

УДК 622.272/275.34; 504.05/06:622.34

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОДРЕЧНЫХ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРУПА

Голик Владимир Иванович^{1,2},
v.i.golik@mail.ru

Габараев Олег Знаурович¹,
gabaraev59@mail.ru

Кожиев Хамби Хадзимурзович¹,
hambi@list.ru

Версильов Сергей Олегович³,
versilov@bk.ru

¹ Северо-Кавказский государственный технологический университет,
Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

² Московский политехнический университет,
Россия, 107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38.

³ Южно-Российский государственный политехнический университет,
Россия, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 13.

Актуальность: оценка возможности сохранения минерально-сырьевой базы предприятия путем минимизации запасов в охранных целиках под рекой Уруп с сохранением устойчивости земной поверхности.

Цель: определить и предложить оптимальные параметры технологий выемки руды в зоне влияния р. Уруп с сохранением земной поверхности под техногенным влиянием.

Объекты: земная поверхность, породные массивы и возводимые в выработанном очистном пространстве искусственные массивы из твердеющих смесей.

Методы: моделирование безопасных условий добычи руд из целиков в зоне влияния реки, осуществляемое с использованием комплекса известных и оригинальных лабораторных, аналитических и натурных методов. Определение закономерностей поведения водонасыщенных пород осуществляется лабораторно с имитацией процессов в подречных целиках, путем оценки феномена погружения целика в ослабленную водой почву очистной выработки.

Результаты. Определены количественные значения предельных для данных условий горизонтальных деформаций. Обоснована методика прогнозирования процесса сдвижения горных пород на базе расчетов. Разработана методика оценки возможности применения технологии сплошной выемки руды в зоне реки Уруп, исходя из допустимых деформаций земной поверхности и компрессии закладочных смесей. Экспериментально обоснована возможность и граничные условия выемки запасов целиков под рекой камерно-столбовой системой разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями с обеспечением сохранности земной поверхности. Рекомендованы мероприятия по обеспечению устойчивости обнажений очистных выработок в период между формированием очистных камер и их закладкой, по направлению развития очистных работ и по определению допустимых пролетов выработок.

Ключевые слова:

руда, целики, река, земная поверхность, водонасыщенные породы, деформации, очистные камеры.

Введение

Урупские медноколчеданные месторождения разрабатываются с 1968 г. Основной производственной единицей является Урупский рудник с проектной годовой производительностью в 700 тыс. т. Сложность эксплуатации месторождения обусловлена наличием структурно обособленных участков в пределах рудного поля – западного фланга, центральной части и восточного фланга. Западный фланг ограничен выклиниванием на севере и северо-западе и крупным тектоническим разломом на северо-востоке.

Достигнутая глубина очистных работ порядка 350–400 м, наличие безрудных зон, сложная гипсометрия залежи и сочетание камерно-столбовой системы, систем с закладкой выработанного пространства и обрушением руды и вмещающих пород привели к тому, что процесс сдвижения принял непрогнозируемый характер с нестационарным проявлением

полей напряжений, контролирующих состояние элементов систем разработок. Основной является поэтажная система с обрушением руды и вмещающих пород. В этих условиях основными задачами исследований стали задачи детализации конструктивных параметров системы по устойчивости и определения рационального развития горных работ [1–3].

Развитие горных работ в центральной части сдерживается наличием предохранительного целика под р. Уруп. Предельная глубина отработки с открытым выработанным пространством определена уровнем третьего горизонта, ниже которого запасы предохранительного целика отрабатываются системами с закладкой твердеющими смесями. Ввиду консервации запасов возрастают затраты на поддержание, поэтому актуализируются вопросы конструирования вариантов разработки запасов предохранительного целика.

Следствием углубления добычных работ являются динамические формы проявления горного давления, в частности горные удары, опасность которых возникает, как правило, при глубине 500 м.

При разработке водообильных объектов опасна связь между очистным пространством и водным объектом. Потеря несущей способности пород является действенным фактором при эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Вода омывает поверхность структурных породных блоков и, проникая них по трещинам, уменьшает прочность и ускоряет разрушение породной конструкции, провоцируя разгрузку напряжений в своде при обрушении пород в выработку [4–7].

Эффективное управление свойствами водообильных массивов нуждается в применении действенного геофизического контроля [8–11] и разработке новых методов моделирования и расчетов параметров технологий [12–14].

Проблемы разработки месторождений рассматриваемого типа связаны с проблемами охраны окружающей среды, поскольку поведение породных массивов под воздействием воды становится непредсказуемым [15–17].

Методика

Параметры сдвижения измеряют с целью установления закономерностей формирования опорного давления при системе с обрушением руд и пород с использованием комплекса лабораторных, аналитических и натуральных общепринятых и новых методов.

На исследуемом участке месторождения породы непосредственной кровли представлены кремнистыми сланцами, породы основной кровли слагают туфы среднего состава, а подстилающие породы сложены альбитофирами и их туфами, обладающими в окрестностях рудного тела пластичностью в силу рассланцованности и наличия каолина, хлорита, серицита. Поэтому породы почвы выработок весьма податливы.

Породы висячего бока менее податливы. В очистных выработках происходит пучение пород у целиков и обрушение налегающей толщи в отдельных случаях. Из этого можно заключить, что междукамерные целики, воспринимая горное давление, внедряются только в подстилающие породы.

Целью натурального эксперимента было исследование деформации геомеханической системы «камера–целик».

Участок на западном фланге месторождения был отработан камерно-столбовой системой разработки. Горно-геологические условия участка:

- рудное тело представлено сплошной рудой мощностью от 0,9 до 3,5 м;
- угол падения рудного тела в среднем 28° ;
- контакты рудного тела с вмещающими породами четкие.

Условия локализации руд на экспериментальном участке идентичны условиям на участке месторождения в пределах охранного контура целика под р. Уруп.

Сверхзадача эксперимента состояла в определении величины внедрения целика в породы почвы при насыщении их водой и увеличении давления на целик. Насыщение пород водой необходимо для того, чтобы воспроизвести по-

ведение насыщенных влагой закладочных смесей в отработанных камерах. Эта величина характеризует собой величину возможных деформаций пород кровли.

Увеличение давления на целик осуществлялось путем увеличения поддерживаемой им площади обнажения за счет удаления смежных с исследуемым целиков.

Подготовка к эксперименту включала в себя операции (рис. 1).



Рис. 1. Организация наблюдений за сдвижением пород
Fig. 1. Organization of observations of rock movement

Схема экспериментального участка представлена на рис. 2. Сущность эксперимента состояла в том, чтобы сопоставить положение реперов в целике 10 до и после извлечения целиков 8–11.

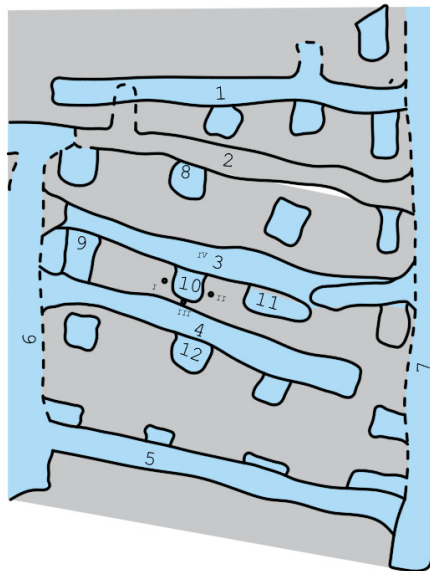


Рис. 2. План экспериментального блока: 1–5 – очистные штреки; 6, 7 – подготовительные восстающие; 8, 9, 11, 12 – извлекаемые целики; 10 – исследуемый целик; I–IV – штуты для реперов
Fig. 2. Plan of the experimental block: 1–5 – cleaning drifts; 6, 7 – preparatory rising; 8, 9, 11, 12 – recoverable targets; 10 – target under study; I–IV – holes for reference points

Схема оборудования базовой станции представлена на рис. 3.

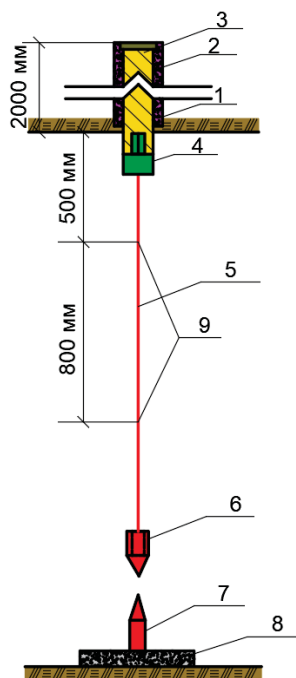


Рис. 3. Оборудование наблюдательной станции: 1 – скважина; 2 – бетонная смесь; 3 – железный стержень; 4 – крепление отвеса; 5 – трос; 6 – отвес; 7 – репер; 8 – бетонная площадка; 9 – разметки

Fig. 3. Equipment of the observation station: 1 – well; 2 – concrete mix; 3 – iron rod; 4 – mounting plumb line; 5 – cable; 6 – plumb line; 7 – survey plug; 8 – concrete platform; 9 – markings

На I этапе исследования определены вертикальные расстояния между реперами и горизонтальные расстояния от тросов отвесов до исследуемого целика. Второй цикл измерений осуществлен после оборудования измерительной станции – через месяц.

Результаты измерений отражены в табл. 1, где в числителе даны результаты по первому циклу измерений, в знаменателе – по второму циклу.

Таблица 1. Результаты исследований этапа I

Table 1. Results of Phase I studies

Отвесы/Plumb lines	h_1	h_2	h_2	L_1	L_2	L_3
1	500	800	710	310	330	308
			708	309	330	308
2	500	800	830	260	220	270
			829	260	219	270
3	500	800	1020	270	580	690
			1021	269	578	687
4	500	800	680	600	410	340
			679	600	412	345

На II этапе в трубы-штыри в почве очистных камер в течение двух месяцев подавалась вода без напора, создавая условия обводненности подстилающих пород. Результаты измерений представлены в табл. 2, в том числе, измерений, выполненных до пуска воды – в числителе и после прекращения подачи воды – в знаменателе.

Таблица 2. Результаты исследований этапа II

Table 2. Results of Phase II studies

Отвесы/Plumb lines	h_1	h_2	h_2	L_1	L_2	L_3
1	500	800	708	309	330	308
			707	309	331	308
2	500	800	829	260	219	270
			829	261	219	271
3	500	800	1021	269	578	687
			1019	268	579	682
4	500	800	679	600	412	345
			680	616	423	349

На III этапе были удалены целики 8–11. Схема организации и результаты измерений отклонения троса от первоначального положения приведены на рис. 4.

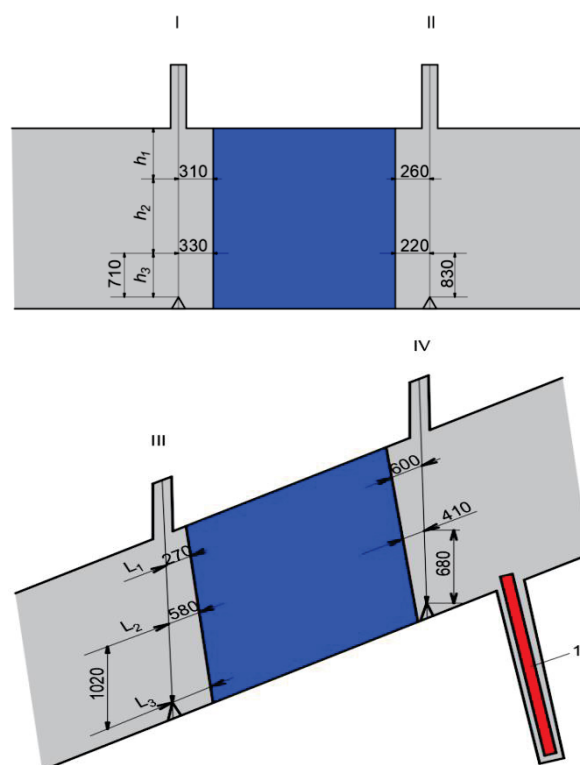


Рис. 4. Результаты измерений деформирования целика при обводнении пород и удаления целиков: L_1 – L_3 – отклонение отвеса, мм; h_1 – h_3 – интервал измерения по вертикали, см; 1 – ороситель

Fig. 4. Results of measurements of pillar deformation during watering of rocks and removal of the pillar: L^1 – L^3 – deviation of the plumb line, mm; h_1 – h_3 – vertical measurement interval, cm; 1 – sprinkler

Измерения выполнены через неделю (табл. 3).

Таблица 3. Результаты исследований этапа III

Table 3. Results of Phase III studies

Отвесы/Plumb lines	h_1	h_2	h_2	L_1	L_2	L_3
1	500	800	707	309	331	308
			704	308	331	309
2	500	800	829	261	219	271
			825	262	220	270
3	500	800	1019	268	579	682
			1018	269	571	679
4	500	800	680	616	423	349
			673	616	420	352

Результаты исследования поведения обводненных пород при увеличении горного давления на целик обобщены на рис. 5.

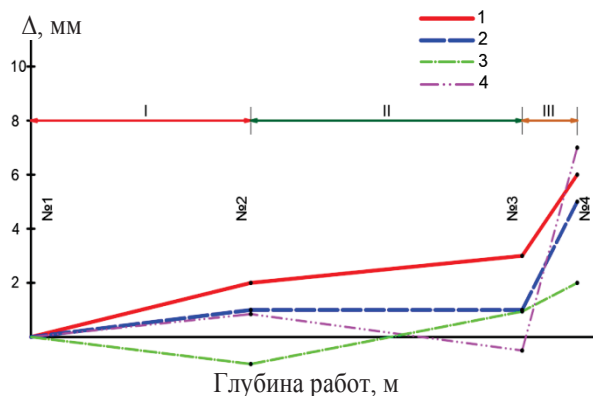


Рис. 5. Результаты моделирования поведения обводненных пород при увеличении давления на целик с глубиной: I – 100 м, II – 160 м, III – 340 м; №1–3 – номера измерений; 1–4 – графики развития деформаций

Fig. 5. Results of modeling the behavior of watered rocks with increasing pressure on the whole with a depth: I – 100 m, II – 160 m, III – 340 m; №1–3 – measurement numbers; 1–4 – graphs of deformation development

Анализ результатов измерений показывает, что в созданных условиях целик внедряется в обводненные породы почвы и сползает по ним в сторону падения залежи. При этом увеличение площади обнажения провоцирует обрушение налегающих пород, что объясняет необходимость заполнения выработанного пространства.

Результаты измерений динамики пород указывают на то, что феномен сдвижения налегающей толщи пород при наличии жестких опор состоит в их перемещении по нормали к залежи. Установлено, что при внедрении целика в разбухшие породы почвы кровля отработанных камер перемещается в выработанное пространство в направлении, близком к нормальному падению рудного тела. Таблицы позволяют определить величину сдвижения пород. В условиях эксперимента эта величина в отношении к высоте исследуемого целика, или к мощности рудного тела, составила 0,06.

Для оценки возможности применения технологической схемы, предусматривающей частичную выемку запасов из предохранительного целика под р. Уруп на уровне третьего горизонта с гидравлической закладкой выработанного пространства, выполняется расчет безопасной глубины разработки, ниже которой

горные работы можно осуществлять без дополнительных мер охраны. Безопасная глубина разработки для рассматриваемых условий зависит от мощности рудного тела и глинистых пород под водным объектом.

В подрабатываемой толще пород залегают глинистые наносы и прослой сланцев, отношение мощности которых к мощности всей толщи пород не превышает 5...10 %. Мощность же рудного тела в рамках рассматриваемой технологии заменяется приведенной мощностью, которая характеризуется величиной возможного перемещения пород кровли залежи в выработанное пространство и рассчитывается по формуле:

$$m_n^b = m \cdot \Delta = 0,12 \text{ м},$$

где m – максимальная мощность рудного тела на участке подработки, м; Δ – параметр, характеризующий величину перемещения пород кровли залежи, по результатам эксперимента $\Delta = 0,06$.

При $m = 5 \text{ м}$ $m_n^b = 5 \times 0,06 = 0,3 \text{ м}$.

В этих условиях безопасная глубина разработки для водных объектов составляет 60 м. Верхняя граница третьего горизонта располагается на глубине 80 м от земной поверхности. Результаты эксперимента свидетельствуют о необходимости применения для извлечения запасов предохранительного целика под р. Уруп технологии с частичной выемкой руды, формированием жестких поддерживающих целиков и полной закладкой выработанного пространства твердеющими смесями.

Результаты исследования коррелируют с выводами специалистов данного направления горного дела [18–20].

Заключение

Выемка руды сплошной выемкой руд с полной закладкой выработанного пространства или с частичной выемкой руд камерно-столбовой системой с рудными целиками и закладкой выработанного пространства обеспечивает сохранность земной поверхности при соблюдении определяемых для данного месторождения условий.

Параметры технологий выемки руды рассчитываются исходя из величины перемещения пород при условии неперевышения допустимых деформаций земной поверхности и усадки формируемого закладочного массива, характеризуемой коэффициентом компрессии.

Экспериментальные данные могут быть использованы при проектировании технологий для расконсервации целиков под рекой Уруп.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиев Н.Г., Пропп В.Д., Вандышев А.М. Горному факультету УГГУ исполнилось 100 лет // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2020. – № 8. – С. 130–143.
2. Уральский горный и Московский горный: взаимодействие университетов / А.В. Душин, Н.Г. Валиев, Ю.А. Лагунова, А.Г. Шорин // Горный журнал. – 2018. – № 4. – С. 4–10.
3. Renev A., Tsibaev S., Kalinin S. The evaluation of negative anthropogenic factors subjection on bolts stability and surrounding

- massif deformations // Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection: Proceedings of the 9th China-Russia Symposium. COAL 2018 // Advances in Engineering Research. – 2018. – V. 176. – P. 361–366.
4. Голик В.И. Геомеханические аспекты комбинирования технологий разработки месторождений Садоны // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 2. – С. 222–234.
5. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия отработки территорий горных филиалов шахт Восточного Донбасса / Н.М. Качурин, Г.В. Стас, Т.В. Корчагина, М.В. Змеев //

- Известия Тульского государственного университета. Серия Наук о Земле. – 2017. – Вып. 1. – С. 170–182.
6. Bertuzzi R. Back analysing rock mass modulus from monitoring data of two tunnels in Sydney, Australia // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2018. – V. 10 (1). – P. 195–196.
 7. Клюев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В. Комплексный анализ генетических особенностей минерального вещества и технологических свойств полезных компонентов Джекказганского месторождения // *Устойчивое развитие горных территорий*. – 2019. – Т. 11. – № 3 (41). – С. 321–330.
 8. Комашенко В.И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. – 2015. – № 4. – С. 23–30.
 9. Gell E.M., Walley S.M., Braithwaite C.H. Review of the validity of the use of artificial specimens for characterizing the mechanical properties of rocks // *Rock Mechanics and rock Engineering* – 2019. – № 3. – P. 1–13.
 10. The surface wave attenuation as the effect of vibratory compaction of building embankments / A. Herbut, M. Khairutdinov, C. Kongar-Syuryun, J. Rybak // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – V. 362. – Article 012131.
 11. Ловчиков А.В. Новая концепция механизма горно-тектонических ударов и других динамических явлений для условий рудных месторождений // *Горные науки и технологии*. – 2020. – № 5 (1). – С. 30–38.
 12. Моделирование подпорной стенки насыпи методом конечных элементов / С.А. Масленников, В.А. Дмитриенко, Т.А. Долуглу, К.С. Яковлева // *Инженерный вестник Дона*. – 2015. – № 3. – С. 23–30.
 13. Влияние добычи полезных ископаемых на окружающую среду на территории Северной Осетии / О.Г. Бурдзиева, В.Б. Заалишвили, О.Г. Бериев, А.С. Кануков, М.В. Майсурадзе // *Международный журнал ГЕОМАТ*. – 2016. – Т. 10 (1). – С. 1693–1697.
 14. Acoustic emission monitoring technology for coal and gas outbursts / Jiangong Li, Qianting Hu, Minggao Yu, Xuelong Li, Jie Hu, Huiming Yang // *Energy Science & Engineering*. – 2019. – V. 7. – Iss. 2. – P. 443–456.
 15. История и перспективы развития ресурсной базы / В.И. Голик, Х.Х. Кожиев, Н.М. Качурин, М.Ю. Шамрин // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. – 2022. – № 3. – С. 121–132.
 16. Mining-induced ground deformation in tectonic stress metal mines: a case study / Kaizong Xia, Congxin Chen, Hua Fu, Yucong Pan, Yangyang Deng // *Engineering Geology*. – 2016. – V. 210. – P. 212–230.
 17. Экологические особенности добычи руд в горах Кавказа / В.И. Голик, Н.Г.О. Валиев, А.А. Белодедов, С.О. Версилов // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. – 2022. – № 2. – С. 3–13.
 18. Bagińska I., Kawa M., Janecki W. Estimation of spatial variability of lignite mine dumping ground soil properties using CPTu results // *Studia Geotechnica et Mechanica*. – 2016. – V. 38. – № 1. – P. 3–13.
 19. Utilization of mineral waste: a method for expanding the mineral resource base of a mining and smelting company / J. Rybak, S. Gorbatyuk, K. Bujanovna-Syuryun, A. Khairutdinov, Y. Tyulyaeva, P. Makarov // *Metallurgist*. – 2021. – V. 64. – P. 851–861.
 20. Пространственно-временные задачи геоэкологии – междисциплинарный подход / В.С. Бригида, Х.Х. Кожиев, А.А. Сарян, А.К. Джиева // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2020. – № 4. – С. 20–32.

Поступила 31.03.2022 г.

Прошла рецензирование 10.10.2022 г.

Информация об авторах

Голик В.И., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета; профессор кафедры металлургии Московского политехнического университета.

Габараев О.З., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета.

Кожиев Х.Х., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета.

Версилов С.О., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Южно-Российского государственного политехнического университета.

UDC 622.272/275.34; 504.05/06:622.34

INVESTIGATION OF GEOMECHANICAL SYSTEM DEFORMATION IN EXPLORATION OF UNDER RIVER STOCKS URUP DEPOSITS

Vladimir I. Golik^{1,2},
v.i.golik@mail.ru

Oleg Z. Gabaraev¹,
gabaraev59@mail.ru

Khambi H. Kozhiev¹,
hambi@list.ru

Sergey O. Versilov³,
versilov@bk.ru

¹ North Caucasus State Technological University,
44, Nikolaev street, Vladikavkaz, 362021, Russia.

² Moscow Polytechnic University,
38, B. Semenovskaya street, Moscow, 107023, Russia.

³ South Russian State Polytechnic University,
13, Prosveshcheniya street, Novocherkassk, 346428, Russia.

Relevance: assessment of the possibility of preserving the mineral resource base of the enterprise by minimizing the reserves in the security areas under the Urup River while maintaining the stability of the Earth's surface.

Objective: to determine and propose the optimal parameters of ore extraction technologies in the zone of influence of the Urup River with the preservation of the earth's surface under technogenic influence.

Objects: the Earth's surface, native massifs and artificial massifs made of hardening mixtures erected in the developed treatment space.

Methods: modeling of safe conditions for the extraction of ores from pillars in the zone of influence of the river, carried out using a complex of well-known and original laboratory, analytical and field methods. Determination of the patterns of behavior of water-saturated rocks is carried out in the laboratory with imitation of processes in riverine pillar, by assessing the phenomenon of immersion of the pillar in the water-weakened soil of the treatment work.

Results. Quantitative values of horizontal deformations limiting for these conditions are determined. The method of forecasting the process of rock movement based on calculations is substantiated. A methodology was developed to assess the possibility of applying the technology of continuous ore extraction in the Urup River zone, based on the permissible deformations of the Earth's surface and compression of the laying mixtures. The authors experimentally justified possibility and boundary conditions of dredging of stocks of pillars under the river by the pillar-and-room development system with the laying of the worked-out space with solid mixtures to ensure the safety of the Earth's surface. Measures are recommended to ensure the stability of the outcrops of the treatment workings in the period between the formation of the treatment chambers and their laying, on the direction of development of the treatment works and to determine the permissible spans of the workings.

Key words:

ore, pillar, river, earth's surface, water-saturated rocks, deformations, purification chambers.

REFERENCES

1. Valiev N.G., Propp V.D., Vandyshev A.M. The Mining Faculty of UGSU celebrates centenary. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*, 2020, no. 8, pp. 130–143. In Rus.
2. Dushin A.V., Valiev N.G., Lagunova Yu.A., Shorin A.G. Ural Mining and Moscow Mining: interaction of universities. *Gornyy zhurnal*, 2018, no. 4, pp. 4–10. In Rus.
3. Renev A., Tsibaev S., Kalinin S. The evaluation of negative anthropogenic factors subject on bolts stability and surrounding massif deformations. *Proceedings of the 9th China-Russia Symposium. Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection. COAL 2018. Advances in Engineering Research*, 2018, vol. 176, pp. 361–366.
4. Golik V.I. Geomechanical aspects of combining technologies for the development of Sadon deposits. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauk o Zemle*, 2022, no. 2, pp. 222–234.
5. Kachurin N.M., Stas G.V., Korzhagina T.V., Zmeev M.V. Geomechanical and aerogasodynamic consequences of mining the territories of the mining branches of the mines of Eastern Donbass. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauk o Zemle*, 2017, Iss. 1, pp. 170–182. In Rus.
6. Bertuzzi R. Backanalysing rock mass modulus from monitoring data of two tunnels in Sydney, Australia. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2018, vol. 10 (1), pp. 195–196.
7. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V. Comprehensive analysis of the genetic features of the mineral substance and technological properties of the useful components of the Dzhezkazgan deposit. *Ustoychivoe razvitie gornykh territoriy*, 2019, vol. 11, no. 3 (41), pp. 321–330. In Rus.
8. Komashchenko V.I. Ecological and economic feasibility of utilization of mining waste for the purpose of their processing. *Izvestiya Tula State University. Earth sciences*, 2015, no. 4, pp. 23–30. In Rus.
9. Gell E.M., Walley S.M., Braithwaite C.H. Review of the Validity of the Use of Artificial Specimens for Characterizing the Mechanical Properties of Rocks. *Rock Mechanics and rock Engineering*, 2019, no. 3, pp. 1–13.
10. Herbut A., Khairutdinov M., Kongar-Syuryun C., Rybak J. The surface wave attenuation as the effect of vibratory compaction of building. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 362, Article 012131.
11. Lovchikov A.V. A new concept of the mechanism of mining-tectonic impacts and other dynamic phenomena for the conditions

- of ore deposits. *Mining sciences and technologies*, 2020, no. 5 (1), pp. 30–38. In Rus.
12. Maslennikov S.A., Dmitrienko V.A., Doluglu T.A., Yakovleva K.S. Modeling of the retaining wall of the embankment by the finite element method. *Inzhenerny vestnik Dona*, 2015, no. 3, pp. 23–30. In Rus.
 13. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Majsuradze M.V. The impact of mining on the environment in the territory of North Ossetia. *Mezhdunarodny zhurnal GEOMAT*, 2016, no. 10 (1), pp. 1693–1697. In Rus.
 14. Jiangong Li, Qianting Hu, Minggao Yu, Xuelong Li, Jie Hu, Huiming Yang. Acoustic emission monitoring technology for coal and gas outbursts. *Energy Science & Engineering*, 2019, vol. 7, Iss. 2, pp. 443–456.
 15. Golik V.I., Kojiev H.H., Kachurin N.M., Shamrin M.Yu. History and prospects of resource base development. *Izvestiya Tula State University. Earth sciences*, 2022, no. 3, pp. 121–132.
 16. Kaizong Xia, Congxin Chen, Hua Fu, Yucong Pan, Yangyang Deng. Mining-induced ground deformation in tectonic stress metal mines: a case study. *Engineering Geology*, 2016, vol. 210, pp. 212–230.
 17. Golik V.I., Valiev N.G.O., Belodedov A.A., Versilov S.O. Ecological features of ore mining in the Caucasus mountains. *Izvestiya Tula State University. Earth sciences*, 2022, no. 2, pp. 3–13.
 18. Bagińska I., Kawa M., Janecki W. Estimation of spatial variability of lignite mine dumping ground soil properties using CPTu results. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 2016, vol. 38, no. 1, pp. 3–13.
 19. Rybak J., Gorbatyuk S., Buyanovna-Syuryun K., Khairutdinov A., Tyulyaeva Y., Makarov P. Utilization of mineral waste: a method for expanding the mineral resource base of a mining and smelting company. *Metallurgist*, 2021, vol. 64, pp. 851–861. In Rus.
 20. Brigida V.S., Kozhiev H.H., Saryan A.A., Dzhioeva A.K. Spatial and temporal problems of geocology – an interdisciplinary approach. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2020, no. 4, pp. 20–32. In Rus.

*Received: 31 March 2022.
Reviewed: 10 October 2022.*

Information about the authors

Vladimir I. Golik, Dr. Sc., professor, North Caucasus State Technological University; professor, Moscow Polytechnic University.

Oleg Z. Gabaraev, Dr. Sc., professor, North Caucasus State Technological University.

Khambi H. Kozhiev, Dr. Sc., professor, North Caucasus State Technological University.

Sergey O. Versilov, Dr. Sc., professor, South Russian State Polytechnic University.