

# Оценка воздействия на приземный слой атмосферного воздуха при отработке месторождений открытым способом

Н.Ю. Антонинова ✉, Я.А. Кузнецова, А.В. Собенин, А.И. Усманов

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация  
✉ natal78@list.ru

**Резюме:** Работа посвящена анализу проектируемых технических решений, выявлению перечня источников выбросов и их вкладов при оценке воздействия на атмосферный воздух. Цель работы – установить различия в подходах к оценке химического воздействия на окружающую среду с учетом многокомпонентности состава пыли для определения достаточности ориентировочной санитарно-защитной зоны и перечня контролируемых веществ в процессе мониторинга. Приведен анализ технических решений и существующих исходных данных на примере месторождения, видом деятельности которого является добыча полевошпатовых руд с применением буровзрывных работ. А также изменение формирования изолиний концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе при различном учете многокомпонентного состава пыли для максимально-разовых, долгопериодных и среднесуточных предельно-допустимых концентраций, установленных законодательством РФ. Анализ результатов показал, что максимальные приземные концентрации, генерируемые источниками выбросов в период добычи полезных ископаемых, в контрольных населенных пунктах на границе санитарно-защитной зоны и на границе ближайшей жилой застройки не превышают гигиенических нормативов качества, установленных для атмосферного воздуха. Принимая во внимание текущее состояние окружающей среды, расположение земельного участка, а также свойства горных пород, полученные результаты позволяют сделать вывод о допустимости разработки месторождения.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, расчет выбросов, расчет рассеивания, загрязняющие вещества, неорганическая пыль

**Благодарности:** Статья подготовлена в рамках Государственного задания №075-00410-25-00 ПР. Тема 2 (2025–2027). Геоинформационное обеспечение системной оценки стратегий природосбережения при освоении ресурсов недр (FUWE-2025-0002), пер. №1022040300092-1-1.5.1.

**Для цитирования:** Антонинова Н.Ю., Кузнецова Я.А., Собенин А.В., Усманов А.И. Оценка воздействия на приземный слой атмосферного воздуха при отработке месторождений открытым способом. *Горная промышленность*. 2026;(3):0114–119. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-3-114-119>

## Assessing the impact on the surface layer of atmospheric air during open-pit mining

N.Y. Antoninova ✉, Ya.A. Kuznetsova, A.V. Sobenin, A.I. Usmanov

Institute of Mining Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation  
✉ natal78@list.ru

**Abstract:** The work analyzes projected engineering solutions, identification of the emission sources and their contribution in assessing the impact on atmospheric air. The research aims to identify the differences in approaches to assessing the chemical effects on the environment with account of the multicomponent composition of the dust in order to determine the adequacy of the approximate sanitary protection zone and the list of the substances controlled in the monitoring process. Engineering solutions and the existing source data have been analyzed using the case of a deposit where feldspar ores are mined using drilling and blasting operations. Changes in the formation of isolines of atmospheric pollutants in the air was also studied with different accounts of the multicomponent composition of the dust for maximum single, long-term and average daily maximum permissible concentrations established by the legislation of the Russian Federation. Analysis of the results revealed that the maximum ground-level concentrations generated by the emission sources during the mining operations in the reference settlements located at the boundary of the sanitary protection zone and at the boundary of the nearest residential area do not exceed the health standards for atmospheric air quality. Taking into account the current state of the environment, the location of the land plot, as well as the properties of the rock formations, the results obtained make it possible to conclude that the development of the deposit is permissible.

**Keywords:** atmospheric air, emissions calculation, dispersion calculation, pollutants, inorganic dust

**Acknowledgments:** The paper was prepared within the framework of the State Contract No.075-00410-25-00 PR. Topic 2 (2025-2027). ‘Geoinformation support for a system-level assessment of nature conservation strategies in mineral resources development’ (FUWE-2025-0002), reg. No.1022040300092-1-1.5.1.

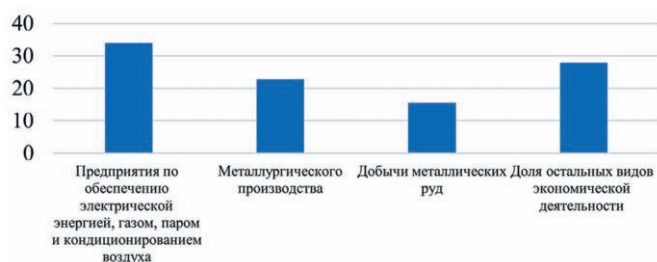
**For citation:** Antoninova N.Y., Kuznetsova Ya.A., Sobenin A.V., Usmanov A.I. Assessing the impact on the surface layer of atmospheric air during open-pit mining. *Russian Mining Industry*. 2026;(3):114–119. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-3-114-119>

## Введение

Россия – одна из самых промышленно развитых стран мира. Однако развитие промышленности, как правило, сопровождается техногенной трансформацией окружающей среды, миграцией загрязняющих веществ далеко за пределы сложившейся природно-технической системы [1–3]. Загрязнение воздуха при отработке месторождений является ключевой проблемой в связи с необходимостью разработки наилучших доступных технологий по пылеподавлению, газоочистке, а также внедрения систем мониторинга [4–6]. Кроме того, достаточно актуальной задачей, вызванной потребностью в повышении точности оценки воздействия, адаптации к новым технологиям, является совершенствование методик экологической оценки, нормирования выбросов. Это особенно важно на этапе проектирования, так как принятые решения и обоснования закладывают экологические требования на весь жизненный цикл месторождения [7; 8].

По данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования общий объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников на территории Российской Федерации в 2024 г. составил 17,092 млн т, из них 1,71 млн т твердых загрязняющих веществ, 15,37 жидких и газообразных загрязняющих веществ<sup>1</sup>. Причем наибольший вклад (около 65%) в суммарные выбросы согласно статистическим данным Федеральной службы государственной статистики вносили предприятия по добыче полезных ископаемых, обрабатывающие производства.

Свердловская область, обладая мощным промышленным потенциалом, характеризуется превышением нормативов содержания в атмосферном воздухе измеряемых загрязняющих веществ: оксида азота, диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода, сероводорода и озона [9, с. 13]. Весомый вклад вносит горнодобывающий сектор экономики [9, с. 148] (рис. 1).



**Рис. 1**  
Доля выбросов загрязняющих веществ для различных производств по Свердловской области, %

**Fig. 1**  
The share of pollutant emissions from various industries in the Sverdlovsk Region, %

В связи с вышеизложенным оценка потенциальных рисков химического воздействия, в том числе и необходимость отдельного нормирования компонентов пыли, установление границы рассеивания загрязняющих веществ до уровня предельно допустимых концентраций и разработка мер по минимизации негативного воздействия является одной из основных задач природопользователя при обосновании реализации хозяйственной деятельности на стадии разработки проектных решений.

## Материалы и методы

Основными положениями оценки воздействия на атмосферный воздух являются:

1. Проведение расчета выброса загрязняющих веществ в целях разработки нормативов выбросов загрязняющих веществ и определения перечня контролируемых веществ.
2. Проведение расчета рассеивания загрязняющих веществ для обоснования границ рассеивания загрязняющих веществ до уровня предельно допустимых концентраций, обоснования расположения точек отбора проб атмосферного воздуха и определения наибольшего вклада от источника выбросов.

Перечень используемых методик для расчета выбросов загрязняющих веществ представлен в табл. 1.

Расчет рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе – это моделирование разнесения веществ в атмосферном воздухе в двухметровом слое над поверхностью земли на расстоянии не более 100 км от источника выброса. Расчет уровней загрязнения атмосферы выполняется в соответствии с методикой расчета рассеивания загрязняющих веществ и с помощью программы «УПРЗА Эколог», разработанной фирмой «Интеграл». Граница химического воздействия на атмосферный воздух регламентируется концентрацией веществ, формируемой изолинией 1 ПДК и классифицируется как санитарно-защитная зона предприятия (далее – СЗЗ).

Основными полезными минералами руд месторождения являются полевые шпаты ( $K[AlSi_3O_8]-Na[AlSi_3O_8]$ ). Элементный состав отличается постоянством и характеризуется преобладающим содержанием кремния  $SiO_2$  – более 70% для руды и от 20 до 70% – для рыхлых вскрышных пород.

Основные технологические операции, осуществляемые при добыче материала:

- проведение подготовительных работ по снятию почвенно-растительного слоя (ПСП);
- буровзрывные работы;
- экскавация горной массы;
- транспортировка руды на склад руды и вскрышных пород на отвалы;
- планировочные работы.

<sup>1</sup> Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Режим доступа: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/air-protect/> (дата обращения: 13.02.2026).

**Таблица 1**  
Перечень методик для расчета выбросов загрязняющих веществ

**Table 1**  
A list of methodologies for calculating pollutant emissions

Наименование методики	Применение
Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров, утвержденные приказом Госкомэкологии России №199 от 08.04.1998 г. Учтены дополнения от 1999 г., введенные НИИ Атмосфера. Письмо НИИ Атмосфера от 29.09.2000 г. по дополнению расчета выбросов на АЗС	Расчет выбросов при заправке топливом
Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (Дополненное и переработанное), НИИ Атмосфера, Санкт-Петербург, 2012 г.	
Приказ Министерства энергетики РФ от 13 августа 2009 г. №364 Об утверждении норм естественной убыли нефтепродуктов при хранении (в ред. Приказа Минэнерго РФ от 17.09.2010 №449)	
Методическое письмо НИИ Атмосфера №07-2-465/15-0 от 06.08.2015 г.	Расчет выбросов при внутреннем проезде автотранспорта и работы технологического оборудования от работы двигателей внутреннего сгорания
Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом), Москва, 1998 г., с дополнениями и изменениями к Методике проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортных предприятий (расчетным методом), Москва, 1999 г.	
Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для авторемонтных предприятий (расчетным методом), Москва, 1998 г.	
Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (расчетным методом), Москва, 1998 г.	
Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей), Люберцы, 1999.	Расчет выбросов при проведении взрывных работ, горных работ, проезде автотранспорта, пылении складов и отвалов, погрузки / разгрузке вскрышных работ и руды
Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, Санкт-Петербург, 2012 г.	
Письмо НИИ Атмосфера №07-2-453/15-0 от 29.07.2015 г.	
Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов, Новороссийск, 2001 г.	Расчет выбросов при проезде автотранспорта, пересыпки пылящих материалов, проведении буровых работ, взрывных работ, планировки поверхности, пыление склада или хвостохранилища
Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, Санкт-Петербург, 2012 г.	
Письмо НИИ Атмосфера №07-2/930 от 30.08.2007 г.	
Письмо НИИ Атмосфера №07-2/929 от 30.08.2007 г.	
Отраслевая методика расчета количества отходящих, уловленных и выбрасываемых в атмосферу вредных веществ предприятиями по добыче угля, Пермь, 2003 г.	
Письмо НИИ Атмосфера №1-2157/11-0-1 от 25.10.2011 г.	
Письмо НИИ Атмосфера №07-2-746/12-0 от 14.12.2012 г.	Проведение ремонтных работ
Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при сварочных работах (на основе удельных показателей), НИИ Атмосфера, Санкт-Петербург, 1997 г.	

**Результаты и их обсуждение**

После анализа месторасположения земельного участка района работ проводится инвентаризация источников выбросов, при которой определяется перечень источников выделения, их параметры, режим работы и месторасположение. Далее по утвержденным методикам расчета выбросов министерством природных ресурсов проводится расчет выбросов загрязняющих веществ, представленных в табл. 1. Установлено, что в выбросах предприятия присутствуют вещества 19 наименований, из них жидких и газо-

образных – 9 веществ, твердых – 10 веществ, в том числе пыль неорганическая с содержанием диоксида кремния от 20 до 70% и выше 70%. Учитывая многокомпонентный состав образующейся пыли, необходимость отдельного нормирования компонентов устанавливается на основе коэффициента<sup>2</sup>:

$$R_i = X_i * K_i * ПДК_{\text{по SiO}_2} * G_{ni}$$

<sup>2</sup> ОАО «НИИ Атмосфера»: методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб.; 2012, с. 183.

Таблица 2  
Результат расчета учета компонентов пыли для руды и пустой породы нормируемых веществ согласно Распоряжению Правительства РФ от 20.10.2023 №2909-р

Table 2  
Results of calculations to account for the dust components in the ore and gangue rocks of regulated substances in accordance with Order of the Government of the Russian Federation No.2909-r as of October 20, 2023

Вещество	Класс опасности	Руда, %	Рыхлая вскрыша, %	$X_i$ (руда/рыхлая вскрыша)	$G_{ni}$ , мг/м <sup>3</sup>	$K_i$	$R_i$ (руда/рыхлая вскрыша)	Учет
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2	14,58%	14,69%	0,146/0,147	0,01	1,89	2,8/1,39	+
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	0,54%	0,95%	0,005/0,010	0,004	5,72	0,8/0,7	-
MgO	3	0,1%	0,16%	0,001/0,001	0,05	1,66	0,003/0,002	-

где  $X_i$  – содержание  $i$ -го вещества в суммарном выбросе твердых веществ, в долях;  $G_{ni}$  – гигиенический норматив содержания компонента, мг/м<sup>3</sup>; ПДК<sub>SiO<sub>2</sub></sub> – ПДК неорганической пыли с нормированным содержанием диоксида кремния, мг/м<sup>3</sup> (для пыли с содержанием кремния от 20 до 70% составляет 0,1 мг/м<sup>3</sup>; для пыли с содержанием кремния более 70% составляет 0,05 мг/м<sup>3</sup>);  $K_i$  – стехиометрический коэффициент, учитывающий соотношение молекулярных масс нормируемого и фактически присутствующего в выбросе вещества, определяется по формуле:

$$K_i = n * M_c * M_i,$$

где  $M_c$  – молекулярная (атомная) масса вещества, г/моль;  $M_i$  – молекулярная (атомная) масса  $i$ -го компонента, г/моль;  $n$  – количество молекул (атомов) в уравнении пересчета химических формул.

Результат расчета нормирования компонентов пыли для руды и рыхлой вскрыши представлен в табл. 2.

Согласно полученным результатам учет компонента в составе пыли требуется только для Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Для обоснования необходимости учета компонентного состава при пылевой нагрузке проведено моделирование рассеивания загрязняющих веществ по восьми вариантам:

1, 2 – на период производства взрывных работ нормирование максимально-разовых концентраций загрязняющих веществ с учетом и без учета Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

3, 4 – на период производства горных работ нормирование максимально-разовых концентраций загрязняющих веществ с учетом и без учета Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

5, 6 – на период производства горных работ нормирование долгопериодных концентраций загрязняющих веществ с учетом и без учета Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

7, 8 – на период производства горных работ нормирование среднесуточных концентраций загрязняющих веществ с учетом и без учета Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Результаты расчета рассеивания максимально-разовых концентраций при проведении взрывных работ составили: не более 0,83 ПДК на границе СЗЗ и не более 0,37 ПДК на нормируемых зонах. Также хотелось бы отметить, что формирование изолинии в 1 ПДК в месте проведения работ гораздо меньше, чем у границ СЗЗ, это связано с высотой формирующегося пылегазового облака и коэффициента оседания загрязняющего вещества.

Результаты расчета рассеивания максимально-разовых концентраций при проведении горных работ составили: не более 0,68 ПДК на границе СЗЗ и не более 0,27 ПДК на нормируемых зонах. Результаты расчета рассеивания долгопериодных концентраций составили: не более 0,78 ПДК на границе СЗЗ и не более 0,58 ПДК на нормируемых зонах.

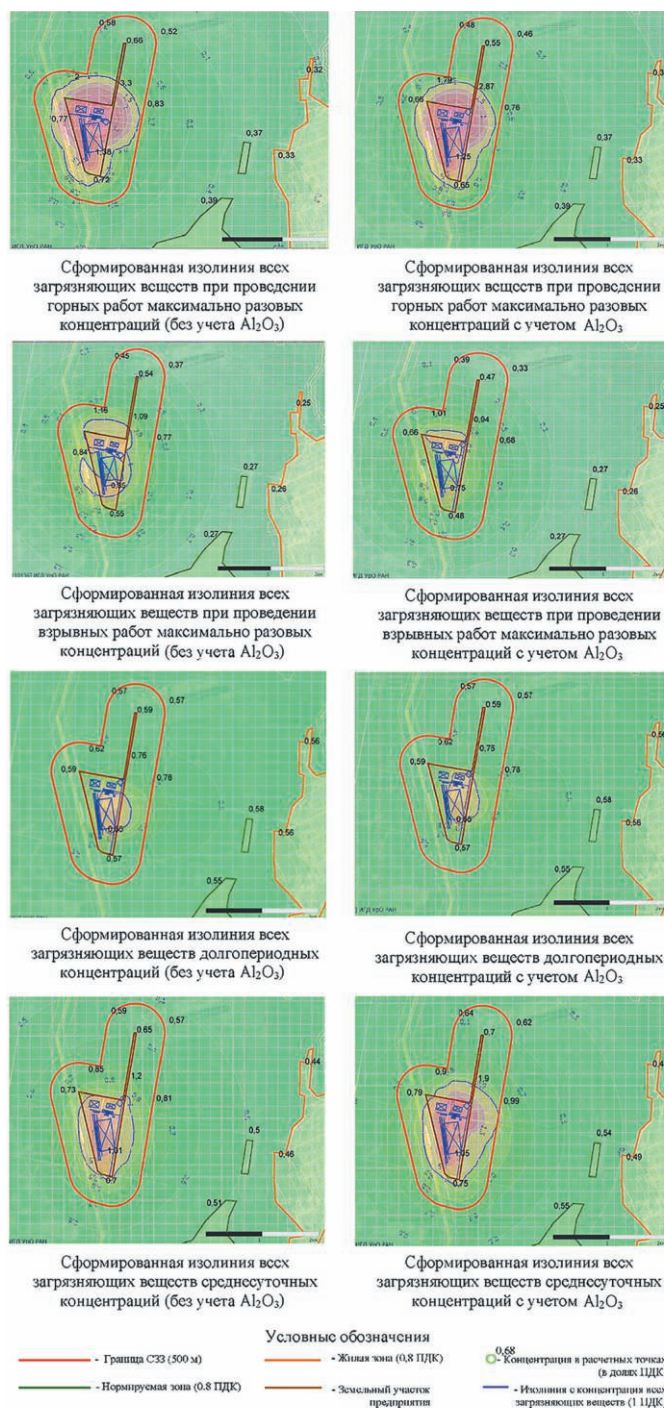


Рис. 2  
Результаты расчета рассеивания загрязняющих веществ (в рис Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Fig. 2  
Results of calculating the pollutant dispersion

Результаты расчета рассеивания среднесуточных концентраций составили: не более 0,99 ПДК на границе СЗЗ и не более 0,54 ПДК на нормируемых зонах (рис. 2).

Уменьшения концентраций загрязняющих веществ в расчетных точках в варианте расчетов максимально-разовых концентраций связано с отсутствием установленных предельно допустимых концентраций для  $Al_2O_3$ .

Данные результаты подтверждают во всех случаях соблюдение гигиенических нормативов на границе СЗЗ (1 ПДК) и нормируемых зон (0,8 ПДК). На формирование изолиний концентраций загрязняющего вещества влияют: масса выбросов; существующее положение – фоновые концентрации загрязняющих веществ; расположение предприятия, источников выбросов относительно нормируемых зон; высота источников выброса; роза ветров; коэффициент рельефа, зависящий от перепада высот и оседания загрязняющего вещества.

### Заключение

Принимая во внимание текущее состояние окружающей среды, расположение земельного участка, а также свойства горных пород, полученные результаты позволяют сделать вывод о допустимости разработки месторождения.

При использовании существующих методов учета пыле-

видных компонентов было установлено, что концентрации  $Al_2O_3$  следует учитывать при его содержании более 0,3% в руде (неорганическая пыль >70%  $SiO_2$ , содержание  $Al_2O_3$  – 14,58%) и более 0,6% во вскрышной породе (неорганическая пыль 70–20%  $SiO_2$ , содержание  $Al_2O_3$  – 14,69%) [10].

Согласно результатам анализа включение  $Al_2O_3$  в компонентный состав пыли оказывает наибольшее влияние на среднесуточные концентрации при погрузке руды в самосвалы. Для среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в расчетных точках изменений нет, но формирование изолиний 1 ПДК также расширяется из-за запыления во время работы погрузчика на складе руды. При расчете разброса максимальных разовых концентраций наблюдается снижение общей концентрации в расчетных точках из-за отсутствия нормализации предельно допустимой концентрации для  $Al_2O_3$ .

Анализ результатов показал, что максимальные приземные концентрации, генерируемые источниками выбросов в период добычи полезных ископаемых, в контрольных населенных пунктах на границе санитарно-защитной зоны и на границе ближайшей жилой застройки не превышают гигиенических нормативов качества, установленных для атмосферного воздуха.

### Список литературы / References

1. Елохин В.А. Геохимическая трансформация почв в зоне влияния шлакового отвала за период 2006–2020 гг. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(11-1):98–110. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_111\\_0\\_98](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_111_0_98)  
Elokhin V.A. Geochemical transformation of soil in the influence zone of ash dump in 2006–2020. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(11-1):98–110. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_111\\_0\\_98](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_111_0_98)
2. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Проблемы реабилитации гидросферы горнопромышленных территорий на постэксплуатационном этапе. В кн.: *Гидрогеология: прошлое, настоящее и будущее: материалы 1-й науч.-практ. конф., Москва, 4–6 марта 2024 г.* М.: Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе; 2024. С. 149–154.
3. Корнилков С.В., Антонинова Н.Ю., Собенин А.В., Усманова В.А., Усманов А.И. Об основных положениях методики проектирования мероприятий, локализирующих миграцию тяжелых металлов в почвах и техногенных грунтах. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2024;(6):85–94. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-6-85-94>  
Kornilkov S.V., Antoninova N.I., Sobenin A.V., Usmanova V.A., Usmanov A.I. On the main provisions of the methodology for designing measures that localize the migration of heavy metals in soils and technogenic soils. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024;(6):85–94. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-6-85-94>
4. Галченко Ю.П., Цыгулёв К.С., Озарян Ю.А., Кожевникова Т.В., Орлов С.А. Алгоритм оценки состояния фитоценозов естественной биоты земли на территориях депонирования техногенной пыли добывающих предприятий. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2025;(3):195–201. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20250319>  
Galchenko Yu.P., Tsygulev K.S., Ozaryan Yu.A., Kozhevnikova T.V., Orlov S.A. Assessment algorithm for plant communities of natural biota in areas of mine dust deposition. *Journal of Mining Science*. 2025;61(3):518–524.
5. Корнилков С.В., Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Смирнов А.Ю. Геоинформационный мониторинг для решения экологических задач горнопромышленных территорий Среднего Урала. *Горная промышленность*. 2022;(1S):127–133. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-127-133>  
Kornilkov S.V., Rybnikova L.S., Rybnikov P.A., Smirnov A.Yu. Geoinformation monitoring for solving environmental problems of mining territories of the Middle Ural. *Russian Mining Industry*. 2022;(1 Suppl.):127–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-127-133>

6. Семячков А.И., Почечун В.А. Методологические основы оценки воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2021;13(2):215–223.  
Semyachkov A.I., Pochechun V.A. Estimation methodology of mining industrial complexes impact on environment. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021;13(2):215–223. (In Russ.)
7. Соколовский А.В., Пикалов В.А., Терешина М.А. Вопросы проектирования эффективных горнодобывающих предприятий. *Горная промышленность*. 2023;(2):22–24. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-2-22-24>  
Sokolovskiy A.V., Pikalov V.A., Tereshina M.A. Issues in designing efficient mining operations. *Russian Mining Industry*. 2023;(2):22–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-2-22-24>
8. Соколовский А.В., Терешина М.А., Пикалов В.А., Заляднов В.Ю. Выбор стратегии развития горного предприятия с учетом экологических ограничений (на примере месторождения известняка). *Горная промышленность*. 2022;(4):75–81. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-75-81>  
Sokolovsky A.V., Tereshina M.A., Pikalov V.A., Zalyadnov V.Y. Selecting a development strategy for a mining company with account of environmental constraints (as exemplified by a limestone deposit). *Russian Mining Industry*. 2022;(4):75–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-75-81>
9. Сафронов А.В., Ламберг Т.В., Власов И.В., Котовщиков А.В., Кузнецов А.К., Тужиков Р.С. и др. *О состоянии окружающей среды на территории Свердловской области в 2024 году: государственный доклад*. Екатеринбург; 2025. 368 с.
10. Антонинова Н.Ю., Кузнецова Я.А., Усманов А.И., Собенин А.В. *Геоинформационное обеспечение системной оценки стратегий природосбережения при освоении ресурсов недр*. Свидетельство о регистрации базы данных №2025624600/21.10.2025. 2025.

#### **Информация об авторах**

**Антонинова Наталья Юрьевна** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8503-639X>; e-mail: natal78@list.ru

**Кузнецова Ярослава Артемовна** – младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7808-8474>; e-mail: yaroslava.brusnitsyna@mail.ru

**Собенин Артём Вячеславович** – научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-5513-5680>; e-mail: arsob@yandex.ru

**Усманов Альберт Исмагилович** – научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-3650-0467>; e-mail: albert3179@mail.ru

#### **Information about the authors**

**Natalya Y. Antoninova** – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory of Mining Ecology, Institute of Mining Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8503-639X>; e-mail: natal78@list.ru

**Yaroslava A. Kuznetsova** – Researcher at the Laboratory Mining Ecology, Institute of Mining Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7808-8474>; e-mail: yaroslavl.brusnitsyna@mail.ru

**Artem V. Sobenin** – Researcher at the Laboratory of Mining Ecology, Institute of Mining Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-5513-5680>; e-mail: arsob@yandex.ru

**Albert I. Usmanov** – Researcher at the Laboratory of Mining Ecology, Institute of Mining Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-3650-0467>; e-mail: albert3179@mail.ru

#### **Article info**

Received: 21.02.2026

Revised: 24.03.2026

Accepted: 30.03.2026

#### **Информация о статье**

Поступила в редакцию: 21.02.2026

Поступила после рецензирования: 24.03.2026

Принята к публикации: 30.03.2026