ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(11-1):40—50
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.861 + 622.014.2 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_111_0_40

ЗАКОНОМЕРНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Н.Г. Валиев[1], В.И. Голик[2,3], В.Д. Пропп[1], А.И. Болгова[4], М.С. Овсянников[4]

[1] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия, office@ursmu.ru;
[2] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный техноло-гический университет), 362021, г. Владикавказ, Россия, v.i.golik@mail.ru;
[3] Московский политехнический университет, Москва, Россия
[4] Тульский государственный университет, Тула, Россия

Аннотация: целью работы является снижение геодинамической опасности при эксплуатации технологических объектов в верхнем слое литосферы путем оценки состояния массивов, обозначения тектонически напряженных зон и других параметров. Исследования осуществляются комплексным методом, включающим обобщение и анализ литературных источников, результаты натурных и лабораторных исследований, а также инженерное прогнозирование. Массив дифференцирован на зоны разрушения. Показано, что управление состоянием массива путем регулирования напряжений сводится к прогнозу поведения пород при экстремальной нагрузке природно-техногенного характера. Охарактеризованы способы определения параметров зон повышенных напряжений. Разработана схема геофизического мониторинга массива. Выполнен анализ взаимодействия факторов при эксплуатации полиметаллического месторождения с использованием инженерно-геологической модели и результатов измерения напряжений в породах. Предложен интегральный критерий эколого-экономической эффективности управления массивом. Показателем техногенного воздействия на массив является уровень напряжений, величина которого корректируется изменением характера и скорости высвобождения энергии породного массива. Поведение пород адекватно способствует реализации экоориентированных управленческих процессов и описывается моделями, построенными на базе сведений о конкретном месторождении.

Ключевые слова: Экология, геодинамическая опасность, технологический объект, напряжения, исследование, зона разрушения, управление, геофизический мониторинг, породный массив.

Для цитирования: *Валиев Н.Г., Голик В.И., Пропп В.Д., Болгова А.И., Овсянников М.С.* Закономерности управления процессами охраны окружающей среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 11-1. — С. 40—50. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_111_0_40.

Regularities of environmental protection process management

N.G. Valiev[1], V.I. Golik[2,3], V.D. Propp[1], A.I. Bolgova[4], M.S. Ovsyannikov[4]

[1] Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia;
[2] North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia, v.i.golik@mail.ru;
[3] Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia;
[4] Tula State University, Tula, Russia

© Валиев Н.Г.1, Голик В.И.2, Пропп В.Д.1, Болгова А.И.3, Овсянников М.С.. 2022

Abstract: The aim of the work is to reduce geodynamic hazards during the operation of technological objects in the upper layer of the lithosphere by assessing the state of massifs, designating tectonically stressed zones and other parameters. The research is carried out by a complex method, including generalization and analysis of literary sources, the results of field and laboratory studies, as well as engineering forecasting. The array is differentiated into destruction zones. It is shown that controlling the state of the massif by regulating the stress level is reduced to predicting the behavior of rocks under extreme loads of a natural and man-made nature. The methods of determining the parameters of the zones of increased stress are characterized. A scheme of geophysical monitoring by an array has been developed. The analysis of the interaction of factors during the operation of a polymetallic deposit with the use of an engineering-geological model and the results of measuring stresses in the rocks is carried out. An integral criterion of ecological and economic efficiency of array management is proposed. An indicator of the technogenic impact on the massif is the level of stresses, the value of which is adjusted by changing the nature and speed of the energy release of the rock massif. The behavior of rocks adequately contributes to the implementation of eco-oriented management processes and is described by models based on information about a specific deposit.

Key words: Ecology, geodynamic hazard, technological object, stresses, research, destruction zone, management, geophysical monitoring, rock mass.

For citation: Valiev N. G.1, Golik V. I.2,3, Propp V. D.1, Bolgova A. I.1, Ovsyannikov M. S.1 Regularities of environmental protection process management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(11-1):40–50. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_111_0_40.

Введение

Интенсивное освоение верхних слоев литосферы увеличивает масштабы воздействие человека на сферы окружающей среды, изменяя природные условия [1–3].

Исследования последних лет свидетельствуют о связи чрезвычайных ситуаций и природных катастроф с техногенно изменяющейся геомеханической обстановкой, поэтому исследования, связанные с прогнозом и предупреждением техногенных и природных явлений геодинамического характера, являются актуальными и своевременными [4–6].

Отличительной особенностью напряженно-деформированных скальных массивов является зависимость их поведения от взаимодействия природных и техногенных напряжений, которые проявляются в местах сочленения разрывных структур и с неоднородностями рудовмещающих массивов.

Критериями устойчивости массивов являются соотношение размеров и ориентировки техногенных нарушений, интенсивность развития разрывных нарушений, а также характер и степень заполнения трещин материалом (рис. 1).

Общепринято, что абсолютная величина напряжений подчиняется закону Гейма-Шевякова, но в практике это подтверждается не всегда.

Техногенное вмешательство в скальные массивы вызывает реакцию их в форме деформаций. Во вмещающих породах коэффициент структурного ослабления снижается.

Горнотехнические сооружения находятся в поле напряжений и перемещений, вызванных воздействием естественных и техногенных факторов.

Целью исследования является снижение геодинамической опасности при эксплуатации технологических объектов в верхнем слое литосферы путем оценки состояния массивов, обозначения тектонически напряженных зон и других параметров.

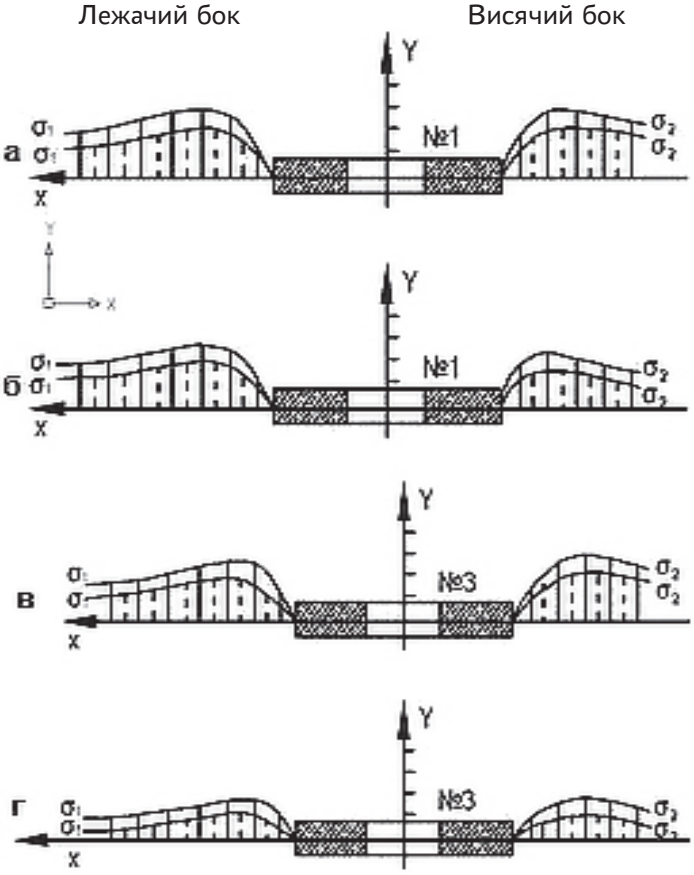

Рис. 1. Эпюры напряжений (максимум и минимум) в окрестностях очистной выработки: а — без заполнения; *б —* с заполнением дискретным материалом; *в —* с заполнением твердеющими смесями малой прочности; *г —* с заполнением прочными твердеющими смесями

Fig. 1. Stress plots (maximum and minimum) in the vicinity of the treatment mine: а — without filling; *б —* with filling with discrete material; *в —* with filling with hardening mixtures of low strength; *г —* with filling with strong hardening mixtures

Методика

Исследования включают в себя обобщение и анализ литературных источников, результаты натурных и лабораторных опытов, а также инженерное прогнозирование (рис. 2).

Результатом исследований является выделение иерархических уровней действующих напряжений, описание состояния массивов, определение положения зон ослабленности пород и степени геодинамической опасности участка литосферы [7–9].

Методы исследования процессов в массиве включают в себя изучение геодинамических и инженерно-геологических особенностей района в лабораторных и натурных условиях и изменение параметров массива при техногенном вмешательстве.

Результаты

Состояние скальных массивов описывается уровнем, скорее, напряженного, чем деформированного состояния. Массив не разрушается до тех пор,

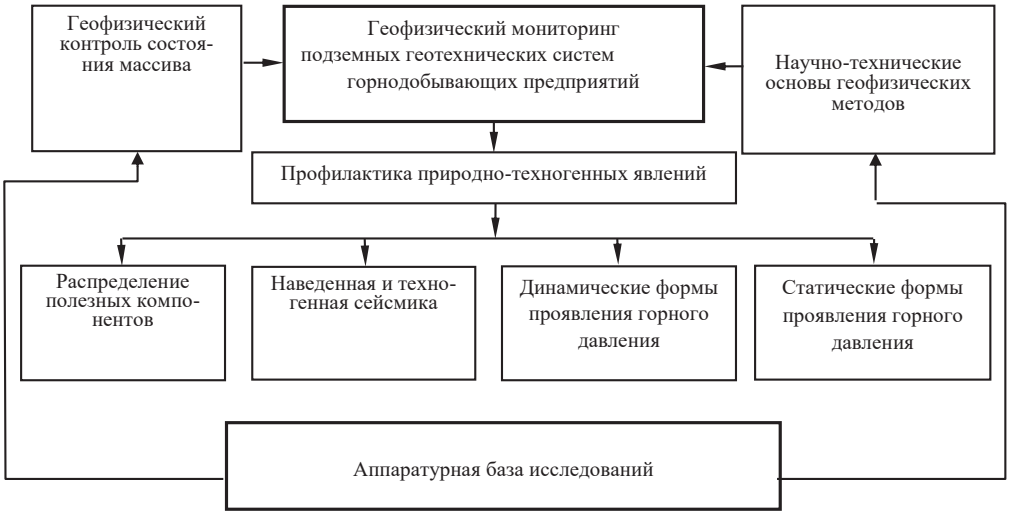

Рис. 2. Структура геофизических исследований
Fig. 2. The structure of geophysical research

пока при горных работах с использованием мощной техники или взрывных работ величина заданных деформаций не превышается.

В глубине массива компоненты главных напряжений находятся в состоянии обобщенного сжатия:

$$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 ,$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — главные напряжения по осям x, y, z, соответственно, МПа,

При приближении к зоне крупного тектонического разлома напряжений увеличиваются:

$$(\sigma_1 + \sigma_3)\mu,$$

где μ – модуль жесткости пород.

Компоненты напряжений находятся в соотношении:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

при μ_σ = 0,5 соответствующем состоянию сдвига.

Сохранность земной поверхности обеспечивается при условии:

$$H_м \le \eta H_п ,$$

где $H_м$ — глубина от верхней границы объекта до поверхности, м; $H_п$ – высота зоны влияния объекта по вертикали, м; η – коэффициент запаса.

В общем случае высота зоны обрушения определяется по ВНИМИ:

$$H^1 > h_{ос} = \frac{V_2}{(K_p - 1)S_{пл}} ,$$

где H^1 — глубина верхней границы объекта от поверхности, м; $h_{ос}$ — высота зоны сдвижений, м; V_2 — объем техногенного воздействия, м^3; $S_{пл}$ — площадь пустот, м^2; $K_р$ — коэффициент разрыхления.

Условие устойчивости земной поверхности:

$$H^1 > H^1_p = K_1 \ell_{экв} ,$$

где H^1 — фактическая глубина техногенных пустот, м; H^1_p — расчетная глубина, при которой поверхность устойчива, м; K_1 — коэффициент, учитывающий свойства горных пород.

Зоны дробления могут выйти на земную поверхность, если нарушается условие:

$$H^1 > \frac{5S_p \sin\alpha_H}{m_H},$$

где H^1 — глубина верхней границы разлома, м; $S_р$ — площадь пустот, м^2; $\alpha_н$ — угол падения нарушения, град; $m_н$ — мощность зоны дробления и рассланцевания, м.

Внутреннее поле напряжений структурных отдельностей массива связано с внешним полем напряжений зависимостью:

$$\sigma_{пор.} = [\sigma_{мас.} f S_p(1...n)\ T] k_{геол.},$$

где $s_{пор.}$ — поле напряжений пород; $s_{мас.}$ — поле напряжений массива; T — тензоры упругих модулей неоднородностей; $k_{геол.}$ — коэффициент дискретности; n — количество обследованных участков.

В массиве сосуществуют три зоны разрушений, различающиеся величиной напряжений. В окрестностях выработок формируются подзоны разгрузки и концентрации напряжений (рис. 3):

Параметры напряженно-деформированного состояния массива изменяются в пределах участка литосферы высотой:

$$H_{ндс} = h_p + h_o + h_н,$$

где h_h, $h_о$ и $h_н$, соответственно, высоты зон разрушенных, ослабленных и нетронутых пород, м.

Управление напряженно-деформированным состоянием массивов заключается в создании условий:

$$[\sigma_{н.м}] < \sigma^{ост} < [\sigma^{ост}]_{крит},$$

где $[\sigma^{ост}]_{крит}$ — критические напряжения в нарушенных породах.

При прочих равных условиях напряжения в массиве зависят от одновременно действующих переменных факторов:

$$\sigma_{техн} = f(t, k_t, n_n),$$

где t — время; k_t — коэффициент совпадения работ во времени; $П_n$ — параметры технологического воздействия.

Анализ и обсуждение

Управление состоянием массива регулированием уровня напряжений сводится к прогнозу поведения пород при экстремальной нагрузке.

Высота зоны распространения критических напряжений:

$$H = f[\sigma]^{ост}_{крит} > h_{техн} = f[\sigma]_{техн},$$

где $h_{техн}$ — высота зоны техногенного влияния, м;

$$h_{техн} = \int_{min}^{max} fV \int_{min}^{max} fS \int_{min}^{max} fm,,$$

где H — высота зоны деформаций под влиянием критических напряжений, м;

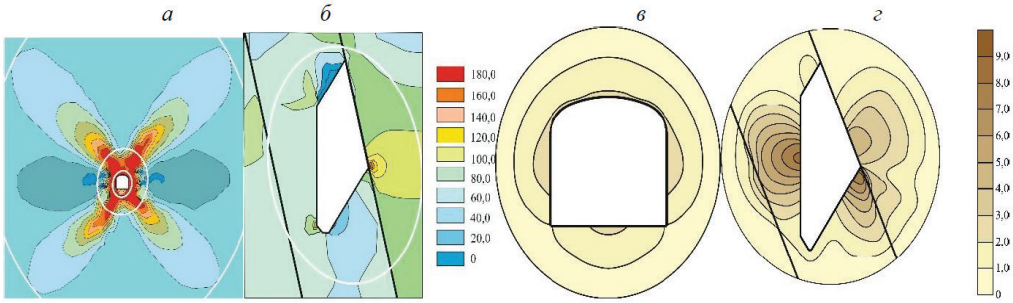

Рис. 3. Формирование зон разгрузки и концентрации напряжений вокруг выработок: а, в — подготовительных; *б, г —* очистных камер

Fig. 3. Formation of zones of unloading and stress concentration in the circle of workings: а, в — preparatory; *б, г —* cleaning chambers

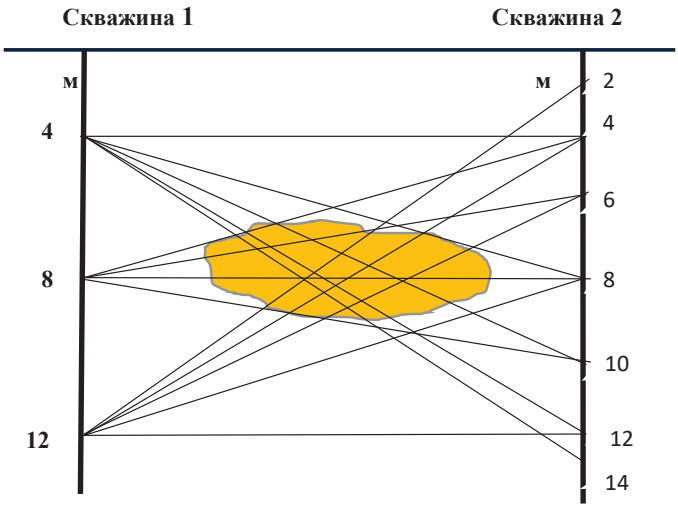

Рис. 4. Измерение параметров зон напряжений в массиве
Fig. 4. Measurement of parameters of stress zones in the array

S — площадь ослабления, м^2; *m* — мощность пород по нормали, м.

Максимальные значения трещиноватости соответствуют более нарушенным областям массива, что позволяет определить положение зоны повышенных напряжений в массиве, например, методом прозвучивания в скважинах (рис. 4).

Для определения вертикальных блоковых границ массива анализируют данные разведочного бурения и диаграммы каротажа скважин и строят блок-диаграмму с вынесенной границей тектонического блока.

Безопасные условия разработки месторождения обеспечиваются геофизическим мониторингом управления массивом (рис. 5).

Исследования дают возможность оценить:

– изменение состояния массива по изменению кажущегося сопротивления пород;

– падение сопротивления перед деформированием;

– характер и амплитуду изменения кажущегося сопротивления;

– состояние приконтурного массива.

С целью пояснения механизма поведения экосистем выполнен анализ взаимодействия факторов при эксплуатации месторождений Садонского полиметаллического месторождения (РСО-Алания):

– в техногенных пустотах процессы природного выщелачивания 2 млн. тонн потерянных руд выносят в биосферу растворы мобильных металлов;

– природному выщелачиванию подвергаются 10 млн т хвостов обогащения и металлургии в хранилищах;

– загрязнение почв металлами превышает фоновую концентрацию на 2 порядка.

При районировании Садонского месторождения по геодинамическому признаку составлена его инженерно-геологическая характеристика (табл. 1).

В массивах Садона напряжения сопоставимы с критическими значениями, что подтверждается результатами измерения скорости волн в ослабленном массиве и в целике (табл. 2).

При разработке месторождения разрушение массива предотвращала происходящая на участках тектонических

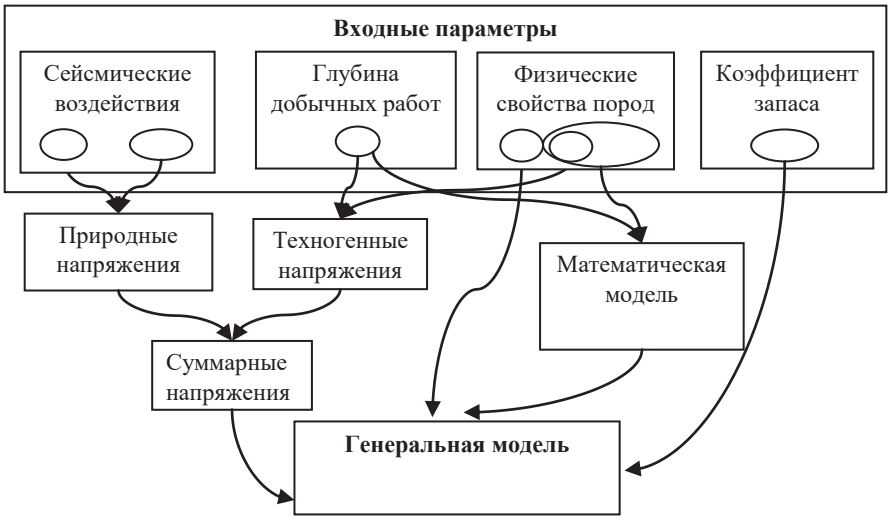

Рис. 5. Генеральная модель управления геодинамикой массива
Fig. 5. General model of array hemodynamics management

нарушений разгрузка напряжений. Деформирование пород с выходом зон обрушения на поверхность имело место в практике разработки месторождения.

Экологическая эффективность снижения геодинамической опасности при эксплуатации технологических объектов определяется сравнением затрат на компенсацию ущерба окружающей среде при базовом варианте с неуправляемым природным выщелачиванием в незаложенных пустотах и новом варианте с извлечением металлов в рамках замкнутого технологического цикла [10–13].

Интегральный критерий эколого-экономической эффективности управления массивом:

$$K_и = \int_1^n fx(dx_1, dx_2, ..., dx_n),$$

где n – количество добываемых минеральных ресурсов; x_1 , x_2 ... x_n – технологические, экологические, экономические и другие природные и техногенные факторы.

Таблица 1
Инженерно-геологическая характеристика массива
Engineering and geological characteristics of the massif

Элементы	Минералого-петрографический тип	Прочность, МПа	Размеры блоков, м	Коэффициент ослабления
Сопряжение разломов с зоной	Сланцы, алевролиты, известняки, песчаники, конгломераты	43	0,4 x 0,4	0,27
Граница с крупными нарушениями	Граниты, вулканиты, алевролиты, конгломераты	58	0,6 x 0,4	0,33
Внутренние части участков	Граниты, порфириты, вулканиты, песчаники.	67	1,2 x 1,0	0,52

Таблица 2
Результаты измерения напряжений
Results of stress measurement in rocks

Участки	Скорость продольной волны, м/с	Скорость поперечной волны, м/с	Напряжения, МПа	Коэффициент Пуассона
1	5800	3950	9,9	0,26
2	5600	3800	7,2	0,25
3	5100	3650	6,7	0,18
4	5200	3700	7,9	0,24
5	5300	3900	9,6	0,21

Результаты исследования управления процессами охраны окружающей среды согласуются с выводами зарубежных специалистов, в том числе, по управлению массивом [14, 17], по проектированию систем разработки [15, 16], по экологическим [18, 19] и по экономико-правовым вопросам [20], по оценке ведения работ в условиях тектонически-напряженных зон [21].

Выводы

При подземной разработке скальных руд уровень напряжений в рудовмещающих массивах корректируется изменением характера и скорости высвобождения энергии путем опережающей разгрузки напряжений.

Поведение пород при экстремальной нагрузке адекватно определяется их свойствами, технологией и временем воздействия, что способствует реализации эко ориентированных мероприятий.

Управление процессами техногенного воздействия на окружающую среду описывается моделями, построенными на базе сведения о компонентах геосистемы конкретного месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валиев Н. Г.*, *Пропп В. Д.*, *Вандышев А. М.* Кафедре горного дела УГГУ — 100 лет // Известия высших учебных заведений. – Горный журнал. – 2020. – № 8. – С. 130–143.
2. *Душин А. В.*, *Валиев Н. Г.*, *Лагунова Ю. А.*, *Шорин А. Г.* Уральский горный и московский горный: взаимодействие вузов // Горный журнал. – 2018. –№ 4. – С. 4–10.
3. Zaalishvili, V. B., Melkov, D. A., Dzeranov, B. V., Morozov, F. S., Tuaev, G. E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. International Journal of GEOMATE, 2018, 15 (47), pp. 158–163.
4. *Версилов С. О.*, *Версилова Е. С.* Определение рациональных размеров рудных целиков при применении природоохранных технологий выемки наклонных рудных тел // В сборнике: Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. – 2016. – С. 193–194.
5. *Валиев Н. Г.*, *Беркович В. Х.*, *Пропп В. Д.*, *Кокарев К. В.* Проблемы отработки предохранительных целиков при эксплуатации рудных месторождений // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. –2018. –№ 2. – С. 4–9. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-2-4-9.
6. *Ляшенко В. И.* Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. – 2015. – № 1. – С.10–15.

7. *Чотчаев Х. О.*, *Бурдзиева О. Г.*, *Заалишвили В. Б.* Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий // Геология и геофизика Юга России. – 2020. –10 (4). – С. 70—100.

8. *Ляшенко В. И.* Развитие геомеханического мониторинга свойств и состояния массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры// Маркшейдерский вестник. – 2016. – № 1. – С. 35–43.

9.*Ляшенко В. И.* Научно-технические предпосылки повышения экологической безопасности в горнодобывающем регионе // Черная металлургия. – 2015. – № 1. – С. 21–30.

10. *Голик В. И.*, *Комащенко В. И.*, *Качурин Н. М.* К проблеме подземной разработки рудных месторождений центрального федерального округа // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. –№ 4. С. 127–139. .

11. *Бригида В. С.*, *Кожиев Х. Х.*, *Сарян А. А.*, *Джиоева А. К.* Пространственно-временные задачи геоэкологии — междисциплинарный подход // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 4. — С. 20–32. DOI: 10.25018/0236–14932020–4-0–20–32.

12. *Бурмистров К. В.*, *Осинцев Н. А.* Принципы устойчивого развития горно-технических систем в переходные периоды // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. –2020. –Т. 331. – № 4. – С.179–195. https://doi.org/10.18799/24131830/2020/4/2606.

13. *Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В.* Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса // Известия Тульского государственного университета. Сер. Науки о Земле. – Вып. 1. –2017. –С. 170–182.

14. *Aizhong Lu, Ning Zhang, Guisen Zeng* An extension failure criterion for brittle rock. Deep Rock Behaviour in Engineering Environments. 2020, vol. 8, pp. 1–12. DOI:10.1155/2020/8891248.

15. *Domingues Maria S. Q.*, *Baptista Adelina L. F.*, *Diogo Miguel Tato*. Engineering complex systems applied to risk management in the mining industry // International Journal of Mining Science and Technology. 2017, Volume 27. pp. 611–616. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.007.

16. *Espinoza R. D.*, *Rojo J.* Towards sustainable mining (Part I): Valuing investment opportunities in the mining sector // Resources Policy. 2017. Vol. 52. pp. 7—18. DOI:10.1016/j.resourpol.2017.01.011.

17. *Huang P.*, *Zhang J.*, *Spearing A. J.* S., *Li M.*, *Yan X.*, *Liu S.* Deformation response of roof in solid backfilling coal mining based on viscoelastic properties of waste gangue. International journal of mining science and technology. 2021. Vol. 31. No. 2. pp. 279–289. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.01.004.

18. *Li J.-G.*, *Zhan K.* Intelligent Mining Technology for an Underground Metal Mine Based on Unmanned Equipment // Engineering. 2018. Vol. 4. Iss. 3. pp. 381—391. https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.013.

19. *Sepehri M.*, *Apel D. B.*, *Adeeb S.*, *Leveille P.*, *Hall R. A.* Evaluation of mining-induced energy and rockburst prediction at a diamond mine in Canada using a full 3D elastoplastic finite element model. Engineering Geology. 2020. Vol. 266. pp.105457.

20. *Tolvanen A.*, *Eilu P.*, *Juutinen A.*, *Kangas K.*, *Kivinen M.*, Markovaara-*Koivisto M.*, *Naskali A.*, *Salokannel V.*, *Tuulentie S.*, Similä Ju. Mining in the Arctic environment — A review from ecological, socioeconomic and legal perspectives // Journal of Environmental Management. 2019, Volume 23. pp. 832–844.

21. *Пугач А. С.* Применение математической модели уплотнения горных пород при оценке ведения работ в условиях тектонически-напряженных зон //Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022 — № 6 — С. 167–181. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_167. ГИАБ

REFERENCES

1. Valiev N. G., Propp V. D., Vandyshev A. M. Department of Mining UG-GU 100 years. News of higher educational institutions. Mining magazine. 2020. no. 8. pp. 130–143. [In Russ].

2. Dushin A. V., Valiev N. G., Lagunova Yu. A., Shorin A. G. Ural Mining and Moscow Mining: interaction between universities. Mining Journal. 2018. no. 4. Pp. 4–10. [In Russ].

3. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Dzeranov B. V., Morozov F. S., Tuaev G. E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. International Journal of GEOMATE, 2018, 15 (47), pp. 158–163.

4. Versilov S. O., Versilova E. S. Determination of the rational dimensions of ore pillars when using environmental technologies for excavation of inclined ore bodies. In the collection: Innovative geotechnologies in the development of ore and non-ore deposits. 2016. pp. 193–194. [In Russ].

5. Valiev N. G., Berkovich V. Kh., Propp V. D., Kokarev K. V. Problems of development of safety pillars during the operation of ore deposits. News of higher educational institutions. Mining magazine. 2018. no. 2. pp. 4–9. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-2-4-9.

6. Lyashenko V. I. Environmental technologies for the development of complex-structural mineral deposits. Surveyor Bulletin. 2015. no. 1. pp. 10–15. [In Russ].

7. Chotchaev Kh. O., Burdzieva O. G., Zaalishvili V. B. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high mountain territories, Geol. 2020. 10(4). pp. 70–100. [In Russ].

8. Lyashenko V. I. Development of geomechanical monitoring of the properties and state of a rock mass during underground mining of deposits of a complex structure// Mine Surveying Bulletin. 2016. no. 1. pp. 35–43. [In Russ].

9. Lyashenko V. I. Scientific and technical prerequisites for improving environmental safety in the mining region. Ferrous metallurgy. 2015. no. 1. pp. 21–30.

10. Golik V. I., Komashchenko V. I., Kachurin N. M. To the problem of underground mining of ore deposits of the central federal district. News of the Tula State University. Earth Sciences. 2016. no. 4. pp. 127–139. [In Russ].

11. Brigid V. S., Kozhiev H. H., Saryan A. A., Dzhioeva A. K. Spatio-temporal problems of geoecology an interdisciplinary approach. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. (4) 20–32. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236–14932020–4-0–20–32.

12. Burmistrov K. V., Osintsev N. A. Principles of sustainable development of mining and technical systems in transitional periods. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources. 2020. V. 331. no. 4. Pp.179–195. [In Russ]. https://doi.org/10.18799/24131830/2020/4/2606

13. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. Geomechanical and aerogasdynamic consequences of undermining the territories of mining allotments of the mines of the Eastern Donbass. Proceedings of the Tula State University. Ser. Earth Sciences. Issue. 1. 2017. pp. 170–182. [In Russ].

14. Aizhong Lu, Ning Zhang, Guisen Zeng. An extension failure criterion for brittle rock. Deep Rock Behavior in Engineering Environments. 2020. Vol. 2020, pp. 1–12. DOI:10.1155/2020/8891248

15. Domingues Maria S. Q., Baptista Adelina L. F., Diogo Miguel Tato. En-gineering complex systems applied to risk management in the mining industry. International Journal of Mining Science and Technology. 2017, Vol. 27. pp. 611–616. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.007

16. Espinoza R. D., Rojo J. Towards sustainable mining (Part I): Valuing in-vestment opportunities in the mining sector. Resources Policy. 2017. Vol. 52. pp. 7–18. DOI:10.1016/j.resourpol.2017.01.011

17. Huang P., Zhang J., Spearing A. J. S., Li M., Yan X., Liu S. Deformation response of roof in solid backfilling coal mining based on viscoelastic properties of waste gangue.

International journal of mining science and technology. 2021. Vol. 31. no. 2. pp. 279–289. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.01.004

18. Li J.-G., Zhan K. Intelligent Mining Technology for an Underground Metal Mine Based on Unmanned Equipment. Engineering. 2018. Vol. 4. Iss. 3. pp. 381–391. https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.013

19. Sepehri M., Apel D. B., Adeeb S., Leveille P., Hall R. A. Evaluation of mining-induced energy and rockburst prediction at a diamond mine in Cana-da using a full 3D elastoplastic finite element model. Engineering Geology. 2020. Vol. 266. pp. 105457.

20. Tolvanen A., Eilu P., Juutinen A., Kangas K., Kivinen M., Markovaara-Koivisto M., Naskali A., Salokannel V., Tuulentie S., Similä Ju. Mining in the Arctic environment A review from ecological, socioeconomic and legal perspectives. Journal of Environmental Management. 2019, Vol. 23. pp. 832–844.

21. Pugach A. S. Mathematical model of rock compaction for operation in zones of high tectonic stresses. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2022;(6):167–181. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_167.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Валиев Нияз Гыдым Оглы — докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой горного дела Уральского государственного горного университета, 620144, г. Екатеринбург, Куйбышева, 30, gtf.gd@m.ursmu.ru, ORCID:0000-0002-5556-2217;

Голик Владимир Иванович — докт. техн. наук, профессор, Северо-Кавказский государственный технологический университет, Россия, РСО-Алания, 362021, г. Владикавказ, ул. Космонавта Николаева,44; Московский политехнический университет, Россия, 107023, г. Москва, Б. Семеновская, 38, v.i.golik@mail.ru, ORCID:0000-0002-1181-8452;

Пропп Владимир Давыдович — канд. техни. наук, профессор кафедры горного дела Уральского государственного горного университета, 620144, г. Екатеринбург, Куйбышева, 30, gtf.gd@m.ursmu.ru;

Болгова Анастасия Игоревна — соискатель, galina_stas@mail.ru, Тула, Тульский государственный университет, galina_stas@mail.ru, ORCID:0000-0001-7877-0986;

Овсянников Михаил Сергеевич — магистрант, galina_stas@mail.ru, Тула, Тульский государственный университет, galina_stas@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valiev N. G., ORCID:0000-0002-5556-2217, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Vice-Rector, Head. Department, Ural State Mining University, Russia, 620144, Yekaterinburg, st. Kuibyshev, 30, gtf.gd@m.ursmu.ru;

Golik V. I., ORCID:0000-0002-1181-8452, Dr. Sci. (Eng.), prof., prof. Department, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), 362021, Vladikavkaz, Russia, Moscow Polytechnic University, Russia, 107023, Moscow, v.i.golik@mail.ru v.i.golik@mail.ru

Propp V. D., Cand. Sci. (Eng.) Ural State Min-ing University, Russia, 620144, Yekaterinburg, st. Kuibyshev, 30.

Bolgova A. I., ORCID:0000-0001-7877-0986, competitor, galina_stas@mail.ru, Tula, Tula State University;

Ovsyannikov M. S., undergraduate, galina_stas@mail.ru, Tula, Tula State University.

Получена редакцией 16.06.2022; получена после рецензии 14.09.2022; принята к печати 10.10.2022.
Received by the editors 16.06.2022; received after the review 14.09.2022; accepted for printing 10.10.2022.