЭГП на элементы геологической среды необходимо учитывать двойственную природу возникновения и развития этих процессов. Наиболее опасными геологическими процессами являются подвижные формы экзогенной геодинамики, являющие собой пространственные перемещения блоков земной коры под влиянием экзогенных факторов, в том числе

техногенных. К ним относят разуплотнение и разжижение геологической среды, оползневые процессы, селевые потоки, обвалы и водную эрозию, дефляцию, суффозию и карст, провалы земной коры и многие другие [11, 12].

Для оценки влияния опасных экзогенных процессов на устойчивость горных и предгорных территорий, входящих в ПТС, были применены геоморфологические методы и морфодинамические методы исследования, результаты анализа которых позволили произвести оценку развития и масштабы экзогенных процессов исследуемых горных территорий [13].

Экспериментальные исследования проводились в зимние и летние периоды с 2020 по 2022 гг. в долине р. Ханикомдон, в определенные временные интервалы с целью определения стабильности комплексов речных отложений, смешанных с комплексами отходов хвостохранилища. По результатам экспериментальных исследований был выполнен анализ развития имеющихся очагов экзогенных геологических процессов за указанный период, позволивший определить величину влияния каждого фактора на развитие ЭГП с учетом геоморфологических и климатических особенностей исследуемых горных территорий. Далее была произведена оценка потенциальной опасности развития каждого фактора, позволяющая в дальнейшем выработать управленческие решения по сохранению

Опасные экзогенные процессы, выявленные геоморфологическими методами на территории Фиагдонского хвостохранилища
Dangerous exogenous processes identified by geomorphological methods in the territory of Fiagdon tailing dump

Класс процессов	Ведущий процесс	Характер	Ярус рельефа	Источник опасности	Возможные негативные последствия
Флювиальный	линейная (речная) эрозия	площадной	1400–2400 м, все ярусы	Подрезка склонов и бортов долин речной террасы, углубление русла	Подмыв и полное или частичное разрушение дорог, селеобразование
	селевой	площадной	1400–2400 м, все ярусы	Разрушительная транспортировка представительных объемов рыхлообломочных масс, значительная переработка склонов и русла р. Ханикомдон заполнение ложа (котловины) хвостохранилища	Разрушение дорог, инженерных сооружений, гибель или травмы людей
	плоскостной смыв	площадной	1400–2400 м, все ярусы	Сезонное усиление эрозионно-гравитационных процессов	Размыв обрабатываемых (использованных) площадей, примыкающих к ложу хвостохранилища и руслу р. Ханикомдон
Гравитационный	обвалы, осыпи, оползни	фронтальный	1400–2400 м, все ярусы	Транспортировка и аккумуляция рыхлообломочного материала к руслу реки, усиление склоновой эрозии	Разрушение сооружений (обводного тоннеля р. Ханикомдон и насыпной дамбы хвостохранилища), блокировка дорог

экологической безопасности ПТС горно-обогатительных комбинатов (см. таблицу).

В соответствии с принципами геоморфологического районирования Северного Кавказа территория Фиагдонского хвостохранилища относится к областям геоморфоструктур альпийской складчатости, осложненной современными тектоническими движениями и областям геоморфоструктур доюрской складчатости, также осложненной альпийскими и новейшими тектоническими движениями [14].

По данным ряда исследователей прослеживается четкая генетическая связь современной эндогенной геодинамики и пространственной приуроченности массового проявления обвалов, оползней, каменных глетчеров и т.д. к выходам на земную поверхность разломов взбросо-надвигового характера. Причем движение породных блоков этих структур происходит и в настоящее время в результате современного горообразования [15, 16].

Важным фактором для развития и новообразования ЭГП является угол склона, при повышении значения которого от 47° и выше прямо пропорционально растет вероятность обвальных и оползневых процессов. На исследуемой территории основным геоморфологическим явлением, оказывающим разрушающее воздействие на ПТС, являются оползни [17].

В пределах Фиагдонской котловины расположены Ханикомские, Авсандурские, Кадатский, Гулийский, Дзивгисский и Лацикомский оползни. В большинстве своем они имеют проуроченность к региональным разломам и системам оперяющих их трещин с глубиной захвата склона от 45-60 м и иногда больше [18].

Есть мнение, что в случае видоизменения климатического фона, влияющего на геоморфологию района, чем крупнее иерархическая единица системы, тем большей устойчивостью она обладает. Т.е. происходящая перестройка внутри различных ПТС способствует сохранению наиболее крупноранговых единиц [19]. Однако авторы полагают, что такой подход имеет смысл использовать в случае характеристики изменения природной геосистемы. Природно-техногенные системы пока не имеют общепринятой классификации с обозначенными иерархическими границами.

Скорость активизации опасных экзогенных процессов связана с количеством, сезонностью и интенсивностью атмосферных осадков. За два последних десятилетия резко увеличилось количество и объем летних паводков, особенно за июнь и август. Ускоренное развитие экзодинамики объясняется непосредственным воздействием р. Ханикомдон, а также возникающими во время паводков обильными временными водотоками. По результатам проведенных полевых наблюдений определено, что масштаб проявления экзогенных процессов контролируется временными водотоками и работой речных вод. В зоне развития данных водотоков авторами отмечены точки зарождения новообразованных обвалов и осыпей.

В 2015 г. отмечалось, что в районе плотины Фиагдонского хвостохранилища происходит регулярное разрушение обводного тоннеля, по которому направлен сток р. Ханикомдон. И если возникнет ситуация с полным перекрытием воды (именно это и произошло), то случится размыв токсичных отходов свинцово-цинковых руд и продуктов их обогащения [20]. В период с 2017 г. по настоящее время происходит их смыв в р. Фиагдон. Меры по дальнейшему смыву отходов в рр. Ханикомдон и Фиагдон предприняты не были, мониторинг не проводится. Основными рудными элементами промышленных отходов явля-

Рис. 1. Март, 2020 г. Каркас обводного тоннеля полностью разрушен паводками летнего сезона 2019 г.
Fig. 1. March, 2020. The frame of bypass tunnel was completely destroyed by the floods of summer season of 2019

ются цинк, свинец, медь, титан, мышьяк и др.

Почвы в районе Фиагдонского хвостохранилища на момент исследования не оказывали токсического воздействия на тест-культуры. Но на сегодняшний момент тоннель продолжает разрушаться, и состояние оценивается как критическое (рис. 1) [21].

Результаты исследований и их обсуждение

В результате полевых исследований были выявлены факторы, влияющие на развитие ЭГП:

- климатический фактор — обильные летние паводки приводят к дестабилизации склонов и долины р. Ханикомдон;
- геоморфологический фактор — узкая речная долина с большим углом наклона склонов и быстрой наполняемостью в случае паводков, способствует нарушению баланса для крупных участков рельефа Фиагдонской котловины;
- геодинамический фактор — исследуемая территория характеризуется увеличивающейся долей разрядки геодинамического напряжения. Именно этим с точки зрения новейшего тектонического строения объясняется образование очагов крупных обвалов и оползней Фиагдонской ПТС.

Под воздействием данных факторов на территории определено ускорение развития экзогенных процессов, природно-техногенная система Фиагдонского хвостохранилища подвергается сверхнагрузке — это выражено в образовании новых очагов экзогенных процессов, имеющих сезонную и метеорологическую зависимость. Возрастающая геодинамическая нагрузка участка увеличивает риск повторного проявления уже имеющихся опасных экзогенных процессов — осыпей, обвалов различного масштаба и локальных оползневых масс.

С помощью геоморфологических методов можно выделить опасные ЭГП и провести оценку рисков влияния их на окружающую среду ПТС (рис. 2).

Оценка рисков при проявлении опасных ЭГП природно-техногенной системы Фиагдонского хвостохранилища показывает, что для данной территории характерен допустимый риск, для минимизации которого необходимо использовать принцип поддерживающего устойчивого развития, а восстанавливающая функция ПТС должна реализовываться при участии человека [22].

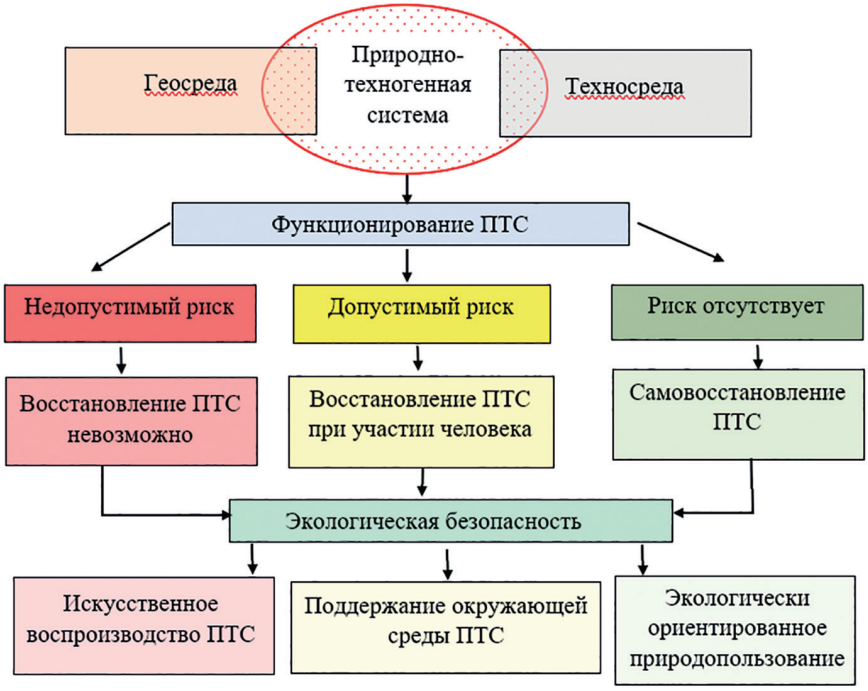

Рис. 2. Оценка рисков при функционировании ПТС
Fig. 2. Risk assessment during the operation of the TCP

В случае гидротехнических сооружений типа хвостохранилищ важно решение вопроса о дамбировании [23], т.к. оно индивидуально в каждом конкретном случае. Фиагдонское хвостохранилище от долины р. Фиагдон было отгорожено высокой насыпной дамбой, не имеющей структурного каркаса, который позволил бы выдерживать нагрузку от проявления экзогенных процессов.

Выводы

При оценке риска развития опасных экзогенных процессов на предгорных и горных территориях на сегодняшний день не учитываются климатический и геодинамический факторы, действующие суммарно. Для расчета коэффициента устойчивости природной или природно-технической системы необходимо учитывать геодинамическую нагрузку исследуемой территории и ее актуальную климатическую модель.

Комплексные полевые и дистанционные наблюдения позволят определять оценку риска развития опасных экзогенных процессов природного или техногенного объекта. Для территории ПТС, подверженной распространению опасных экзогенных процессов, необходимо иметь и регулярно актуализировать метеоролого-геоморфологическую модель с точками и областями экзодинамики.

Создание моделей природно-технических систем с актуальными факторами природного и техногенного риска позволит создать единую классификацию таких сложных объектов и упростит алгоритм их изучения.

Для дальнейшего создания математической модели прогнозов развития ЭГП необходимо обустроить стационарные посты наблюдений за состоянием Фиагдонской ПТС, учитывающие метеорологические, климатические, гидрогеологические, геоморфологические, геодина-

мические и экологические особенности Фиагдонской котловины и долины р. Ханикомдон.

Заключение

Установленный в результате исследований ряд факторов, влияющих на развитие опасных экзогенных процессов, и как следствие, на устойчивость природно-техногенных систем на примере Фиагдонского хвостохранилища, может быть использован при геоэкологическом мониторинге иных ПТС на территории РФ с уточнением специфики влияния каждого фактора. Следует учитывать, что влияние каждого из описанных факторов на техногенные массивы (отвалы, шламохранилища и т.д.) проявляется индивидуально, в зависимости от мер, принимаемых руководством предприятий ГМК по снижению техногенной нагрузки на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Цгоев Т. Ф., Гриднев Е. А.* Мониторинг экзогенных геологических процессов на территории РСО — Алания: состояние, проблемы и меры по их предотвращению // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2015. — № 3(13). — С. 56—61.

2. *Мелихов М. В.* Особенности геоинформационного космического мониторинга горнопромышленных природно-технических систем // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 12—1. — С. 29—41. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_29.

3. *Kolesnikova O., Syrlybekkyzy S., Fediuk R, Yerzhanov A., Nadirov R., Utelbayeva A., Agabekova A., Latypova M., Chepelyan L., Volokitina I., Vatin N. I., Kolesnikov A., Amran M.* Thermodynamic simulation of environmental and population protection by utilization of technogenic tailings of enrichment // Materials. 2022, vol. 15, no. 19, article 6980. DOI: 10.3390/ma15196980.

4. *Strassburg B. B. N., Iribarrem A., Beyer H. L., Cordeiro C. L., Crouzeilles R., Jakovac C., Junqueira A. B., Lacerda E. R., Latawiec A., Balmford A., Brooks T., Butchart S. H. M., Chazdon R. L., Erb K.-H., Brancalion P. H. S., Buchanan G. M., Cooper H. D., Diaz S., Donald P. F., Kapos V., Leclère D., Miles L., Obersteiner M., Plutzar C., De Mattos Scaramuzza C. A., Scarano F. R., Visconti P.* Global priority areas for ecosystem restoration // Nature. 2020, vol. 586, pp. 724—729. DOI: 10.1038/s41586-020-2784-9.

5. *Klyuev R. V., Fomenko O. A., Gavrina O. A., Sokolov A. A., Sokolova O. A., Dzeranov B. V., Morgoev I. D., Zaseev S. G.* Analysis of non-sinusoidal voltage at metallurgical enterprises // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, vol. 663, no. 1, article 012032. DOI 10.1088/1757-899X/663/1/012032.

6. *Соколов А. А., Мирошников А. С., Соколова Е. А.* Алгоритмы управления устойчивостью системы «предприятие горно-металлургического комплекса — внешняя среда» // Горный журнал. — 2016. — № 12. — С. 12—17. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.17.

7. *Зверева В. П., Фролов К. Р., Лысенко А. И.* Химические реакции и условия минералообразования на хвостохранилищах Дальнего Востока России // Горные науки и технологии. — 2021. — Т. 6. — № 3. — С. 181—191. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-3-181-191.

8. *Гурбанов А. Г., Лексин А. Б., Газеев В. М., Гурбанова О. А., Лолаев А. Б., Цуканова Л. Е., Илаев В. Э., Дзебоев С. О., Оганесян А. Х.* Вариации содержаний макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах в промышленных отходах Фиагдонского хвостохранилища (Республика Северная Осетия-Алания) // Вестник Владикавказского научного центра. — 2019. — Т. 19. — № 1. — С. 55—64. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.27285.

9. *Каменецкий Е. С., Радионов А. А., Тимченко В. Ю., Панаэтова О. С.* Математическое моделирование распределения химических веществ и твердой фазы хвостов, осаждающихся на горных склонах в районе Фиагдонского хвостохранилища РСО–Алания //

Устойчивое развитие горных территорий. — 2022. — Т. 14. — № 3. — С. 349—361. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-349-361.

10. *Кондратьев Ю. И.*, *Соколова О. А.*, *Аймбетова И. О.*, *Галачиева С. В.* Электрохимическое выщелачивание металлов с добавкой поверхностно-активного вещества под действием инфранизкочастотного тока // Устойчивое развитие горных территорий. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 591—598. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-591-598.

11. *Duszyński F., Migoń P., Strzelecki M. C.* Escarpment retreat in sedimentary tablelands and cuesta landscapes — Landforms, mechanisms and patterns // Earth-Science Reviews. 2019, vol. 196, article 102890. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.102890.

12. *Singh V. K.*, *Ansari T. A.*, *Vishal V., Singh T.* Landslide susceptibility analysis using numerical and neural network, Near Kedarnath, Uttarakhand, India // American Journal of Environmental Sciences. 2020, vol. 16, no. 1, pp. 8—20. DOI: 10.3844/ajessp.2020.8.20.

13. *Семячков А. И.*, *Почечун В. А.* Методологические основы оценки воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду // Устойчивое развитие горных территорий. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 215—223. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-215-223.

14. *Мальнева И. В.*, *Кононова Н. К.*, *Хаджиев М. М.* Техногенное воздействие на развитие опасных геологических процессов на территории Северного Кавказа // Жизнь Земли. — 2021. — Т. 43. — № 4. — С. 437—450. DOI: 10.29003/m2508.0514-7468.2020_43_4/437-450.

15. *Сашурин А. Д.*, *Мельник В. В.* Природно-техногенные катастрофы на горных предприятиях: истоки и пути предупреждения // Проблемы недропользования. — 2020. — № 4(27). — С. 4—13. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.005.

16. *Ganapathy G. P.*, *Zaalishvili V. B.*, *Chandrasekaran S. S.*, *Melkov D. A.* Integrated monitoring of slope processes in India and Russia // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 572—581. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-572-581.

17. *Корнилков С. В.*, *Антонинова Н. Ю.*, *Шубина Л. А.*, *Собенин А. В.* К вопросу об экологической реабилитации природной экосистемы, нарушенной при отработке Колыванского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3-1. — С. 465—474. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-465-474.

18. *Чотчаев Х. О.*, *Мельков Д. А.*, *Ганапати Г. П.* Активная динамика техногенного оползня на левом борту реки Ханикомдон (Северная Осетия) // Устойчивое развитие горных территорий. — 2021. — Т. 13. — № 1. — С. 66—76. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-66-76.

19. *Рысин И. И.*, *Голосов В. Н.*, *Григорьев И. И.*, *Зайцева М. Ю.* Влияние изменений климата на динамику темпов роста оврагов Вятско-Камского междуречья // Геоморфология. — 2017. — № 1. — С. 90—103. DOI: 10.15356/0435-4281-2017-1-90-103.

20. *Kulikova E. Yu.* Assessment of operating environment of concrete lining of sewage collector tunnels // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, vol. 687, no. 4, article 044035. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044035.

21. *Гурбанов А. Г.*, *Газеев В. М.*, *Лексин А. Б.*, *Гурбанова О. А.*, *Лолаев А. Б.*, *Оганесян А. Х.*, *Дзебоев С. О.* Оценка масштабов и степени негативного воздействия Фиагдонского хвостохранилища на экосистему // Вестник Владикавказского научного центра. — 2020. — Т. 20. — № 2. — С. 54—62. DOI: 10.46698/d5387-0147-5683-x.

22. *Kulikova E. Yu.*, *Balovtsev S. V.* Risk control system for the construction of urban underground structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 962, no. 4, article 042020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042020.

23. *Зверева В. П., Фролов К. Р., Лысенко А. И.* Формирование рудничных вод в Дальневосточном регионе России и их влияние на экосферу и здоровье населения // Горные науки и технологии. — 2022. — Т. 7. — № 3. — С. 203—215. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-3-203-215. ГИАБ

REFERENCES

1. Tsgoev T. F., Gridnev E. A. Monitoring of exogenous geological processes in the territory of Republic of North Ossetia Alania: status, problems and measures to prevent them. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2015, no. 3(13), pp. 56—61. [In Russ].

2. Melikhov M. V. Features of geoinformation space monitoring of mining natural-technical systems. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 12-1, pp. 29—41. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_29.

3. Kolesnikova O., Syrlybekkyzy S., Fediuk R, Yerzhanov A., Nadirov R., Utelbayeva A., Agabekova A., Latypova M., Chepelyan L., Volokitina I., Vatin N. I., Kolesnikov A., Amran M. Thermodynamic simulation of environmental and population protection by utilization of technogenic tailings of enrichment. *Materials*. 2022, vol. 15, no. 19, article 6980. DOI: 10.3390/ma15196980.

4. Strassburg B. B. *N*., Iribarrem A., Beyer H. L., Cordeiro C. L., Crouzeilles R., Jakovac C., Junqueira A. B., Lacerda E. R., Latawiec A., Balmford A., Brooks T., Butchart S. H. M., Chazdon R. L., Erb K.-H., Brancalion P. H. S., Buchanan G. M., Cooper H. D., Diaz S., Donald P. F., Kapos V., Leclère D., Miles L., Obersteiner M., Plutzar C., De Mattos Scaramuzza C. A., Scarano F. R., Visconti P. Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*. 2020, vol. 586, pp. 724—729. DOI: 10.1038/s41586-020-2784-9.

5. Klyuev R. V., Fomenko O. A., Gavrina O. A., Sokolov A. A., Sokolova O. A., Dzeranov B. V., Morgoev I. D., Zaseev S. G. Analysis of non-sinusoidal voltage at metallurgical enterprises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, vol. 663, no. 1, article 012032. DOI 10.1088/1757-899X/663/1/012032.

6. Sokolov A. A., Miroshnikov A. S., Sokolova E. A. Control algorithms for mining and metallurgical plant-ambient environment system stability. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 12, pp. 12—17. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.17.

7. Zvereva V. P., Frolov K. R., Lysenko A. I. Chemical reactions and conditions of mineral formation at tailings storage facilities of the Russian Far East. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, vol. 6, no. 3, pp. 181—191. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-3-181-191.

8. Gurbanov A. G., Leksin A. B., Gazeev V. M., Gurbanova O. A., Lolaev A. B., Tsukanova L. E., Ilaev V. E., Dzeboev S. O., Oganesyan A. Kh. Variations in the contents of macro- and microelements in vertical sections in industrial waste of the Fiagdon tailing dump (Republic of North Ossetia-Alania). *Vestnik of Vladikavkaz Scientific Centre*. 2019, vol. 19, no. 1, pp. 55—64. [In Russ]. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.27285.

9. Kamenetsky E. S., Radionoff A. A., Timchenko V. U., Panaetova O. S. Mathematical modeling of distribution of the chemicals and the solid phase of tailings deposited on the mountain gorge slopes near the Fiagdonskoye tailings, North Ossetia-Alania. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 3, pp. 349—361. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-349-361.

10. Kondratyev Y. I., Sokolova O. A., Aimbetova I. O., Galachieva S. V. Electrochemical metal leaching with added surfactant under the influence of infra-low-frequency current. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 4, pp. 591—598. DOI: [In Russ]. 10.21177/1998-4502-2021-13-4-591-598.

11. Duszyński F., Migoń P., Strzelecki M. C. Escarpment retreat in sedimentary tablelands and cuesta landscapes — Landforms, mechanisms and patterns. *Earth-Science Reviews*. 2019, vol. 196, article 102890. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.102890.

12. Singh V. K., Ansari T. A., Vishal V., Singh T. Landslide susceptibility analysis using numerical and neural network, Near Kedarnath, Uttarakhand, India. *American Journal of Environmental Sciences*. 2020, vol. 16, no. 1, pp. 8—20. DOI: 10.3844/ajessp.2020.8.20.

13. Semyachkov A. I., Pochechun V. A. Estimation methodology of mining industrial complexes impact on environment. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 2, pp. 215—223. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-215-223.

14. Malneva I. V., Kononova N. K., Hadzhiev M. M. The role of technogenic impact in the development of dangerous geological processes in the mountain regions of the Northern Caucasus. *The Life of the Earth*. 2021, vol. 43, no. 4, pp. 437—450. [In Russ]. DOI: 10.29003/m2508.0514-7468.2020_43_4/437-450.

15. Sashurin A. D., Melnik V. V. Natural and man-made disasters at mining enterprises: origins and ways of warning. *Problems of Subsoil Use*. 2020, no. 4(27), pp. 4—13. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.005.

16. Ganapathy G. P., Zaalishvili V. B., Chandrasekaran S. S., Melkov D. A. Integrated monitoring of slope processes in India and Russia. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, vol. 12, no. 4, pp. 572—581. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-572-581.

17. Kornilkov S. V., Antoninova N. Yu., Shubina L. A., Sobenin A. V. On the issue of ecological rehabilitation of the natural ecosystem disturbed during the development of the Kolyvan deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 3-1, pp. 465—474. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-465-474.

18. Chotchaev K. O., Melkov D. A., Ganapathy G. P. Active dynamics of technogenic landslide on the left board of the Khanikomdon river (North Ossetia). *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 1, pp. 66—76. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-66-76.

19. Rysin I. I., Golosov V. N., Grigoryev I. I., Zaitceva M. Yu. Influence of climate change on the rates of gully growth in the Vyatka-Kama watershed. *Geomorfologiya*. 2017, no. 1, pp. 90—103. [In Russ]. DOI: 10.15356/0435-4281-2017-1-90-103.

20. Kulikova E. Yu. Assessment of operating environment of concrete lining of sewage collector tunnels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, vol. 687, no. 4, article 044035. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044035.

21. Gurbanov A. G., Gazeev V. M., Leksin A. B., Gurbanova O. A., Lolaev A. B., Oganesyan A. H., Dzeboev S. O. The assessment of the scale and extent of the negative impact of the Fiagdon tailings dam on the ecosystem. *Vestnik of Vladikavkaz Scientific Centre*. 2020, vol. 20, no. 2, pp. 54—62. [In Russ]. DOI: 10.46698/d5387-0147-5683-x.

22. Kulikova E. Yu., Balovtsev S. V. Risk control system for the construction of urban underground structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 962, no. 4, article 042020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042020.

23. Zvereva V. P., Frolov K. R., Lysenko A. I. Formation of mine drainage in the Far Eastern region and its impact on the ecosphere and public health. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022, vol. 7, no. 3, pp. 203—215. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-3-203-215.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Маковозова Залина Элгуджаевна — канд. геол.-минерал. наук,
доцент, зав. кафедрой, Северо-Кавказский
горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)
e-mail: geologistik@bk.ru,
ORCID ID: 0009-0000-3555-4394,
Аксенова Мария Анатольевна — ассистент кафедры,
Филиал Южного федерального университета
в г. Геленджике, e-mail: maaksenova@sfedu.ru,
ORCID ID: 0009-0005-5482-4691,
Кесвани Четан — канд. биол. наук,
зав. лабораторией,
Южный федеральный университет,
e-mail: kesvani@sfedu.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2786-121X,

Умиров Бауыржан Зайтович — преподаватель,
Международный казахско-турецкий университет
имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан,
Республика Казахстан,
e-mail: bauyrzhan.umirov@ayu.edu.kz,
ORCID ID: 0000-0002-4584-8860.
Для контактов: Маковозова З.Э., e-mail: geologistik@bk.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Z.E. Makovozova, Cand. Sci. (Geol. Mineral.),
Assistant Professor, Head of Chair,
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy
(State Technological University),
362021, Vladikavkaz, Russia,
e-mail: geologistik@bk.ru,
ORCID ID: 0009-0000-3555-4394,
M.A. Aksenova, Assistant of Chair,
Branch of Southern Federal University
in Gelendzhik, Gelendzhik, Russia,
e-mail: maaksenova@sfedu.ru,
ORCID ID: 0009-0005-5482-4691,
Keswani Chetan, Cand. Sci. (Biol.),
Head of Laboratory,
Southern Federal University,
Rostov-on-Don, Russia,
e-mail: kesvani@sfedu.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2786-121X,
B.Z. Umirov, Lecturer,
Khoja Akhmet Yassawi International
Kazakh-Turkish University, Turkestan,
Republic of Kazakhstan,
E-mail: bauyrzhan.umirov@ayu.edu.kz,
ORCID ID: 0000-0002-4584-8860.
Corresponding author: Z.E. Makovozova, e-mail: geologistik@bk.ru.

Получена редакцией 29.04.2023; получена после рецензии 02.06.2023; принята к печати 10.06.2023.
Received by the editors 29.04.2023; received after the review 02.06.2023; accepted for printing 10.06.2023.