

УДК 504.55.054:622(470.6)

DOI: 10.46698/VNC.2026.41.27.001

Оригинальная статья

Геофизическое обеспечение горного производства

В.И. Голик 

Московский политехнический университет, Россия, 107023, г. Москва,
ул. Б. Семеновская, 38, e-mail: v.i.golik@mail.ru

Статья поступила: 10.04.2026, доработана: 07.09.2026, принята к публикации: ...2026

Резюме: Актуальность работы. Республики Северного Кавказа располагают природными и техногенными ресурсами. Добыча руд на их территории осуществляется с исторических времен. Добывающие предприятия работали по замкнутой схеме комплексного использования металлосодержащего сырья. Актуальность исследований данного направления увеличивается в связи с расположением месторождений на северном склоне Большого Кавказа в сложных геодинамических условиях, что повышает необходимость учета рисков при разработке месторождений, особенно подземным способом. Решению проблемы восстановления былого потенциала горных предприятий региона способствует применение методов мониторинга добычных работ с использованием возможностей рудничной геофизики. Актуальность темы исследования объясняется необходимостью повышения качества руд и минимизации нагрузки на окружающую природную среду. **Методика.** Достижению поставленной цели способствует рационализация применяемых геофизических методов исследования рудовмещающих массивов. **Результаты.** Приведены схемы использования средств рудничной геофизики для мониторинга реакции рудовмещающих массивов на технологическое воздействие. Дано математическое описание и построены математические модели геофизических средств сопровождения горных работ. Доказано, что геомеханические и прочие задачи подземной разработки рудных месторождений решаются методами геофизики. Обобщены возможности мониторинга процессов подземной разработки месторождений методами рудничной геофизики, в том числе: дискование керна, акустическое прозвучивание, ультразвуковой, электрический и магнитный каротаж, разгрузка напряжений, сейсмоакустика, электрометрия, вдавливание пуансонов, деформация скважин, геомагнитный, реперы сдвижения, электрические цепи в скважинах, моделирование на эквивалентных и оптически активных материалах, а также математическое моделирование. Сделан вывод, что повышение безопасности горных работ и качества руд с минимизацией ущерба окружающей среде обеспечивается использованием комплекса геофизических методов на всех стадиях добычи и переработки минерального сырья.

Ключевые слова: Северный Кавказ, месторождения, разработка, геодинамика, мониторинг, рудничная геофизика.

Для цитирования: Голик В.И. Геофизическое обеспечение горного производства. *Геология и геофизика Юга России*. 2026. 16(3): DOI: 10.46698/VNC.2026.41.27.001

DOI: 10.46698/VNC.2026.41.27.001

Original paper

Geophysical support of mining

V.I. Golik 

Moscow Polytechnic University, 38 B. Semenovskaya Str., Moscow 107023,
Russian Federation, e-mail: v.i.golik@mail.ru

Received: 10.04.2026, revised: 07.09.2026, accepted:2026

Abstract: Relevance. The republics of the North Caucasus have natural and man-made resources. The mining of ores on their territory has been carried out since historical times. Mining enterprises operated according to a closed-loop scheme of integrated use of metal-containing raw materials. The relevance of research in this area is increasing due to the location of deposits on the northern slope of the Greater Caucasus in difficult geodynamic conditions, which increases the relevance of taking risks into account when developing deposits, especially underground. The solution to the problem of restoring the former potential of mining enterprises in the region is facilitated by the use of mining monitoring methods using the capabilities of mining geophysics. The relevance of the research topic is explained by the need to improve the quality of ores and minimize the environmental impact. **The methodology.** The achievement of this goal is facilitated by the rationalization of applied geophysical methods for studying ore-bearing massifs. **Results.** The schemes of using mining geophysics tools to monitor the reaction of ore-bearing massifs to technological impact are given. A mathematical description is given and mathematical models of geophysical mining support facilities are constructed. It is proved that geomechanical and other problems of underground mining of ore deposits are solved by methods of geophysics. The possibilities of monitoring the processes of underground mining by methods of mine geophysics are summarized, including: core diskings, acoustic sounding, ultrasonic, electric and magnetic logging, stress relief, seismoacoustics, electrometry, punch indentation, well deformation, geomagnetic, displacement reference points, electric circuits in wells, modeling on equivalent and optically active materials, as well as mathematical modeling. It is concluded that improving the safety of mining operations and the quality of ores while minimizing environmental damage is ensured by using a set of geophysical methods at all stages of mining and processing of mineral raw materials.

Keywords: North Caucasus, deposits, development, geodynamics, monitoring, mining geophysics.

For citation: Golik V.I. Geophysical support of mining. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2026. 16(3): DOI: 10.46698/VNC.2026.41.27.001

Введение

Устойчивая добыча полезных ископаемых обеспечивается гармоничным сочетанием результатов текущей практики и направлений развития на будущее, в процессе анализа опасных процессов в природно-промышленной системе, прогнозирования достижений и учета технологических свойств полезных компонентов месторождений [Aras, 2021; Bosikov et al., 2021; Ключев и др., 2019].

Принципы устойчивого освоения георесурсов как способ снижения уязвимости подземных объектов являются результатом трехмерного анализа и оценки рисков по эмпирическим методикам при проектировании горно-технологических объектов [Cobian et al., 2022; Kongar-Syuryun et al., 2024; Абрамкин и др., 2022, Голик, 2025, 2026].

Комбинирование геофизических методов мониторинга горных работ позволяет разрабатывать модели, в том числе, напряженно-деформированного состояния нарушенного породного массива с учетом анизотропии и неоднородностей, влияния открытых горных работ на состояние подстилающего массива горных

пород при комбинировании способов разработки месторождений и динамического прогнозирования обрушения горных пород в сочетании с инверсией технологических параметров [Адигамов, Юденков, 2021; Гладков и др., 2024; Идармачев, 2025; Алборов и др., 2026; Мухаметшин и др., 2026; Hou et al., 2022].

Геофизические методы сопровождения технологических процессов применяются на смежных этапах горно-обогательного цикла, например, при извлечении металлов из технологически вскрываемых руд и разведке рудных месторождений [Голик, 2010; Голик и др., 2023; Yakonovskaya et al., 2020].

Эффективность геофизического сопровождения горных процессов повышается модернизацией действующих и созданием новых аппаратов и оборудования для осуществления мониторинга методами рудничной геофизики [Vysotin et al., 2024; Дарбинян и др., 2023; Askaripour et al., 2022].

У истоков методического обеспечения исследований состояния рудовмещающих массивов в процессе освоения их запасов стоят В.Д. Слесарев, Г.Н. Кузнецов, Н.П. Влох и др.

Гипотезы управления состоянием массивов едины в том, что эффективность управления массивами зависит от сбалансированности напряженно-деформированных сред путем технологического воздействия на них. Объективные и оперативные сведения о поведении рудовмещающих пород предоставляют геофизические методы мониторинга технологических процессов.

Методика

Структурную неоднородность массива определяют методами ультразвукового, электрического и магнитного каротажа. Напряжения в массиве измеряют методами разгрузки, регистрации деформаций кернов, осмысления параметров, сейсмоакустики, сейсмического и электрометрического воздействия.

Результаты

Наиболее достоверным и доступным методом оценки состояния массива является выход керна при бурении скважин с дифференциацией по толщине дисков Ханзаги И. (рис. 1).

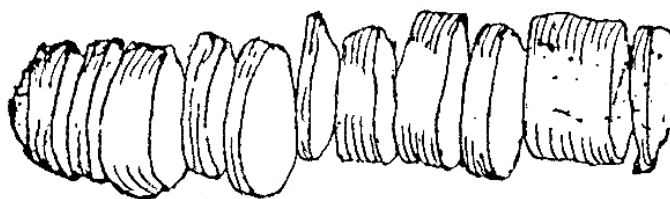


Рис. 1. Выход керна при бурении скважин / Fig. 1. Core yield during well drilling

Коэффициент ослабления пород в массиве (K_o):

$$K_o = \frac{l}{2L} \left(\frac{P_n}{P_{const}} + \frac{l}{n} \right),$$

где L – длина интервала скважины, м;

l – длина керна, превышающая его диаметр, м;

n – количество кернов длиной, равной диаметру керна, шт.;

P_n – количество кернов длиной, равной диаметру, на 1 м скважины, шт.

Степень неоднородности оценивают методом межскважинного акустического прозвучивания (рис. 2).

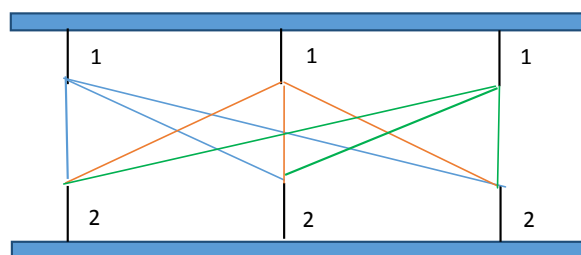


Рис. 2. Схема исследования массива прозвучиванием импульсами по скважинам:
1 – излучатели; 2 – приемники /

Fig. 2. Scheme of massif research by sounding pulses through wells:
1 – radiators; 2 – receivers

Излучатель и приёмник звуковых импульсов размещают в скважинах, пробуренных с одной стороны массива (1) и с другой стороны (2). Расстояние между скважинами – 5 м. Глубина скважин – 2,5 м. Скважины заполняли водой.

Коэффициент звукопоглощения α_i :

$$\alpha_i = \frac{L_o - L_i - 20 \lg r_i}{8,68 r_i},$$

где L_o – уровень сигнала в точке излучения, дБ;

L_n – уровень сигнала в точке приема, дБ;

r_i – преодолеваемое импульсом расстояние, м.

Зависимость частоты звуков разрушения от величины напряжений (σ):

$$\sigma = a \cdot N_H^B,$$

где σ – величина напряжений, МПа;

N_H – количество импульсов в минуту;

a – коэффициент, характеризующий структуру пород;

b – коэффициент, характеризующий прочность пород.

Сдвигения массива пород и руд при подземной разработке определяются глубинными реперами по простиранию и вкрест простирания рудных тел (рис. 3).

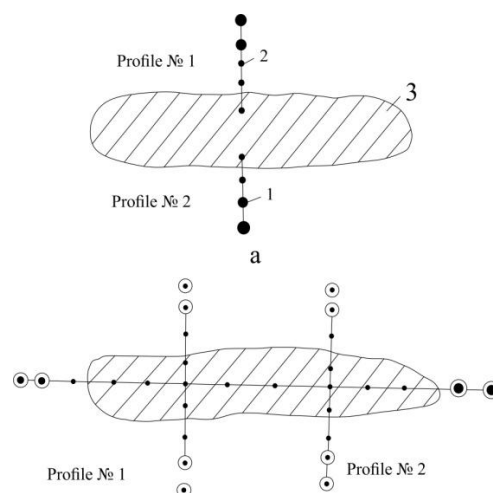


Рис. 3. Профили наблюдательной станции: а – односторонний; б – двухсторонний;
1 – опорные реперы; 2 – рабочие реперы 3 – рудное тело /

Fig. 3. Profiles of the observation station:
a – one-sided; b – two-sided; 1 – reference repers; 2 – working repers; 3 – ore body

Электрические цепи из параллельно подключенных сопротивлений размещают в скважинах (рис. 4). При обрушении пород сцементированная с породой часть скважины сигнализирует о разрушении.

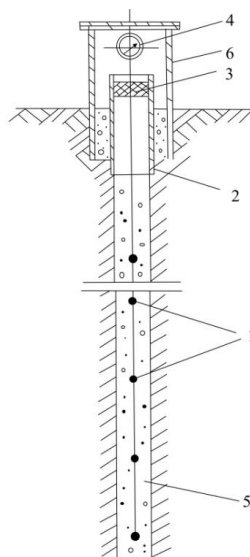


Рис. 4. Наблюдательная станция: 1 – электрическая цепь; 2 – обсадная труба; 3 – резиновая пробка; 4 – измерительный прибор; 5 – цементный раствор; 6 – защитный колпак /

Fig. 4. Observation station: 1 – electrical circuit; 2 – casing pipe; 3 – rubber plug; 4 – measuring device; 5 – cement mortar; 6 – protective cap

При изучении устойчивости кровли применяют традиционные и вновь разработанные датчики, осциллографы и др. приборы, механизмы и аппараты.

Подбор эквивалентных материалов производится по условию:

$$s_n = a_g (g_n / g_m) s_m,$$

где s_n – прочность пород в массиве, МПа;

a_g – масштаб модели;

g_n – плотность пород в массиве, кг/см³;

g_m – плотность пород в модели, кг/см³;

s_m – прочность пород в модели, МПа.

При моделировании на оптически активных материалах элементы модели изготавливают из материалов с различными модулями упругости, нагружают в центрифуге до значения, при котором модель ведет себя подобно натуре, и нагревают до температуры «замораживания». Разность главных нормальных напряжений:

$$d_1 - d_2 = 2 t_{max},$$

где d_1 – главные горизонтальные напряжения, МПа;

d_2 – главные вертикальные напряжения, МПа.

Напряжения t_{max} определяют по окраске материала модели в зависимости от касательных напряжений:

$$d_n = d_m E_n / E_m$$

Оценку напряженно-деформированного состояния массива пород осуществляют физическим и математическим моделированием с использованием методов шахтной геофизики, формируют инженерно-геологическую модель массива и определяют его нарушенность.

По величине структурного ослабления пород выделяют зоны и сгущения пологих трещин.

Геомеханические задачи разработки месторождений решаются методами геофизики (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

**Типизация методов геофизического обеспечения горного производства /
Typification of methods of geophysical support of mining production**

Методы / Methods	Параметр / Parameter	Принцип / Principle	Средство реализации / Means of implementation
Дискование керна / Core diskling	Прочность пород / Rock strength	Выход керна при бурении скважин / Core yield during well drilling	Буровой станок / Drilling machine
Акустическое прозвучивание / Acoustic sounding	Однородность массива / Massif homogeneity	Параметры упругих колебаний / Elastic vibration parameters	Излучатель, звукоприемник, анализатор спектра / Transmitter, receiver, spectrum analyzer
Ультразвуковой каротаж / Ultrasonic logging	Структурная неоднородность / Structural heterogeneity	Электрическое сопротивление / Electrical resistivity	Излучатель, приемник, анализатор спектра / Transmitter, receiver, spectrum analyzer
Электрический каротаж / Ultrasonic logging	Структурная неоднородность / Structural heterogeneity	Диэлектрическая проницаемость / Dielectric permittivity	Излучатель, приемник, анализатор спектра / Transmitter, receiver, spectrum analyzer
Магнитный каротаж / Magnetic logging	Структурная неоднородность / Structural heterogeneity	Магнитная проницаемость / Magnetic permeability	Излучатель, приемник, анализатор спектра / Transmitter, receiver, spectrum analyzer
Разгрузка напряжений / Stress relief	Напряженность / Tension	Упругие деформации / Elastic deformations	Буровой станок, датчики, приемник, анализатор спектра / Drilling machine, transducers, receiver, spectrum analyzer
Акустическая эмиссия / Acoustic emission	Структурная неоднородность / Structural heterogeneity	Акустическая проницаемость / Acoustic permeability	Излучатель частот 10–100 кГц, приемник, анализатор спектра / Frequency transmitter 10-100 kHz, receiver, spectrum analyzer
Сейсмоакустический / Seismoacoustic	Структурная неоднородность / Structural heterogeneity	Акустическая проницаемость / Acoustic permeability	Излучатель частот 30–500 кГц, приемник, анализатор спектра / Frequency transmitter 30–500 kHz, receiver, spectrum analyzer
Электрометрический / Electrometric	Напряженность / Tension	Электрическое сопротивление / Electrical resistivity	Излучатель тока, приемник, анализатор спектра / Current transmitter, receiver, spectrum analyzer
Вдавливание пуансонов / Punch indentation	Напряженность / Tension	Сопротивление внедрению жесткого штампа / Resistance to rigid die insertion	Буровой станок, гидравлический прибор БП18 / Drilling machine, hydraulic device BP18
Деформация скважин / Well deformation	Деформированность / Deformation	Изменение диаметра скважин / Changing the diameter of wells	Буровой станок, деформометры / Drilling machine, deformometers
Геомагнитный / Geomagnetic	Напряженность / Tension	Импульсно-электромагнитное излучение / Pulse-electromagnetic radiation	Излучатель сигнала, приемник, анализатор спектра / Signal transmitter, receiver, spectrum analyzer

Глубинные реперы / Depth gauges	Деформированность/ Deformation	Размеры трещин / Fracture sizes	Системы связи (провокола или штанги), реперы / Communication systems (wire or rods), gauges
Электрические цепи в скважинах / Electrical circuits in boreholes	Деформированность/ Deformation	Сопротивление электрической цепи/ Electrical circuit resistance	Датчики, анализатор спектра / Sensors, spectrum analyzer
Моделирование на эквивалентных материалах / Modeling on equivalent materials	Деформированность/ Deformation	Напряженность / Tension	Форма, материалы, датчики, анализатор / Shape, materials, sensors, analyzer
Моделирование на оптически активных материалах / Modeling on optically active materials	Деформированность/ Deformation	Напряженность / Tension	Форма, материалы, датчики, анализатор / Shape, materials, sensors, analyzer
Математическое моделирование / Mathematical modeling	Деформированность/ Deformation	Напряженность / Tension	Закономерности, средства математического анализа / Regularities, tools of mathematical analysis

Заключение

Природные и техногенные ресурсы Республик Северного Кавказа могут быть востребованы с использованием адаптированных к новым эколого-экономическим условиям технологий.

Локализация ресурсов в сложных геодинамических условиях повышает важность учета рисков при разработке месторождений.

Риски минимизируют методом мониторинга производственных процессов с использованием возможностей рудничной геофизики с построением математических моделей горных работ на основе обработки керна, каротажа, разгрузки напряжений, реперов сдвижения, моделирования и др.

Повышение безопасности горных работ и качества руд с минимизацией ущерба окружающей среде обеспечивается использованием комплекса геофизических методов на всех стадиях добычи и переработки минерального сырья.

Литература

1. Абрамкин Н.И., Ефимов В.И., Мансуров П.А. Эмпирические методики оценки состояния массива горных пород // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2022. – № 2. – С. 68–76. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-2-68-76.
2. Адигамов А.Э., Юденков А.В. Модель напряженно-деформированного состояния нарушенного породного массива с учетом анизотропии и неоднородностей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 8. – С. 93–103. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_93.
3. Алборов И.Д., Бурдзиева О.Г., Кануков А.С., Архиреева И.Г., Дадтеева Э.В. Подвижность тяжелых металлов в почвах агроландшафтов: факторы, оценка и экологические последствия на примере Садонского свинцово-цинкового комбината // Геология и геофизика Юга России. – 2026. – Т. 16. № 1. – С. 168–179. DOI: 10.46698/VNC.2026.24.11.001.
4. Гладков И.В., Якунчиков Е.Н., Румянцев А.Е., Соннов М.А. Моделирование влияния открытых горных работ на состояние подстилающего массива горных пород при планировании подземных горных работ с использованием пакета программного обеспечения CAE Fidesys // Горная промышленность. – 2024. – № 4. – С. 165–172. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-4-165-172.
5. Голик В.И. Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации // Обогащение руд. – 2010. – № 5. – С. 38–40.
6. Голик В.И., Кукарцев В.А., Панфилова Т.А., Тынченко В.С., Конюхов В.Ю. К механохимической активации процессов выщелачивания в дезинтеграторе // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 11-1. – С. 175–189. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_175.

7. Голик В.И. Итерационное моделирование технологий разработки месторождений Садонской геологической провинции // Геология и геофизика Юга России. – 2025. – Т. 15. № 3. – С. 199–210. DOI: 10.46698/VNC.2025.73.38.002.

8. Голик В.И. Геофизический контроль инновационных технологий разработки рудных месторождений Северной Осетии // Геология и геофизика Юга России. – 2026. – Т. 16. № 2. – С. 45–56. DOI: 10.46698/VNC.2026.36.57.001.

9. Дарбинян Т.П., Цымбалов А.А., Зубов В.П., Колганов А.В. Влияние трещиноватости массива горных пород на разубоживание вкрапленной медно–никелевой руды рудника «Октябрьский» // Горный журнал. – 2023. – № 6. – С. 19–25. DOI: 10.17580/gzh.2023.06.03.

10. Идармачев Ш.Г. Система непрерывного мониторинга параметров трещин в горном массиве на основе резистивных датчиков // Геология и геофизика Юга России. – 2025. – Т. 15. № 1. – С. 82–91. DOI: 10.46698/VNC.2025.78.66.007.

11. Ключев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В. Комплексный анализ генетических особенностей минерального вещества и технологических свойств полезных компонентов Джезказганского месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т. 11. № 3(41). – С. 321–330. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-3-321-330.

12. Мухаметшин В.Ш., Гилязетдинов Р.А., Садуакасов Д.С., Бакиева А.Б. Алгоритм выбора скважин-кандидатов для зарезки боковых стволов в условиях неопределенности геолого-промысловой информации // Геология и геофизика Юга России. – 2026. – Т. 16. № 2. – С. 160–172. DOI: 10.46698/VNC.2026.25.10.001.

13. Aras A.M. Sustainable mining: A review of current practices and future directions // Resources. Conservation and Recycling. – 2021. – Vol. 162. – Art. No. 104868. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104868.

14. Askaripour M., Saeidi A., Rouleau A., Mercier-Langevin P. Rockburst in underground excavations: A review of mechanism, classification, and prediction methods // Underground Space. – 2022. – Vol. 7. Issue 4. – pp. 577–607.

15. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Dmitrak Yu.V. Analysis of hazardous processes in the natural-industrial system // Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals. London: Taylor and Francis Group, 2021. – pp. 422–429. DOI: 10.1201/9781003164395.

16. Cobian J.C., Bautista M.M., Bar N., Hammah R. 3d limit equilibrium analysis and risk appraisal of Hondo waste rock stockpile designs // Rocscience Africa Conference, 2022. – 10 p.

17. Hou Z., Yang K., Li Y., Gao W., Wang S., Ding X., Li Y. Dynamic prediction model of mining subsidence combined with D-InSAR technical parameter inversion // Environmental Earth Sciences. – 2022. – Vol. 81. Issue 11. – Art. No. 307. DOI: 10.1007/s12665-022-10423-8.

18. Kongar-Syuryun Ch., Klyuev R., Golik V., Oganessian A., Solovykh D., Khayrutdinov M., Adigamov D. Principles of sustainable development of georesources as a way to reduce urban vulnerability // Urban Science. – 2024. – Vol. 8. No. 2. – Art. No. 44. DOI: 10.3390/urbansci8020044.

19. Vysotin N.G., Eremenko V.A., Kosyreva M.A. Experience of geotechnical core logging of borehole environment: a case-study of carbonate rocks // Eurasian Mining. – 2024. – No. 2. – pp. 33–37. DOI: 10.17580/em.2024.02.07.

20. Yakonovskaya T.B., Zhigulskaya A.I., Yakonovsky P.A. Assessment of applying VLF geophysical method to determine the peat deposit thickness // Mining Science and Technology. – 2020. – Vol. 5. No. 3. – pp. 224–234. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-3-224-234.

References

1. Abramkin N.I., Efimov V.I., Mansurov P.A. Empirical techniques for assessing rock mass condition. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal. 2022. No. 2. pp. 68–76. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-2-68-76. (In Russ.)

2. Adigamov A.E., Yudenkov A.V. Stress-strain behavior model of disturbed rock mass with regard to anisotropy and discontinuities. Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). 2021. No. 8. pp. 93–103. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_93. (In Russ.)

3. Alborov I.D., Burdzieva O.G., Kanukov A.S., Arkhireeva I.G., Dadteeva E.V. Mobility of heavy metals in agricultural landscape soils: factors, assessment, and environmental consequences using the Sadon lead-zinc plant as a case study. Geology and Geophysics of Russian South. 2026. Vol. 16. No. 1. pp. 168–179. DOI: 10.46698/VNC.2026.24.11.001. (In Russ.)

4. Gladkov I.V., Yakunchikov E.N., Rumyantsev A.E., Sonnov M.A. Modeling the impact of surface mining operations on the condition of the underlying rock mass when planning underground mining operations using the CAE Fidesys software suite. *Russian Mining Industry*. 2024. No. 4. pp. 165–172. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-4-165-172. (In Russ.)
5. Golik V.I. Extraction of metals from enrichment tailings by combined activation methods. *Ore processing*. 2010. No. 5. pp. 38–40. (In Russ.)
6. Golik V.I., Kukartsev V.A., Panfilova T.A., Tynchenko V.S., Konyukhov V.Yu. The mechanochemical activation of leaching processes in a disintegrator. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2023. No. 11-1. pp. 175–189. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_11_0_175. (In Russ.)
7. Golik V.I. Iterative modeling of field development technologies in the Sadon geological province. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025. Vol. 15. No. 3. pp. 199–210. DOI: 10.46698/VNC.2025.73.38.002. (In Russ.)
8. Golik V.I. Geophysical monitoring of innovative technologies for the development of ore deposits in North Ossetia. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2026. Vol. 16. No. 2. pp. 45–56. DOI: 10.46698/VNC.2026.36.57.001. (In Russ.)
9. Darbinyan T.P., Tsymbalov A.A., Zubov V.P., Kolganov A.V. Impact of rock mass jointing on dilution of disseminated copper-nickel ore in Oktyabrsky mine. *Mining Journal*. 2023. No. 6. pp. 19–25. DOI: 10.17580/gzh.2023.06.03. (In Russ.)
10. Idarmachev Sh.G. The system of continuous monitoring of parameters of cracks in a mountain range on the basis of resistive sensors. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025. Vol. 15. No. 1. pp. 82–91. DOI: 10.46698/VNC.2025.78.66.007. (In Russ.)
11. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V. Complex analysis of genetic features of mineral substance and technological properties of useful components of Dzhezkazgan deposit. *Sustainable Development of Mountain territories*. 2019. Vol. 11. No. 3(41). pp. 321–330. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-3-321-330. (In Russ.)
12. Mukhametshin V.Sh., Gilyazetdinov R.A., Saduakassov D.S., Bakiyeva A.B. Algorithm for selecting candidate wells for sidetracking under conditions of uncertain geological and field data. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2026. Vol. 16. No. 2. pp. 160–172. DOI: 10.46698/VNC.2026.25.10.001. (In Russ.)
13. Aras A.M. Sustainable mining: A review of current practices and future directions. *Resources. Conservation and Recycling*. 2021. Vol. 162. Art. No. 104868. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104868.
14. Askaripour M., Saeidi A., Rouleau A., Mercier-Langevin P. Rockburst in underground excavations: A review of mechanism, classification, and prediction methods. *Underground Space*. 2022. Vol. 7. Issue 4. pp. 577–607.
15. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Dmitrak Yu.V. Analysis of hazardous processes in the natural-industrial system. *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*. London: Taylor and Francis Group. 2021. pp. 422–429. DOI: 10.1201/9781003164395.
16. Cobian J.C., Bautista M.M., Bar N., Hammah R. 3d limit equilibrium analysis and risk appraisal of Hondo waste rock stockpile designs. *Rocscience Africa Conference*. 2022. 10 p.
17. Hou Z., Yang K., Li Y., Gao W., Wang S., Ding X., Li Y. Dynamic prediction model of mining subsidence combined with D-InSAR technical parameter inversion. *Environmental Earth Sciences*. 2022. Vol. 81. Issue 11. Art. No. 307. DOI: 10.1007/s12665-022-10423-8.
18. Kongar-Syuryun Ch., Klyuev R., Golik V., Oganessian A., Solovykh D., Khayrutdinov M., Adigamov D. Principles of sustainable development of georesources as a way to reduce urban vulnerability. *Urban Science*. 2024. Vol. 8. No. 2. Art. No. 44. DOI: 10.3390/urbansci8020044.
19. Vysotin N.G., Eremenko V.A., Kosyreva M.A. Experience of geotechnical core logging of borehole environment: a case-study of carbonate rocks. *Eurasian Mining*. 2024. No. 2. pp. 33–37. DOI: 10.17580/em.2024.02.07.
20. Yakonovskaya T.B., Zhigulskaya A.I., Yakonovsky P.A. Assessment of applying VLF geophysical method to determine the peat deposit thickness. *Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 5. No. 3. pp. 224–234. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-3-224-234.