ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2026;(12):61-71
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 504.55.054:622(470.6) DOI: 10.25018/0236_1493_2026_12_0_61

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕГАЗОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НАГОРНЫХ КАРЬЕРОВ

В.И. Голик

Московский политехнический университет, Москва, Россия, e-mail: v.i.golik@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены вопросы минимизации пылегазового загрязнения окружающей среды при эксплуатации нагорных карьеров на примере карьера «Доломит». Дана справка о добыче минерального сырья открытым способом на примере одного из крупнейших в мире Боснинского месторождения доломитов. Предложена типизация факторов техногенного влияния на экосистемы и нарушений экосистем окружающей среды горными работами. Приведены методика исследования и количественные показатели образования и распространения фракции пыли и газов в зависимости от переменных факторов. Сопоставлены статистические данные с расчетными показателями при одинаковой мощности карьера. Даны результаты исследования зависимости содержания газопылевых фракций от параметров отбойки и доставки сырья. Описана технология разработки уступами с отбойкой зарядами взрывных веществ в штольнях. Разработана модель распространения продуктов газов и пыли. Предложено ранжирование почв по показателю загрязнения при альтернативных технологиях разработки месторождения. Сделан вывод, что влияние открытой разработки нагорных месторождений на окружающую среду может быть минимизировано при использовании предложенной модели.

Ключевые слова: пылегазовое загрязнение, окружающая среда, нагорный карьер, открытый способ, показатель загрязнения.

Для цитирования: *Голик В. И.* Исследование процессов пылегазового загрязнения окружающей среды при разработке нагорных карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 12. – С. 61–71. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_12_0_61.

Analysis of dust and gas pollution of the environment in upland quarrying

V.I. Golik

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru

Abstract: This study addresses issues of minimization of dust and gas pollution of the environment in upland quarrying as a case-study of the Dolomit Quarry. The information on the open pit mining method is given in terms of one of the world's largest dolomite deposits–Bosninskoe. The type design is proposed for the factors of manmade influence on ecosystems and mining-induced damage of ecosystems. The research procedure and the quantitative data of generation and propagation of dust and gas fractions depending on variables are presented. The statistical and calculated data are compared at the same capacity of the quarry. The research-findings on the contents of dust and gas fractions depending on the parameters of rock breaking and haulage are described. The technology of bench mining with blasting in adits is described.

© В.И. Голик. 2026.

The model of dust and gas propagation is developed. It is proposed to rank soil by the index of pollution in case of application of the alternative mining technologies. The conclusion is drawn that the environmental impact of upland quarrying can be minimized using the proposed model.

Key words: dust and gas pollution, environment, upland quarry, open pit mining, index of pollution.

For citation: Golik V. I. Analysis of dust and gas pollution of the environment in upland quarrying. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(12):61-71. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_12_0_61.

Введение

В Республике Северная Осетия–Алания доломиты добывают в недрах Боснинского месторождения, запасы которого составляют 230 млн т, или 70% всех российских запасов.

Пылевое загрязнение атмосферы карьера при открытой добыче полезных ископаемых происходит в процессе выброса в воздух взвешенных частиц в результате отделения пород взрывом с формированием зоны запыления, угрожающей живому веществу.

Вопросы отделения горной массы от массива и дробления ее до товарных размеров важны для решения проблемы минимизации экологических последствий горных работ, важность которой возрастает с увеличением потребления. Освоение месторождений минерального сырья требует объективной оценки потенциальной экологической опасности для природно-техногенных комплексов и учета влияния опасных экзогенных процессов на устойчивость экосистем окружающей природной среды.

Контроль и управление экологическим состоянием и безопасностью работающих на карьерах осуществляются на основе сбора и анализа больших данных, получаемых в ходе лабораторных и натурных экспериментов.

В загрязнении окружающей среды на открытых горных работах приоритетна роль пылегазовых компонентов взрывной отбойки минерального сырья. Несмотря на принимаемые меры профилактики, разработка карьеров приводит к деградации почвенного покрова в окрестностях предприятий, загрязнению воздуха пылью и газами, истощению и загрязнению вод и нередко к полному разрушению среды обитания флоры и фауны [1—4].

Пылевое загрязнение, или присутствие в атмосфере взвешенных мобильных твердых частиц, опасно наличием микродисперсных фракций минералов размером менее 10 мк, которые оседают в верхних дыхательных путях человека и животных и со временем проникают в легкие, альвеолы или в кровоток, вызывая разнообразные болезни [5—8].

Запыленность атмосферы и инфраструктуры карьера снижается применением комплекса мер профилактического характера, в том числе: орошение растворами воды с реагентами, естественное и принудительное проветривание добычного объекта, улавливание пыли, использование средств индивидуальной защиты и др. [9—12].

При проектировании карьеров для минимизации объема пылегазовых загрязнений рассчитывают не только рациональные совокупности технологических параметров отбойки, дробления и транспортирования минерального сырья [13, 14], но и возможности применения новых технологий, в том числе переработки минералов в замкнутой, контролируемой системе без контакта с экосисте-

мами окружающей среды. Управление качеством атмосферы карьера осуществляется комбинированием направлений экологии, технологии, экономики и др., в основном — путем обеспечения требований установленных нормативов [15—18].

Перспективы направления борьбы с мобильной пылью включают в себя автоматизацию и роботизацию защитных систем локального подавления загрязнителей, использование фильтров и средств индивидуальной защиты, связующих реагентов, а также применение возможностей искусственного интеллекта с целью минимизации контакта человека с пылью и газами [19—22].

Целью исследования является детализация концепции снижения опасности процессов пылегазового загрязнения окружающей природной среды при добыче сырья нагорными карьерами со взрывной отбойкой минерального сырья.

Методы исследований

Целью исследования является улучшение показателей функционирования нагорных карьеров путем оптимизации технологических процессов по критерию минимума газопылевого загрязнения. Она достигается использованием закономерной зависимости объемов газопылевых загрязнителей от применяемой технологии разработки месторождения.

Этапы исследований включают в себя: уменьшение влияния горных работ на экосистемы окружающей среды; моделирование параметров взрывной отбойки; разработку технологии управления параметрами отбойки с минимизацией объемов образования пыли и газов.

Результатом исследования является разработка математической модели расчета параметров газопылевого загрязнения экосистем окружающей природной среды.

Характер образования и распространения пыли исследуется пикетно-экранным методом. Бумажные реперы покрываются тонким слоем битума, осаждающим пыль. Экраны с уловленной пылью сжигают и взвешивают. По разности массы определяли степень запыленности.

Результаты

Открытым способом в мире добывают 2/3 рудного и нерудного сырья и 1/3 твердого топлива. Боснинское месторождение доломитов (Республика Северная Осетия–Алания) является одним из самых крупных на Земле.

Образующиеся в ходе взрывной отбойки газы и пыль концентрируют солнечную энергию и отражают ее на землю. Частицы пород размерами до 500 мк оседают на скалах, листьях растений и шерсти животных. Садясь на растительность, пылинка накаляется, а растение сохнет и погибает. Доломит, технологически разрушенный до крупности 200 мк, обладает цементирующими свойствами и клейкостью. Пыль прилипает к таким растениям и не удаляется. Витающая пыль является силикозоопасной. Она проникает в организм человека и вызывает болезни типа силикоза.

При взрывных работах в породном массиве раскрываются заполненные глинкой трения и породной мелочью тектонические трещины. Породные отдельности сталкиваются и дополнительно дробятся до дисперсного состояния.

При выемочно-погрузочных работах экскаватор и другие машины измельчают породные куски, раздавливая их на мелкие фракции. Пылеобразование интенсифицируется при перемещении породы в кузов автомобиля и во время транспортных и погрузо-разгрузочных операций.

Для исследования пыли из тектонических и технологических трещин на

Таблица 1

Типизация нарушений окружающей среды
Typification of environmental violations

Типы нарушений	Причины	Характерные виды
Геомеханические	Строительство карьеров и отвалов хвостов переработки, деформация земной поверхности	Изменение рельефа, структуры массива, грунтов, почвы
Гидрологические	Дренирующее воздействие горных выработок. Загрязнение поверхностных и подземных вод	Изменение параметров гидрографической сети. Ухудшение качества вод, свойств грунтов и почвы
Физико-механо-химические	Эмиссия газов и активной пыли. Сбросы загрязненных вод и компонентов отвалов в экосистемы окружающей среды	Изменение состава и свойств экосистем окружающей среды

площадках берм и откосов очерчивали квадраты площадью в 1 м^2. На породных кусках размерами 10, 20, 30, 40, 50 см фиксировали следы ударов другими кусками. По кускам одного размера определяли число ударов пород друг о друга. Кусок промывали, сушили, взвешивали, клали на лист поролона и бросали на него кусок доломита с такой высоты, чтобы следы от ударов были идентичны полученным при взрыве. Кусок очищали от пыли и взвешивали. По разности весов определяли количество пыли, взвешивая массу после сжигания бумаги.

Количество пыли от выемочно-погрузочных и транспортно-разгрузочных работ определяется по разнице весов разрушенной породы и очищенной от пыли породы путем смывания ее с кусков и отбирания смыва через верх емкости.

Исследованием параметров запыленности определено, что основным источником пыли являются взрывные работы, а выемочно-погрузочные и транспортно-разгрузочные работы являются дополнительными причинами пылеобразования. С целью минимизации пылеобразования необходимо, чтобы рабочим бермам придавалась чашеобразная форма. Типизация нарушений окружающей среды горными работами приведена в табл. 1.

Для исследования миграционных свойств мелкодисперсной фракции пыли осаждали доломитовую пыль на покрытую слоем битума бумагу. Показания пикетов снимали до взрыва, за 1 ч до взрыва и через 4 ч после взрыва. Экраны сжигали и взвешивали.

Ореол загрязнения окружающей среды характеризуется табл. 2.

Таблица 2

Ореол пылевого загрязнения окружающей среды без ветра
A halo of dust pollution without wind

Тип пыли	Расстояние разлета пыли, м /доля от массы отбитой породы, %					
	500	1000	1500	2000	2500	3000
Крупная	1,1	1,04	0,9	0,65	0,48	0,3
Средняя	0,3	0,27	0,22	0,18	0,16	0,15
Мелкая	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
Всего	1,5	1,4	1,2	0,9	0,7	0,5

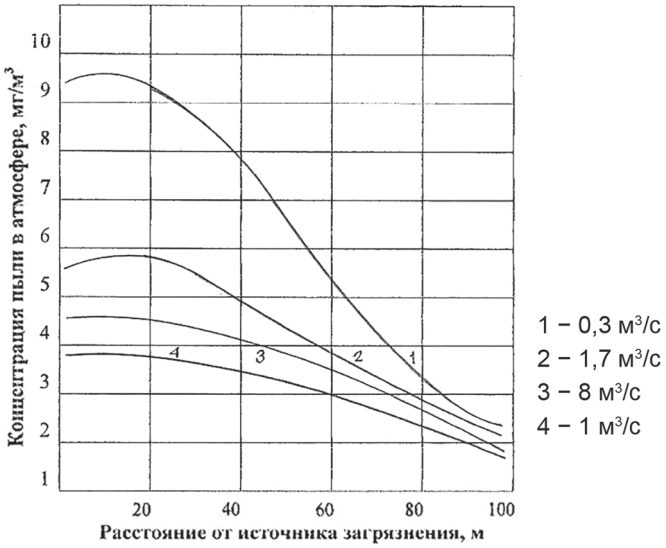


Рис. 1. Зависимость концентрации загрязнителей от удаленности от источника загрязнения при скорости ветра 1,5 м/с и изменяющемся объеме загрязнителей

Fig. 1. Dependence of the concentration of pollutants on the distance from the source of pollution at a wind speed of 1.5 m/s and a changing volume of pollutants

В зависимости от скорости ветра ореол разноса увеличивается в направлении действия ветра и уменьшается в подветренную сторону.

При скорости ветра 2 м/с время рассеивания пылегазового облака около 4 ч. Фоновый уровень концентрации по пыли, оксиду углерода и оксидам азота на расстоянии 3,0…3,5 км.

Зависимость концентрации загрязнителей от параметров источника иллюстрирует рис. 1.

Исследуемый участок доломитового месторождения разрабатывается уступами высотой 45, 50 и 15 м с углами откоса 70°.

Для размещения зарядов взрывчатых веществ (ВВ) пройдены штольни сече-

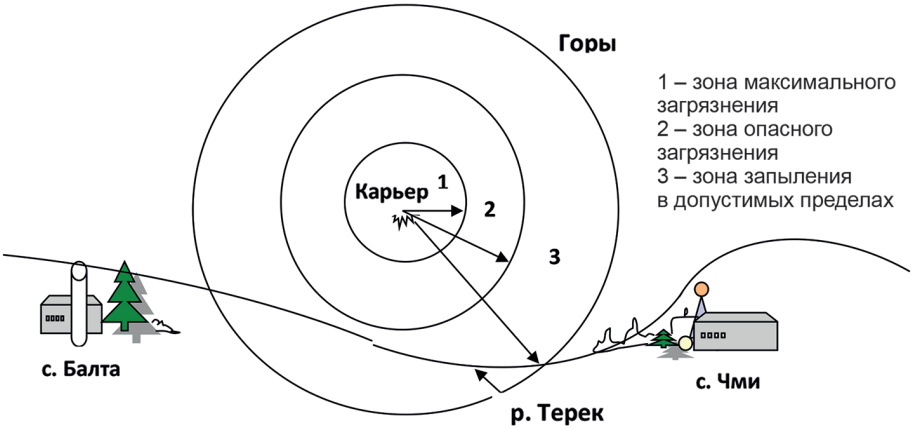


Рис. 2. Ранжирование почв в районе карьера по показателю загрязнения пылью

Fig. 2. Ranking of soils in the quarry area by dust pollution

нием 1,6×2,0 длиной 40…50 м с интервалом 50 м по простиранию.

Экспериментальные данные описывали функцией

$$Z = f(X, Y),$$

где X, Y — пространственные координаты; Z — концентрация пыли.

Шурфы с опробованием пройдены на глубину 1 м. Концентрация микроэлементов в пробах определялась атомно-абсорбционным анализом с помощью спектрометра AAS-3 фирмы «Карл Цейс», Йена.

Зона чрезвычайно опасного загрязнения пылью и газами распространяется на 10 км, зона опасного загрязнения – на 20 км, зона умеренно опасного уровня – на расстояние более 20 км (рис. 2).

Обсуждение результатов

В обводненных условиях дробление доломита ухудшается, причем увеличение расхода ВВ на показатели товарного продукта влияет несущественно.

Энергию дробления доломита можно регулировать путем формирования профиля борта с нерабочими уступами и образования на рабочих горизонтах экранизирующей щели бурением скважин глубиной до 45 м. С уменьшением расхода ВВ качество дробления горной массы ухудшается.

Концепция защиты окружающей природной среды от пылегазового загрязнения при отделении от массива включает в себя сохранение условий существования биоты в окрестностях месторождений путем регулирования энергоемкости отбойки руд, использования математико-аналитической модели состояния биоты и методики ее реализации.

Управление параметрами влияния горно-добычных технологий на окружающую природную среду включает в себя совместную оценку параметров окружающей среды и производства, а также минимизацию ущерба от снижения сельскохозяйственного потенциала почв за счет пылевого загрязнения при отбойке доломита.

Добыча минерального сырья и впредь будет характеризоваться масштабностью, снижением качества сырья и ростом затрат на добычу с увеличением глубины горных работ.

Комплексное воздействие горного производства на окружающую природную среду будет усиливаться за счет химизации экосистем продуктами хранения и транспортирования минерального сырья.

Действенной мерой снижения опасности является ограничение возможности миграции загрязнителей в окружающую среду технологическими средствами. Самым новым направлением реализации этого процесса является доведение доломита до товарного вида в рабочем органе дезинтегратора, когда процесс протекает в замкнутом контролируемом пространстве без контакта с экосистемами окружающей среды.

Активация пород в дезинтеграторе представляет собой процесс механического измельчения минерального сырья, при котором не только уменьшается размер частиц (менее 0,076 мм), но и радикально изменяются их физикохимические свойства.

Это направление получило теоретическое и практическое обоснование, однако дальнейшее развитие его нуждается в продолжении теоретических исследований, направленных на конкретизацию параметров переработки минерального сырья. При переработке в дезинтеграторе к этим факторам добавляются частота вращения роторов дезинтегратора и количество циклов воздействия в дезинтеграторе.

Установленные закономерности описываются эмпирическими уравнениями регрессии и нуждаются в теоретическом обосновании для применения в различных областях науки и техники.



Рис. 3. Алгоритм минимизации загрязнения экосистем
Fig. 3. An algorithm for minimizing ecosystem pollution

Система управления природно-технической системой «карьер — окружающая среда» в части охраны земной поверхности от газопылевого загрязнения включает в себя минимизацию объемов образующейся пыли за счет рационализации параметров разработки месторождения (рис. 3).

Увеличение высоты уступа до 50 м и уменьшение размеров берм до 40 м уменьшает расход ВВ на отбойку и перемещение доломита.

При рационализации параметров отбойки появляется возможность обеспечить выброс загрязнителей в желаемом направлении, чтобы создать условия для снижения объемов газа и пыли.

Экономико-математическая модель оценки вариантов горных работ и природоохранной деятельности в качестве целевой функции использует критерий эколого-экономической эффективности:

$$ЭЭ_e = \frac{\sum_j V_{je}\left(Ц_j^{д} - C_{je}^{П} - W_e Ц^{ВВ}\right)}{УА_e + УЗ_e + УУ_e + УВ_e} \to \max$$

где j — индекс вида доломитовой продукции; e — индекс варианта; V — объем доломитов, м³; $Ц^{д}$ — цена продукции, руб./м³; $C^{П}$ — условно-постоянная часть себестоимости ведения горных работ, руб./м³; W — удельный расход взрывчатых веществ кг/м³; $Ц^{ВВ}$ — стоимость взрывчатых веществ, руб./м³.

Структурно функциональная схема рассматриваемой системы управления представлена на рис. 4.

Целью оптимизации показателей является нахождение локальных оптимумов с учетом принятых критериев эффективности, к которым можно отнести минимизацию текущих затрат, сроков окупаемости капиталовложений, максимум прибыли, а также и уменьшение за-

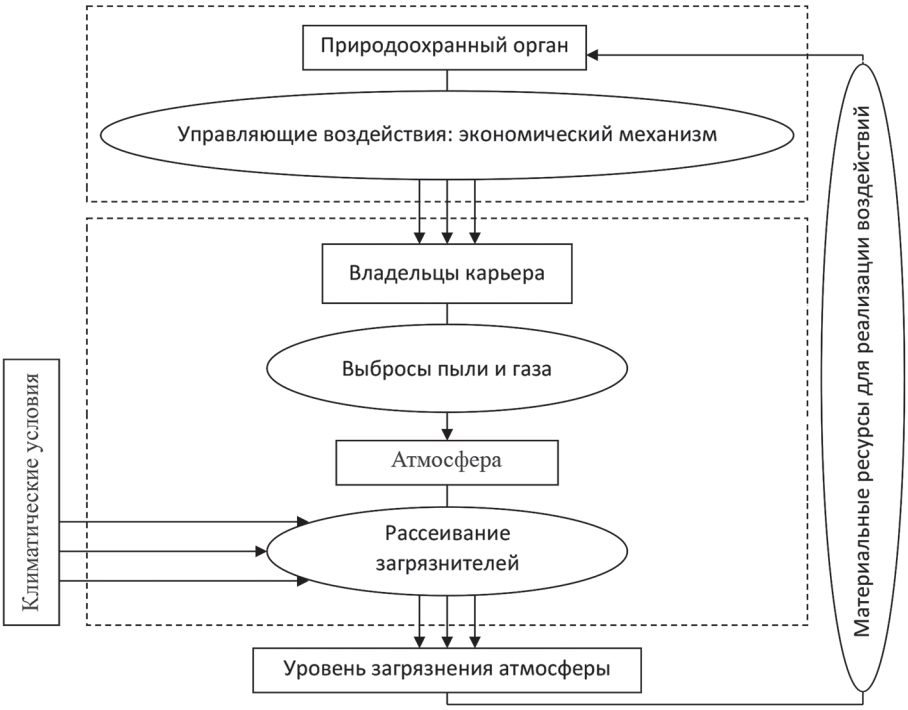


Рис. 4. Алгоритм управления риском опасного загрязнения
Fig. 4. Algorithm for managing the risk of hazardous pollution

пыленности атмосферы. Эффективность мер оптимизации разработки месторождения повышается при уменьшении выбросов пылегазовых отходов добычи доломитов в окружающую природную среду, при этом комплексный показатель, отражающий количественные и качественные изменения, происходящие с почвами в процессе их оздоровления, описывается суммой убытков при различных вариантах оздоровления почв.

Результаты исследования могут быть востребованы при добыче скальных и полускальных пород с любой формой локализации со взрывной отбойкой и доставкой в различных климатических условиях.

Заключение

Открытая разработка нагорных месторождений наклонными прирезками со взрывной доставкой доломита является перспективным вариантом добычи.

К недостаткам технологии относятся образование выбрасываемых в атмосферу газов, сейсмическое воздействие, повышенное пылеобразование и возможное обрушение на откосах после взрывания.

Направления совершенствования технологии в числе приоритетных включают в себя минимизацию ущерба экосистемам региона пылегазовыми продуктами при выполнении технологических операций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голик В. И.*, *Исмаилов Т. Т.*, *Исмаилов Б. Т.*, *Мельков Д. А.* Геологические методы исследования массивов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 3. — С. 89 — 93.

2. *Растанина Н. К.*, *Колобанов К. А.* Воздействие техногенного пылевого загрязнения на экосферу и здоровье человека закрытого горного предприятия Приамурья // Горные науки и технологии. — 2021. — № 6(1). — С. 16—22. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-16-22.

3. *Kongar-Syuryun C., Klyuev R., Golik V., Oganesyan 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, article 0044. DOI: 10.3390/urbansci8020044.

4. *Luo H., Zhou W., Jiskani I. M., Wang Z.* Analyzing characteristics of particulate matter pollution in open-pit coal mines: Implications for green mining // Energies. 2021, vol. 14, no. 9, article 2680. DOI: 10.3390/en14092680.

5. *Wang Y., Du C., Xu H.* Key factor analysis and model establishment of blasting dust diffusion in a deep, sunken open-pit mine // ACS Omega. 2021, vol. 6, no. 1, pp. 448—455.

6. *Корыстова М.* Влияние человеческой деятельности на окружающую среду и здоровье населения // Образование и наука в XXI веке. — 2025. — Т. 4. — С. 62—64.

7. *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.

8. *Антонюк К. В.* Воздействие разработки карьеров на животный и растительный мир, а также на деятельность человека // Наука через призму времени. — 2022. — № 5. — С. 62.

9. *Yu J., Li Z., Wang W.* Influence of gas outburst dynamic flow on mine ventilation system // AIP Advances. 2021, vol. 11, no. 7, article 075223. DOI: 10.1063/5.0052080.

10. *Бабкин Р. С.*, *Кольвах К. А.*, *Барабошкин И. А.* Снижение выбросов оксидов азота при проведении массовых взрывов на открытых горных работах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2025. — № 2. — С. 16—27. DOI: 10.25018/ 0236_1493_2025_2_0_16.

11. *Босиков И. И.*, *Уртаев Г. О.*, *Келехсаева А. Б.* Анализ закономерностей автоматизированных систем управления технологическими процессами воздухообеспечения угольных шахт // Перспективы науки. — 2024. — № 4 (175). — С. 67—69.

12. *Исмаилов Б. Т.* Эколого-экономическое обоснование технологии минимизации пылегазового загрязнения окружающей среды посредством рационализации параметров нагорных доломитовых карьеров. Автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. — М., 2013. — 24 с.

13. *Скопинцева О. В.*, *Ганова С. Д.*, *Бузин А. А.*, *Федотова В. П.* Мероприятия по борьбе с пылью при погрузке и транспортировании твердых полезных ископаемых // Горный журнал. — 2019. — № 12. — С. 76—79. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.16.

14. *Качурин Н. М.*, *Стась Г. В.*, *Прохоров Д. О.*, *Гаврина О. А.* Выбор технологий и направлений снижения техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду // Устойчивое развитие горных территорий. — 2024. — Т. 16. — № 1. — С. 283—291. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-283-291.

15. *Cheng P., Li Y., Lu C., Jiang S., Xu H.* Study on blasting effect optimization to promote sustainable mining under frozen conditions // Sustainability. 2022, vol. 14, no. 24, article 16479. DOI: 10.3390/su142416479.

16. *Андреев А. А.*, *Маслобоев А. В.* Программный модуль расчета времени естественного проветривания карьера (на примере рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК») / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», Пенза. — 2021. — Т. 1. — С. 273—276.

17. *Драгунский О. Н.*, *Ривкин М.* Изменения атмосферного давления как неблагоприятный фактор работы в глубоких карьерах // Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 8. — С. 35—38. DOI: 10.24000/0409-2961-20218-35-38.

18. *Цыганков Д. А.* Экологические проблемы рекультивации карьерной выемки // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2022. — № 9. — С. 52—56. DOI: 10.17513/mjpfi.13440.

19. *Амосов П. В.*, *Бакланов А. А.* Численное моделирование процессов естественного проветривания карьера при вариации его глубины в условиях инверсионного состояния атмосферы // Горная промышленность. — 2023. — № 5S. — С. 65—71. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-5S-65-71.

20. *Голик В. И.* Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации // Обогащение руд. — 2010. — № 5. — С. 38—40.

21. *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. — 2023. — № 11-1. — С. 175—189. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_175.

22. *Дьяченко В. В.*, *Туркин В. А.* Геохимический анализ и оценка атмосферного загрязнения от горных предприятий и карьеров в районе Новороссийска // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2025. — № 1. — С. 284—293. ГИАБ

REFERENCES

1. Golik V. I., Ismailov T. T., Ismailov B. T., Melkov D. A. Geological methods of studying massifs. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2009, no. 3, pp. 89—93. [In Russ].

2. Rastanina N. K., Kolobanov K. A. The impact of anthropogenic dust pollution on the ecosphere and human health of a closed mining enterprise in the Amur region. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, no. 6(1), pp. 16—22. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-16-22.

3. Kongar-Syuryun C., Klyuev R., Golik V., Oganesyan 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, article 0044. DOI: 10.3390/urbansci8020044.

4. Luo H., Zhou W., Jiskani I. M., Wang Z. Analyzing characteristics of particulate matter pollution in open-pit coal mines: Implications for green mining. *Energies*. 2021, vol. 14, no. 9, article 2680. DOI: 10.3390/en14092680.

5. Wang Y., Du C., Xu H. Key factor analysis and model establishment of blasting dust diffusion in a deep, sunken open-pit mine. *ACS Omega*. 2021, vol. 6, no. 1, pp. 448—455.

6. Korystova M. The impact of human activity on the environment and public health. *Education and Science in the 21st century*. 2025, vol. 4, pp. 62—64. [In Russ].

7. 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, no. 7, pp. 76—87. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_76.

8. Antonyuk K. V. The impact of quarrying on the animal and plant world, as well as on human activity. *Nauka cherez prizmu vremeni*. 2022, no. 5, pp. 62. [In Russ].

9. Yu J., Li Z., Wang W. Influence of gas outburst dynamic flow on mine ventilation system. *AIP Advances*. 2021, vol. 11, no. 7, article 075223. DOI: 10.1063/5.0052080.

10. Babkin R. S., Kolvakh K. A., Baraboshkin I. A. Reduction in emission of nitrogen oxides in massive blasting in open pit mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025, no. 2, pp. 16—27. [In Russ]. DOI: 10.25018/ 0236_1493_2025_2_0_16.

11. Bosikov I. I., Urtaev G. O., Kelekhsaeva A. B. Analysis of patterns of automated control systems for technological processes of air supply of coal mines. *Science Prospects*. 2024, no. 4 (175), pp. 67—69. [In Russ].

12. Ismailov B. T. *Ekologo-ekonomicheskoe obosnovanie tekhnologii minimizatsii pylegazovogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy posredstvom ratsionalizatsii parametrov nagornykh dolomitovykh kar'erov* [Ecological and economic development of technology for minimizing dust and gas pollution of the environment by rationalizing the parameters of upland dolomite quarries], Candidate's thesis, Moscow, 2013, 24 p.

13. Skopintseva O. V., Ganova S. D., Buzin A. A., Fedotova V. P. Measures to reduce dusting during loading and transportation of solid mineral resources. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no. 12, pp. 76—79. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.16.

14. Kachurin N. M., Stas G. V., Prokhorov D. O., Gavrina O. A. Selection of technologies and directions for reducing the technogenic impact of mineral formations on the environment. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024, vol. 16, no. 1, pp. 283—291. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-283-291.

15. Cheng P., Li Y., Lu C., Jiang S., Xu H. Study on blasting effect optimization to promote sustainable mining under frozen conditions. *Sustainability*. 2022, vol. 14, no. 24, article 16479. DOI: 10.3390/ su142416479.

16. Andreev A. A., Masloboev A. V. Software module for calculating the natural ventilation time of a quarry (using the example of the Zhelezny mine of Kovdorsky GOK JSC). *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»* [Proceedings of the International Symposium «Reliability and Quality»], Penza. 2021, vol. 1, pp. 273—276. [In Russ].

17. Dragunsky O. N., Rivkin M. Changes in atmospheric pressure as an unfavorable factor of work in deep quarries. *Occupational Safety in Industry*. 2021, no. 8, pp. 35—38. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-20218-35-38.

18. Tsygankov D. A. Ecological problems of quarry excavation reclamation. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2022, no. 9, pp. 52—56. [In Russ]. DOI: 10.17513/mjpfi.13440.

19. Amosov P. V., Baklanov A. A. Numerical modeling of natural ventilation processes in an open pit mine at its various depths in inversion atmospheric conditions.*Russian Mining Industry Journal*. 2023, no. 5S, pp. 65—71. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-5S-65-71.

20. Golik V. I. Extraction of metals from enrichment tailings by combined activation methods. *Obogashchenie Rud*. 2010, no. 5, pp. 38—40. [In Russ].

21. Golik V. I., Kukartsev V. A., Panfilova T. A., Tynchenko V. S., Konyukhov V. Yu. The mechanochemical activation of leaching processes in a disintegrator. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 11-1, pp. 175—189. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_175.

22. Dyachenko V. V., Turkin V. A. Geochemical analysis and assessment of atmospheric pollution from mining enterprises and quarries in the Novorossiysk area of extraction. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2025, no. 1, pp. 284—293. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Голик Владимир Иванович — д-р техн. наук, профессор,
Московский политехнический университет,
e-mail: v.i.golik@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1181-8452.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

V.I. Golik, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Moscow Polytechnic University,
107023, Moscow, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-1181-8452.

Получена редакцией 02.06.2026; получена после рецензии 13.07.2026; принята к печати 10.11.2026.
Received by the editors 02.06.2026; received after the review 13.07.2026; accepted for printing 10.11.2026.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ
(специальный выпуск), смотри на www. gornaya-kniga.ru

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДАННЫХ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
(2026, № 10, СВ 30, 30 с.)

Маневич А. И., Алешин М. В., Лосев И. В., Москаленко И. В., Маркина А. О. Развитие программной библиотеки pygeostrain для деформационного анализа данных маркшейдерско-геодезического мониторинга

Мельников А. Ю., Поддубский А. А., Н. Резаиан, Нажмутдинов Р. А. О возможности переноса нейросетевого прогноза поля скоростей по признакам рельефа на разреженную региональную сеть ГНСС

Шевчук Р. В., Докукин П. А., Байрамов А. Н., Татаринов В. Н. Методика локальной оценки современной кинематики разломов по данным ГНСС и ее апробация на Западном Кавказе

MODERN METHODS OF ANALYSIS AND MODELING OF DATA FROM SURVEYING AND GEODETIC MONITORING OF DEFORMATION PROCESSES

Manevich A. I., Aleshin M. V., Losev I. V., Moskalenko I. V., Markina A. O. Development of the pygeostrain software library for strain analysis of mine surveying and geodetic monitoring data

Melnikov A. Yu., Poddubsky A. A., Rezaeian N., Nazhmutdinov R. A.On the possibility of transferring the neural network prediction of the velocity field based on terrain features to a sparse regional GNSS network

Shevchuk R. V., Dokukin P. A., Bayramov A. N., Tatarinov V. N. Method for local assessment of present-day fault kinematics from gnss data and its application to the Western Caucasus