

# Эколого-технологические аспекты выпуска угольной продукции потребителям арктических районов Республики Саха (Якутия)

В.И. Федоров✉

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск,  
Российская Федерация  
✉ fonariwe@gmail.com

**Резюме:** Комплексное развитие арктических районов России является очень сложной долгосрочной стратегией, которая направлена не только на изучение и освоение новых территорий, добычу полезных ископаемых и т.д., но и на сохранение уникальной природной среды и совершенствование адаптированных к экстремальным климатическим условиям природосберегающих технологий. Добыча и использование угля для выработки теплоэнергии наносят значительный ущерб окружающей среде и являются одними из наиболее опасных видов деятельности человека. По этой причине возникает необходимость в оценке влияния цепочки поставок угольной продукции на рост зон локального загрязнения естественных экосистем Арктики. Добытый уголь в условиях Крайнего Севера теряет свои первоначальные качественные характеристики, особенно при перевалках, хранении и долгосрочной доставке. В первую очередь изменяется исходный гранулометрический состав, что приводит к образованию большого количества мелкодисперсного угля. Анализ цепочки поставок угольной продукции потребителям арктических районов Республики Саха (Якутия) показал, что при использовании угля низкого качества с высоким содержанием мелочи происходят заметные выбросы вредных твердых веществ. Путем изучения космических снимков и расчетов естественной убыли угля проведена оценка зон загрязнения, на основе которой сформирован комплекс мер по снижению образований причин загрязнения угольной пылью и продуктами сгорания твердого топлива в арктических территориях республики.

**Ключевые слова:** добыча полезных ископаемых, экология, загрязнение окружающей среды, уголь, Арктика, Крайний Север, ветровая эрозия, пыль

**Благодарности:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФР рамках научного проекта №24-28-20376.

**Для цитирования:** Федоров В.И. Эколого-технологические аспекты выпуска угольной продукции потребителям арктических районов Республики Саха (Якутия). *Горная промышленность*. 2024;(6):152–157. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-152-157>

## Ecological and technological aspects of coal production for consumers in the Arctic regions of the Sakha Republic (Yakutia)

V.I. Fedorov✉

Institute of Mining of the North named after N.V. Chersky, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk,  
Russian Federation  
✉ fonariwe@gmail.com

**Abstract:** Integrated development of the Russian Arctic regions constitutes a very complex long-term strategy aimed not only at exploring and developing new territories and mining useful minerals, but also at preserving the unique natural environment and improving the resource-saving technologies adapted to extreme climatic conditions. Production and use of coal for heat energy generation cause significant damage to the environment and represent one of the most dangerous human activities. For this reason, there is a need to assess the impact of the coal supply chain on the growth of the localized pollution zones in the natural ecosystems of the Arctic. Coal produced in the harsh conditions of the Far North loses its original quality, especially due to its transshipment, storage, and long-term transportation. The original particle size distribution primarily changes, significantly increasing the share of fine coal. An analysis of the coal supply chain to consumers in the Arctic regions of the Sakha Republic (Yakutia) revealed that using low-grade coals with a high content of fines results in significant emissions of harmful solid substances. By studying satellite images and calculating the natural loss of coal, an assessment of the pollution zones was made, based on which a comprehensive set of measures was developed to reduce the causes of pollution with coal dust and combustion by-products in the Arctic territories of the Republic.

**Keywords:** mining of useful minerals, ecology, environmental pollution, coal, Arctic, Far North, wind erosion, dust

**Acknowledgments:** The research was conducted with financial support from the Russian Science Foundation (RSF) under scientific project No. 24-28-20376.

**For citation:** Fedorov V.I. Ecological and technological aspects of coal production for consumers in the Arctic regions of the Sakha Republic (Yakutia). *Russian Mining Industry*. 2024;(6):152–157. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-152-157>

**Введение**

Одной из наиболее перспективных и слабоосвоенных территориальных зон России является арктическая часть Республики Саха (Якутия) (РС(Я)), включающая в себя 13 муниципальных районов, расположенных на огромной территории площадью 1605 тыс. км<sup>2</sup>. Особенности арктических регионов определяются суровыми природно-климатическими условиями, недостаточной развитостью производственной инфраструктуры и крайне низким уровнем освоения. К положительным аспектам можно отнести: залежание значительных запасов полезных ископаемых, а также наличие зон экологического комфорта с сохраненной в естественном виде природной средой [1]. При этом общее экологическое положение в арктических регионах республики оценивается как напряженное. Согласно государственному отчету «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2017 году» Якутия испытывает наибольшую антропогенную нагрузку среди всех субъектов Дальнего Востока России<sup>1</sup>. В докладах Государственного собрания Республики Саха обозначены проблемы состояния окружающей среды от технологического воздействия (добыча, хранение, переработка и использование ПИ) и растущее число экологических нарушений на многих северных территориях республики, что усиливает угрозу возникновения экологического напряжения<sup>2</sup>.

По данным Росстата за 2023 г., здесь проживало чуть менее 65 тыс. человек, в том числе около 35 тыс. человек (54%) в районных центрах<sup>3</sup>. Остальное население (30 тыс. человек) проживало в малых селах. Плотность населения составляет всего 0,04 человека на один квадратный километр, что является самым низким показателем в России. На долю населенных пунктов с числом жителей менее 500 человек приходилось более 46%, что создает дополнительные трудности при обеспечении топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР) местного населения арктической зоны.

Цепочка поставок угольной продукции включает в себя основные технологические звенья (рис. 1), которые имеют особенную специфику работы в удаленных и труднодоступных районах РС (Я) [2].

С учетом перспектив развития арктических территорий возникает необходимость в корректировке, обосновании и разработке новых эффективных схем углеснабжения как для местных жителей, так и для промышленных объектов. Данный подход предполагает внедрение высококачественного и более экологичного твердого топлива, а также сокращение объемов загрязняющих выбросов и уменьшение



**Рис. 1**  
Блок-схема технологической цепочки поставок угольной продукции в арктические районы Республики Саха (Якутия)

**Fig. 1**  
A block diagram of the technological chain to supply coal products to the Arctic regions of the Republic of Sakha (Yakutia)

количества опасных отходов, образующихся в процессе производства тепловой энергии в действующих технологических цепочках поставок угольной продукции для потребителей в Арктике.

Несмотря на большое количество угольных проявлений и месторождений<sup>4</sup> в арктические районы твердое топливо поставляется из других регионов РФ (из Хакасии, месторождение Черногорское – в Усть-Янский район) и районов республики (из центральной Якутии, месторождения Джебарики Хая, Мироновское – в Усть-Янский и Верхоянский районы). Единственное угледобывающее предприятие, работающее в арктической зоне РС (Я), отрабатывает месторождение «Буор-Кемюсь», участок «Надеждинский», который расположен на площади Зырянно-Силяпского угольного района Зырянского каменноугольного бассейна. В административном отношении участок находится в Верхнеколымском районе Республики Саха, районный центр – пос. Зырянка – является наиболее крупным населенным пунктом численностью 2455 человек.

Среднегодовая производственная мощность АО «Зырянский угольный разрез» порядка 200 тыс. т угля марки Ж. Режим горных работ включает в себя два этапа: в холодный период года – добыча угля (сентябрь–апрель); в теплый период года – вскрышные работы (апрель–август). В рамках проекта запланирована комбинированная система для разработки вскрышных пород. Для бестранспортной вскрыши шагающий экскаватор ЭШ-10/70, для добычи угля – экскаваторы ЭКГ-5А и HYUNDAI R450LC-7. Уголь из забоя транспортируется автосамосвалами МАЗ 651608-221, а часть вскрышных пород – автосамосвалами БелАЗ-7547 [3]. Отгрузка угля потребителям производится навалом в рядовом виде с перевалками и хранением на складах

<sup>1</sup> Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр»; 2018. С. 713–714.

<sup>2</sup> Экологические проблемы арктических и северных территорий Республики Саха (Якутия) и их решение: Доклад В.Н. Губарева на Государственном Собрании (Ил Тумэн) Республики Саха Якутии. Режим доступа: <http://region.council.gov.ru/media/files/41d5960b422a4d163ca9.pdf> (дата обращения: 05.06.2024)

<sup>3</sup> Оценка численности населения Республики Саха (Якутия) по состоянию на 1 января 2024 года Здравоохранение в России. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Режим доступа: [https://14.rosstat.gov.ru/chisl\\_sostav](https://14.rosstat.gov.ru/chisl_sostav) (дата обращения: 11.06.2024)

<sup>4</sup> Угольная база России. Т. 5. Кн. 2: Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-ов Камчатка). М.: Геоинформмарк; 1999. 638 с. Режим доступа: <https://library.gorobr.ru/cache/medialib2/1eb2c0cb77595539/book.html> (дата обращения: 03.11.2024).



**Рис. 2**  
Схематическая карта цепочки поставок угольной продукции с АО «Зырянский угольный разрез» потребителям арктической зоны Республики Саха (Якутия)

**Fig. 2**  
A schematic map of the supply chain of coal products from the Zyryanskiy coal mine JSC to consumers in the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia)

(рис. 2). Качество выпускаемой угольной продукции соответствует ГОСТ 32345–2013, где отражены основные технические показатели зырянского угля: размер кусков 0–300 мм; зольность Ad ~16%; влага в рабочем состоянии Wtr ~7%; массовая доля кусков размером менее нижнего предела ~17%; низшая теплота сгорания рабочего топлива Q<sub>ir</sub> ~26 (6210) МДж/кг (ккал/кг) <sup>5</sup>.

При разработке угольных месторождений, перевалках, транспортировке и использовании угля происходит загрязнение окружающей среды пылегазовыми выбросами [4–6]. Загрязнения на разрезе происходят при буровзрывных, погрузочных, вскрышных работах, транспортировке угля и вскрыши, отвалообразовании. По результатам проведенных ранее исследований влияния на атмосферу работы малого угольного разреза в криолитозоне со схожими с АО «Зырянский угольный разрез» горно-геологическими условиями были получены данные по выбросам диоксида азота – 0 мг/м<sup>3</sup>, оксида углерода – 1 мг/м<sup>3</sup>, диоксида серы – 0,002 мг/м<sup>3</sup> и сероводорода – 0 мг/м<sup>3</sup>, которые не превышают максимально-разовых концентраций <sup>6</sup>. В работе [7] получены показатели удельных расчетных выбросов вредных примесей (кг/т у.т.) при сжигании Зырянского угля в котельных: окислы азота NO<sub>x</sub> ~0,4; оксид углерода CO ~39,6; соединение серы SO<sub>2</sub> ~39,6; углерод C ~187. В сравнении с углями других месторождений (Джебарики-Хая, Анадырского, Беренговского) суммарные расчетные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от использования зырянских углей несколько выше. Тем не менее разработка месторождения, транспортировка и использование угольной продукции, особенно низкого качества, сопровождаются значительными объемами пылевых выбросов, приводящих к характерным загрязнениям окружающей среды в зоне воздействия технологической цепочки поставок угля.

Причины возникновения и ущерб от твердых загрязняющих веществ при хранении и использовании угольной продукции в условиях Крайнего Севера

В процессе хранения и транспортировки добытый уголь

подвергается интенсивному выветриванию, что негативно сказывается на его потребительских свойствах, приводит к существенному изменению исходного гранулометрического состава (увеличение доли мелких фракций –6+0 мм с 5–10% до 30–40%). Помимо того, угольная пыль образуется при механическом воздействии на уголь, при экскавации, а также вследствие ветровой эрозии открытых штабелей угля. Влияние разрушительных факторов на уголь обуславливается природно-климатическими условиями, количеством циклов намокания и сушки, а также замораживания и оттаивания, качеством исходного сырья, темпами окислительных процессов, организацией складирования и условиями хранения [7; 8].

Эрозионные процессы при добыче, складировании, транспортировке и использовании угля являются главными причинами распространения угольной пыли. Выветривание угля и механическое воздействие приводят к измельчению материала, образованию мелкодисперсной пыли, которая легко переносится ветром на большие расстояния (табл. 1). При усилении скорости ветра наблюдается увеличение пылеобразования в нижних слоях атмосферы [9].

**Таблица 1**  
Размер частиц твердых загрязняющих веществ

**Table 1**  
Particle sizes of solid pollutants

Загрязнитель	Минимальный размер частиц, мкм	Максимальный размер частиц, мкм
Вольная пыль (зола-уноса)	1	180
Зола	1	100
Сажа	0,01	0,35

В теплый период года с пылящих поверхностей мелкие частицы сдуваются под действием ветра со скоростью более 3–5 м/с. Критическая скорость ветровой эрозии угля определяется воздействием воздушного потока на поверхность со скоростью от 3 до 50 м/с. В арктических районах скорость ветра может быть достаточно высокой, в зимние месяцы от 5 до 10 м/с, и может возрастать до 15–20 м/с в периоды сильных бурь. В летние месяцы скорость ветра обычно ниже и достигает 3–7 м/с. Частицы угольной пыли диаметром 1 мкм оседают на дневную поверхность в течение 6–7 ч. С учетом наличия воздушных потоков частицы 1–2 мкм практически не оседают на землю [10].

Из-за содержания токсичных веществ угольная пыль является угрозой для загрязнения почвы, поверхностных и подземных вод. В отечественных и зарубежных работах угольная пыль рассматривается как источник токсичных микроэлементов и полициклических ароматических углеводородов [11; 12]. Многие из этих компонентов могут оказывать стимулирующее воздействие, а также обладать канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами. Медицинские исследования [13] указывают, что частицы пыли размером от 2,5 до 10 мкм представляют наибольшую опасность для здоровья человека. Это связано с тем, что такие мелкие частицы способны проникать через верхние отделы дыхательных путей и достигать легких, где они могут оседать и вызывать повреждения легочной ткани.

<sup>5</sup> ГОСТ 32345–2013 «Угли Якутии для энерготехнологических целей. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2019.

<sup>6</sup> Оценка влияния Кангаласского угольного комплекса на окружающую среду: Препринт. Якутск: изд. ЯНЦ СО СССР; 1992. 40 с.

Рост экологической нагрузки на окружающую среду и на человека в ней происходит преимущественно за счет ветровой эрозии мелкодисперсного угля (угольная пыль) и продуктов его сгорания (органические примеси, зола, шлак, сажа, угольная пыль), загрязняющих природную среду, почву, атмосферу, водные объекты.

Таким образом, выбросы загрязняющих веществ наблюдаются на всех этапах технологической цепочки поставок угольной продукции потребителям арктических районов РС(Я), при этом повышенное внимание необходимо уделять этапам складирования и использования твердого топлива.

**Методика оценки экологической обстановки арктических районов РС(Я), использующих местную угольную продукцию в качестве основного твердого топлива**

На основе вышеизложенного анализа есть необходимость провести предварительную оценку загрязнения окружающей среды районов Крайнего Севера РС(Я) от воздействия вредных веществ при использовании угольной продукции низкого качества. Рассмотрим небольшой участок технологической цепочки поставок твердого топлива на примере пос. Зырянка, находящегося вблизи Зырянского угольного разреза (см. рис. 2).

Для контроля накопления пыли в объектах окружающей среды был выбран метод индукции снежного покрова путем анализа космоснимков в весенний период года с наступлением температуры воздуха 0 °С. Загрязняющие вещества, находящиеся во взвешенном состоянии, способны быстро распространяться и быть более подвижными и менее улавливаемыми в воздушной среде, что создает дополнительные сложности при анализе и оценке негативного воздействия на окружающую среду [14]. Благодаря исследованию снежного покрова возможна оценка загрязнения твердыми веществами от локальных технологических объектов в климатической зоне с долгосрочными отрицательными температурами воздуха и нормальным количеством осадков в холодный период года. Климатические параметры арктической зоны РС(Я) обладают всеми необходимыми показателями для данного метода экологической оценки.

Загрязнение снежного покрова проявляется в нескольких формах. Первая форма связана с гравитационным осаждением мелкодисперсных загрязняющих веществ из атмосферы. Вторая возникает, когда загрязняющие вещества участвуют в процессе образования твердых осадков. Третья заключается в загрязнении снега за счет веществ, поступающих с подстилающей поверхности [15]. Снежный покров является надежным индикатором не только загрязненности самих осадков, но и состояния атмосферного воздуха, так как он способен накапливать практически все вещества, которые попадают в атмосферу из различных источников. Рыхлый снег – особенно, он имеет высокую пористость и способен поглощать и удерживать твердые загрязняющие вещества, а также выбросы от различных технологических процессов. Снижение содержания минеральных веществ в снежном покрове наблюдается на расстоянии более 500 м от источника загрязнения [16]. От направления и скорости потоков ветра, свойств и концентрации взвешенных частиц будут зависеть геометрия и площадь загрязняемой территории.

**Результаты**

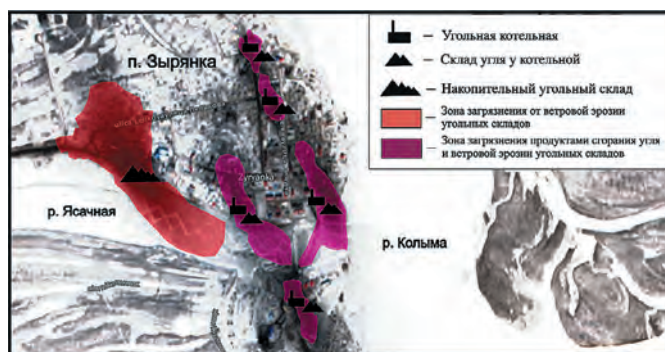
Анализ космических снимков и геопространственных данных объекта исследования показал, что за период 2019–2024 гг. картина загрязнений твердыми вредными веществами (органические примеси, угольная пыль, сажа, зола, шлак) кардинально не изменилась. Это показывает накопительный эффект загрязнений, который, вероятнее всего, способствует росту концентрации вредных веществ в зоне локального загрязнения. Общая площадь загрязнений снегового покрова 0,8 км<sup>2</sup>, что составляет порядка 30% от территории густонаселенного района п. Зырянка. Помимо сельской местности, вредная мелкодисперсная пыль попадает в р. Ясачная, участок загрязнения 0,30 км<sup>2</sup> по всей ширине реки и длине 1,35 км.

Все выделенные зоны имеют эллипсоидальную геометрическую форму, вытянутую с севера на юг, что соответствует значениям розы ветров данной местности. Распространение зоны загрязнения от угольного накопительного склада площадью 0,02 км<sup>2</sup> высотой 4–15 м составляет 0,36 км<sup>2</sup>. Радиус загрязнения с повышенной концентрацией мелких частиц 50–150 м, а видимая зона засорения мелкодисперсным углем достигает 1 км. Зона загрязнения продуктами сжигания угля с высоким содержанием мелких классов крупности (0–6мм) составляет 0,37 км<sup>2</sup> при среднегодовом объеме использования порядка 17 500 т. Выбросы в атмосферу, возникающие при сжигании угля с высоким содержанием мелочи и при неполном его сгорании, являются значительным источником загрязнений воздуха.



**Рис. 3**  
Космоснимок п. Зырянка (дата съёмки: 10 апреля, дневная температура 0 °С, ночная –16 °С)

**Fig. 3**  
A satellite image of the village of Zyryanka (date of capture: April 10, daytime temperature: 0°C, night time temperature: –16°C)



**Рис. 4**  
Зоны загрязнения угольной пылью и продуктами сгорания рядового угля с повышенной долей мелочи

**Fig. 4**  
Zones of pollution with coal dust and combustion products of the run-of-mine coal with a high content of fines

**Таблица 2**  
Расчет объемов естественной убыли угольной продукции в пос. Зырянка

**Table 2**  
Calculation of the volumes of natural loss of coal products in the settlement of Zyryanka

Процессы в технологических звеньях	Нормы убыли от массы груза, %	Объемы, т	Убыль, т
Автомобильная перевозка	0,2–0,5	до 200 000	400
Разгрузка	0,05–0,1	до 200 000	200
Складообразование	0,05–0,2	до 200 000	200
Хранение	0,35	до 200 000	700
Сжигание	4–9	17 500	1575
<b>Итого</b>			<b>3075</b>

Таким образом, существенными загрязнителями окружающей среды являются не только объекты энергоснабжения (котельные), но и склады добытого угля. Видимая площадь зоны загрязнения угольной пылью и продуктами сгорания твердого топлива относительно большая, предположительно за счет двух факторов: 1 – технологический фактор – связан с качеством выпускаемой угольной продукции – это высокий коэффициент разубоживания и завышенная массовая доля кусков размером менее нижнего предела в классе крупности угля; 2 – природно-климатический фактор – связан с интенсивным криогенным, физико-химическим выветриванием и повышенной скоростью порывов ветра (ветровой эрозии).

Также были проведены расчеты суммарного объема загрязнений объекта согласно нормам естественной убыли угля в цепочке поставок потребителям пос. Зырянка, полученный результат составляет порядка 3000 т (табл. 2). Нормативные потери и пылевидные выбросы от угольной продукции не всегда отражают фактические показатели, они лишь иллюстрируют относительные количественные величины движения объемов и массы угля.

Таким образом, проведенная оценка загрязнения от угольной продукции Зырянского угольного разреза для производства теплоэнергии на территории пос. Зырянка носит предварительный, общий характер и представляет лишь часть негативного воздействия объектов загрязнения на окружающую среду. Для более точного результата и полной картины необходимо комплексное исследование экологического состояния выбранных объектов. Несмотря на ограниченность данной оценки, результаты позволяют сделать некоторые рекомендации.

Для снижения вредных пылегазовых выбросов на загрязняемой территории в условиях Крайнего Севера необходимы мероприятия от разрушительного воздействия выветривания угля и ветровой эрозии. Посредством дополнительной технологической линии производить непосредственно на разрезе выпуск сортового твердого топлива, упакованного в мягкие контейнеры. При длительном хранении добытого угля необходимы мероприятия по уплотнению создаваемых штабелей с помощью тяжелой горной техники, что позволит уменьшить ветровую эрозию. Кроме того, чтобы избежать распространения угольной пыли в атмосферу, возможно применение специальных экранирующих материалов и поверхностно-активных веществ,

которые связывают мелкофракционный уголь в суровых климатических условиях. Также в качестве мероприятий по снижению окисляемости и ветровой эрозии энергетических углей в особых случаях предусматривается хранение в траншеях и под пожароустойчивыми навесами.

**Заключение**

Для исследования технологической цепочки поставок угольной продукции и выявления зон загрязнений угольной пылью в труднодоступных районах Крайнего Севера России возможно использование новых цифровых и спутниковых систем для осуществления дистанционного экологического мониторинга изменений площадей и концентраций загрязненности твердыми вредными веществами. Анализ космических снимков цепочек поставок угля в арктических районах РС (Я) показал, что картина загрязнений органическими примесями, угольной пылью, сажой, золой и шлаком неудовлетворительная и требуются мероприятия по снижению напряжений экологической нагрузки в объектах нормирования.

Хранение и использование угля низкого качества, содержащего значительное количество мелких фракций, оказывают негативное влияние на все элементы экосистемы. Чтобы этого не допускать, необходимы мероприятия по снижению выбросов угольной пыли через совершенствование отдельных звеньев технологической цепочки поставок угля и современный мониторинг контроля качества за угольной продукцией, а также новые технологии пылеулавливания, специализированные с учетом экстремальных климатических условий арктической зоны.

**Список литературы / References**

1. Коваленко М.С., Сибилева Е.В. Ресурсный состав Арктики, сложности добычи и перспективы ее развития. *Арктика XXI век.* 2023;(1):26–36. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2023.44.59.003>  
Kovalenko M.S., Sibileva E.V. The Arctic's resource composition, production challenges and prospects. *Arctic XXI century.* 2023;(1):26–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.25587/SVFU.2023.44.59.003>
2. Ткач С.М., Гаврилов В.Л. О влиянии технологических цепочек «георесурс – потребитель» на потери угля при энергообеспечении полярных районов Якутии. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* 2016;3(1):213–218.  
Tkach S.M., Gavrilov V.L. Effect of georesource-consumer process flows on coal loss in energy supply of the polar regions in Yakutia. *Fundamental and Applied Issues of Mining.* 2016;3(1):213–218. (In Russ.)
3. Гаврилов В.Л., Ермаков С.А., Хосоев Д.В. Оценка состояния открытой разработки угольных месторождений центральной и северной Якутии. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2010;(11):29–36. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2010/11/Gavrilov\\_11\\_2010.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2010/11/Gavrilov_11_2010.pdf) (дата обращения: 01.11.2024).  
Gavrilov V.L., Ermakov S.A., Hosoev D.V. Estimation of the state of open-cast mining of coal deposits of Central and North Yakutia. *Mining Informational and Analytical Bulletin.* 2010;(11):29–36. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2010/11/Gavrilov\\_11\\_2010.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2010/11/Gavrilov_11_2010.pdf) (accessed: 01.11.2024).

4. Fatkulina A.V., Konokotin D.N., Koroeva L.A., Salov S.M., Samoylenko D.V. Environmental problems in the coal mining industry in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;867:012087. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/867/1/012087>
5. Sun Y., Jiang J., Yang F., Chen X., Yu Z., Guo Q., Zhao Y. Spatial – temporal variation analysis of water storage and its impacts on ecology and environment in high-intensity coal mining areas. *Land Degradation and Development*. 2023;34(2):338–352. <https://doi.org/10.1002/ldr.4462>
6. Yu S., Tao R., Tan H., Zhou A., Deng S., Wang X., Zhang Q. Migration characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in ash from sewage sludge co-combustion in coal-fired power plants. *Fuel*. 2023;333(2):126420. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126420>
7. Майсюк Е.П., Иванова И.Ю. Экологическая оценка использования разных видов топлива для производства энергии в арктических районах Дальнего Востока. *Арктика: экология и экономика*. 2020;(1):26–36. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2020-1-26-36>  
Maysyuk E.P., Ivanova I.Y. Environmental assessment of different fuel types for energy production in the Arctic regions of the Russian Far East. *Arctic: Ecology and Economy*. 2020;(1):26–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2020-1-26-36>
8. Nikolenko P.V., Epshtein S.A., Shkuratnik V.L., Anufrenkova P.S. Experimental study of coal fracture dynamics under the influence of cyclic freezing – thawing using shear elastic waves. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2021;8(4):562–574. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00352-x>
9. Федоров В.И., Гаврилов В.Л. Оценка изменения гранулометрического состава низкометаморфизированных углей при длительном хранении. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(12-1):223–232. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_121\\_0\\_223](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_121_0_223)  
Fedorov V.I., Gavrilov V.L. Change in particle size distribution of low-rank coal in long-term storage. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(12-1):223–232. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_121\\_0\\_223](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_121_0_223)
10. Тарасов В.В., Тихонова И.О., Кручинина Н.Е. *Мониторинг атмосферного воздуха*. Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева; 2000. 159 с.
11. Журавлева Е.В., Журавлева Н.В., Михайлова Е.С., Созинов С.А., Исмагилов З.Р. Изучение гранулометрического и морфологического состава угольных порошков. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2021;29(5):539–549. <https://doi.org/10.15372/KhUR2021330>  
Zhuravleva E.V., Zhuravleva N.V., Mikhailova E.S., Sozinov S.A., Ismagilov Z.R. Study of the granulometric and morphological composition of coal powders. *Chemistry for Sustainable Development*. 2021;29(5):525–535. <https://doi.org/10.15372/CSD2021330>
12. Sanchez J.O. *Coal as a marine pollutant [Dissertations]*. World Maritime University; 2014. 131 p.
13. Ворошилов Я.С., Фомин А.И. Влияние угольной пыли на профессиональную заболеваемость работников угольной отрасли. *Уголь*. 2019;(4):20–24. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-4-20-24>  
Voroshilov Ya.S., Fomin A.I. Impact of coal dust on the professional morbidity of coal industry workers. *Ugol'*. 2019;(4):20–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-4-20-24>
14. Тигеев А.А., Аксёнов Н.В., Московченко Д.В., Пожитков Р.Ю. Оценка пылевого загрязнения атмосферы наземными и дистанционными методами (на примере г. Тобольск). *Географический вестник*. 2021;(2):121–134. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-121-134>  
Tigeev A.A., Aksenov N.V., Moskovchenko D.V., Pozhitkov R.Yu. Assessment of atmospheric dust contamination with ground-based and remote sensing methods (on the example of the town of Tobolsk). *Geographical Bulletin*. 2021;(2):121–134. (In Russ.) <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-121-134>
15. Майорова Л.П., Лукьянов А.И., Дахова Е.В. *Экологические аспекты перевалки угля в морских портах*. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та; 2020. 217 с.
16. Кара-Сал И.Д. Результаты исследования уровня загрязнения пылью снежного покрова городских территорий (на примере городов Кызыл и Ак-Довурак Республики Тыва). *Вестник Тувинского государственного университета. Естественные и сельскохозяйственные науки*. 2020;(1):13–19.  
Kara-Sal I.D. Results of the study of dust pollution of snow cover in urban areas (based on a sample of cities of Kyzyl and Ak-Dovurak). *Vestnik of Tuvan State University. Natural and Agricultural Sciences*. 2020;(1):13–19. (In Russ.)

**Информация об авторе**

**Федоров Владислав Игоревич** – младший научный сотрудник, лаборатория проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; e-mail: fonariwe@gmail.com

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 06.10.2024  
Поступила после рецензирования: 21.11.2024  
Принята к публикации: 02.12.2024

**Information about the author**

**Vladislav I. Fedorov** – Junior Researcher at the Laboratory of Problems of Rational Development of Mineral Resources, Institute of Mining of the North named after N.V. Chersky Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: fonariwe@gmail.com

**Article info**

Received: 06.10.2024  
Revised: 21.11.2024  
Accepted: 02.12.2024