

Оригинальная статья / Original Paper

<https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4S-146-151>

## Управление качеством как резерв повышения эффективности поставок угольной продукции потребителям Крайнего Севера

В.И. Федоров, В.Л. Гаврилов, Н.С. Батугина 

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск,  
Российская Федерация  
 batuginan@mail.ru

**Резюме:** В статье раскрыты условия отработки угольных месторождений Крайнего Севера и дана краткая характеристика формируемых цепочек поставок угольной продукции на примере Харбалахского месторождения каменного угля. Проведены натурные наблюдения цепочки поставки угля в забое, на складах и котельных, их ситовой анализ крупности, которые показали, что при хранении на открытых площадках в теплый период года наблюдается резкое увеличение (до 40%) выхода угля мелких классов крупности (-10 мм), которые далее при перевозке подвержены интенсивному выдуванию с последующими потерями при слоевом сжигании. Предложены геотехнологические и организационные мероприятия для улучшения управления качеством и снижения потерь угольной продукции в цепочках добычи и поставок потребителям, в частности, использовать технологическую схему раздельной выемки угля из сближенных пачек пластов, различные теплоизоляционные материалы для экранирования хранимого в штабелях угля, сортировку топлива по крупности и его фасовки в мягкую тару.

**Ключевые слова:** угольная продукция, Крайний Север, труднодоступные районы, добыча угля, поставка угля, энергетическая безопасность

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRS-2025-0047, ЕГИСУ НИОКТР №125100124344-7).

**Для цитирования:** Федоров В.И., Гаврилов В.Л., Батугина Н.С. Управление качеством как резерв повышения эффективности поставок угольной продукции потребителям Крайнего Севера. *Горная промышленность*. 2025;(4S):146–151. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4S-146-151>

## Quality management as a resource to improve the efficiency of coal product supply to consumers in the Far North

V.I. Fedorov, V.L. Gavrilov, N.S. Batugina 

N.V. Chersky Institute of Mining of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation  
 batuginan@mail.ru

**Abstract:** The article explains the conditions for developing coal deposits in the Far North and provides a brief description of the emerging coal product supply chains using the case of the Kharbalakh coal deposit. Field observations of the coal supply chain in the mine, stockpiles and boiler plants were conducted, along with a sieve analysis of the coal size, which showed that when coal is stored in open areas during the warm seasons, there is a sharp increase (up to 40%) in the share of small coal fractions (-10 mm), which are then subject to intensive wind removal during transportation, with subsequent losses during the fuel-bed firing. Geotechnological and organizational measures are proposed to improve the quality management and reduce the losses of coal products in the production and supply chains, in particular, to introduce a technological process for separate mining of coal from adjacent banks, to use various heat-insulating materials for shielding coal stored in coal piles, grading fuel by size and packaging it in soft containers.

**Keywords:** coal products, Far North, remote areas, coal mining, coal supply, energy security

**Acknowledgments:** The study was carried out within the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Topic No. FWRS-2025-0047, ЕГИСУ НИОКТР No. 125100124344-7).

**For citation:** Fedorov V.I., Gavrilov V.L., Batugina N.S. Quality management as a resource to improve the efficiency of coal product supply to consumers in the Far North. *Russian Mining Industry*. 2025;(4S):146–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4S-146-151>

## Введение

Решение вопроса устойчивого обеспечения энергетической безопасности населения, организаций и предприятий труднодоступных районов Крайнего Севера является социально и экономически важным. Сложившаяся практика снабжения потребителей центральных районов РС (Я) энергетическим углем для слоевого сжигания по сложной (автомобильный и речной транспорт, в том числе сезонный) и долговременной (до 1,5 лет) логистике с многочисленными перевалками ведет к значительным количественным и качественным потерям твердого топлива в цепочках поставок и негативным последствиям, связанным с его несвоевременной доставкой.

В центральной и арктической зоне Якутии основные покупатели рассредоточены по большим территориям с удалением на значительные расстояния друг от друга и от предприятий, снабжающих их твердым топливом [1–3]. На его завоз, включая досрочный, ежегодно выделяются огромные средства. Доля транспорта в стоимости угля на месте потребления может достигать 70–75%. Дополнительные сложности связаны со сравнительно небольшими объемами используемого топлива малочисленными потребителями, расположенными или проживающими в основном в мелких населенных пунктах. Эти особенности интенсивно проявляются в работе цепочек поставок угля, действующих на базе разрезов центральной и арктической Якутии.

Формирование качества угольной продукции для потребителей на добывающих предприятиях не всегда осуществляется с полным учётом особенностей сырьевой базы, технологических и организационных возможностей разрезов, специфики их взаимодействия с другими звенями цепочек, потенциала используемых для выработки тепловой энергии технологий сжигания [4; 5]. Для повышения энергетической безопасности и экономической эффективности добычи угля и поставок готовой угольной продукции необходимо выявление дополнительных резервов. Они могут быть связаны с: совершенствованием используемых геотехнологий [2; 3; 6]; дифференцированным подходом к улучшению функционирования цепочек добавленной стоимости с участием добывающих предприятий и учетом их специфики при условии более полного учёта требований реальных или потенциальных потребителей [7]; снижением общих потерь топлива и обеспечением с применением ряда принципов ресурсосберегающего уровня его качества, трансформирующегося при

ведении горных работ на разрезах и после его отгрузки [8; 9].

Скорректированные на основе новых результатов подходы к совершенствованию порядка ведения добычных работ и дополнительной подготовки угля к поставкам могут и должны способствовать его более эффективной добыче и последующему потреблению.

## Методы и материалы

Теоретической основой исследования, посвященного изучению формируемых угольных потоков Харбалахским разрезом, типичным для центральной Якутии, послужила методология системных исследований управления качеством угольной продукции при поставках потребителям [6; 10; 11]. В процессе работы использовались следующие методы и приемы: анализ нормативно-методической документации и результатов исследований по теме; научное обобщение; натурные наблюдения с оценкой характера изменения свойств добывого и сжигаемого угля; технический и ситовой анализ отобранных проб на разрезе, складах, в котельных, оценка экономической эффективности предлагаемых мероприятий. Был учтен опыт работы Кангаласского, Джебарики-Хайнского и Мироновского разрезов, также расположенных в центральной Якутии, а также ранее полученные авторами результаты изучения особенностей их работы в составе действующих региональных цепочек поставок и сжигания угольной продукции.

В настоящее время потребности центральных районов Якутии в угле обеспечивают четыре разреза. Они добывают топливо марок Д и Б3 с низшей теплотой сгорания 16,0–22,7 МДж/кг и невысоким содержанием серы. По Государственному балансу все предприятия обеспечены балансовыми запасами, находящимися в распределенном и нераспределенном фондах, на длительный срок (табл. 1). При ведении горных работ используются достаточно простые технологии и средства механизации, а управлению качеством добываемого угля и отгружаемой продукции уделяется недостаточно внимания [2; 3; 5].

Разрез АО «Телен» с 1967 г. отрабатывает Харбалахское угольное месторождение, расположенное в 47 км от п. Ытык-Кюель и в 310 км от г. Якутска. Предприятие связано круглогодичной дорогой с федеральной трассой «Колыма». Выпускаемая угольная продукция, имеющая устойчивый спрос на внутреннем рынке Республики Саха, представлена маркой угля Д (зольность – 13,2%, массовая доля серы – 0,1–1,2%, низшая теплота сгорания – 21,80 МДж/кг, влаж-

**Таблица 1**  
**Параметры отрабатываемых угольных месторождений центральной Якутии**

**Table 1**  
**Parameters of coal deposits mined in central Yakutia**

Месторождение, разрез (на 01.01.2022 г.)	Добыча, тыс. т / год	Запасы для ОГР в распределенном фонде, тыс.				Марка угля	Качество угля			
		A	B	C1	C2		Зольность, %	Содержание серы, %	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Влажность, %
Кангаласское, Кангаласский	188	27922	37283	20475	0	Б3	13,5–16,0	0,4	16,0–17,0	24,0–30,0
Харбалахское, Харбалахский	208	0	216	2822	3038	Д	13,2	0,1–1,2	21,8	15,6
Джебарики-Хая, Участок ОГР	178	0	762	605	0	Д	14,0–16,0	0,25	22,7	8,0–10,0
Белогорское, Мироновский	110	0	237	4402	0	Б3	8,4–13,7	0,1–0,2	20,6	17,7

Таблица 2  
Основные показатели деятельности АО «Телен» за 2018–2024 гг.

Наименование показателей	2018	2020	2022	2023	2024
Добыча угля, тыс. т	191,0	203,3	246,0	224,0	229,2
Реализация угля, тыс. т	189,7	202,6	234,0	218,6	223,7
Ср. стоимость 1 т угля, тыс. руб.	2,4	2,8	3,3	4,3	4,3
Себестоимость 1 т угля, тыс. руб.	1,9	2,5	2,3	3,3	3,3
Стоимость реализованной продукции, млн руб.	456,0	574,0	799,4	949,1	981,3
Ср. стоимость 1 т реализованного угля, тыс. руб.	2,4	2,8	3,4	4,3	4,4
Себестоимость 1 т реализованного угля, тыс. руб.	1,9	2,5	2,4	3,4	3,4
Прибыль от реализации, млн руб.	88,4	72,0	170,7	126,4	141,1
Чистая прибыль, млн руб.	53,6	37,2	63,2	67,9	48,3

ность – 15,6%). Основным потребителем угля выступает ГУП «ЖКХ РС (Я)», осуществляющее производство тепловой энергии котельными и обеспечивающее ее нужды шести центральных районов Якутии. Участок имеет простое геологическое строение с почти горизонтальным залеганием пласта с выдержаным качеством угля, двумя пачками и породным прослоем между ними.

АО «Телен» имеет достаточно устойчивое финансовое положение. Рост выручки от реализации в последнее время связан с увеличением объема реализации угля (+17,9%) и ростом цены на отгружаемую продукцию (+79,4%). Темп увеличения затрат ниже темпа роста выручки от реализации. Предприятие по основной деятельности (добыча угля) работает с чистой прибылью (табл. 2).

В настоящее время поставки угольной продукции Харбалахского месторождения осуществляются из забоев или складов разреза до котельных потребителей автомобильным транспортом грузоподъемностью до 40 т с выраженной сезонной динамикой и расстояниями доставки до 200 км, реже 300 км. До 90% годового объема добычи приходится на отопительный сезон (октябрь–апрель). С мая по сентябрь небольшая часть угольной продукции хранится в штабелях на промплощадке и отгружается при формировании спроса, сглаживая сезонные колебания.

При буровзрывном способе рыхления мерзлых угольных пластов криолитозоны в ряде случаев формируются значительные (до 70–80%) объемы кусков угля крупностью 500–1000 мм и более при требуемом техническими условиями уровне не более 300 мм (рис. 1). Такая ситуация ведет к необходимости выполнения операций по вторичному дроблению на разрезе или у потребителя, которые, как правило, выполняются вручную. В дополнение к этому потребитель на месте вынужден выделять из угольной массы различные по крупности породные включения, свидетельствующие о повышенном уровне разубоживания при ведении добычных работ.

Table 2  
Key performance indicators of TELEN JSC for 2018–2024

a)



б)



Рис. 1  
Крупность угля в забое в холодный период года:  
а – в автотранспорте,  
б – в навале (ячейки решетки 300\*300 мм)

Fig. 1  
Coal particle size in the mine during the cold seasons:  
(a) transported by motor vehicles, (b) bulk (the mesh size of 300\*300 mm)

В экстремальных климатических условиях Якутии интенсивность окисления и выветривания энергетического угля, сроки его хранения без значимого ухудшения технологических свойств зависят от продолжительности и начала наступления минусовых и положительных температур, интенсивности выпадения осадков, уровня солнечной активности, степени углефикации и технологии складирования. Поставка основных объемов угольной продукции в холодный период года имеет при наличии ряда осложняющих работу цепочек поставок факторов и определенные преимущества. Они связаны с тем, что процессы окисления добывого мерзлого угля резко замедляются, сохраняя свое природное качество при минимальных изменениях гранулометрического состава при хранении [12–14]. Топливо остается кусковатым, что делает его более пригодным для слоевого способа сжигания.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки степени изменения свойств добывого угля были проведены натурные наблюдения, отбор механизированным (погрузчик) и ручным способами проб угля в забое, на складах разреза и ряда районных котельных, их ситовой анализ по крупности. Визуальные наблюдения и выполненный гранулометрический анализ показали, что при хранении на открытых площадках в теплый период года наблюдается резкое увеличение (до 40%) выхода угля мелких классов крупности (<10 мм), которые далее при перевозке подвержены интенсивному выдуванию с последующими значительными практическими потерями при широко применяемом слоевом сжигании (рис. 2).

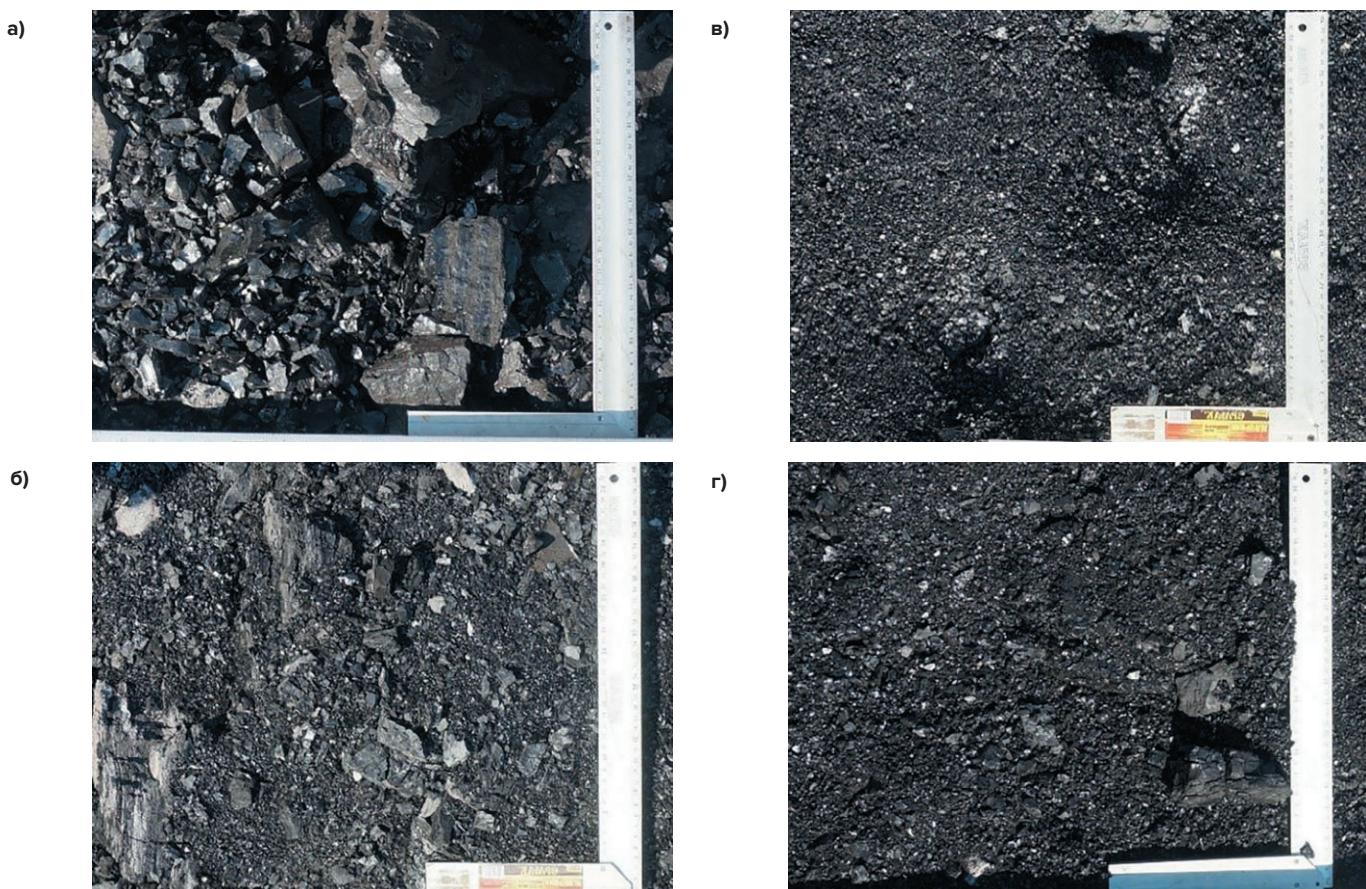


Рис. 2

Визуальные изображения угля: а – в забое;  
 через 3–4 мес хранения на складах разреза; б – верхней пачки пласта; в – нижней пачки пласта; г – на складе котельной разреза

Fig. 2

Visual representations of coal: а – at the mine face;  
 after 3–4 months in the strip mine storage; б – in the upper seam band; в – in the bottom seam band; г – in the storage of the strip mine boiler plant

Согласно опубликованным данным при таком способе утилизации использование рядового угля по сравнению с сортовым ведет к его значительному перерасходу. Сортового угля для перевозки требуется по массе до 1,6–1,7 раза меньше при снижении расхода топлива для выработки энергии в 1,3–1,5 раза. Удельный расход угля в котлах со слоевым сжиганием увеличивается на 0,2–0,9% пропорционально увеличению на 1% содержания в угле классов менее 10 мм. Это относится и к новому оборудованию, и к эксплуатируемому длительное время.

Структура крупности угольной продукции, размещаемой в теплое время на складах разреза, изменяется в худшую сторону (рис. 3). Объем угля достигает 10–14 тыс. т при

площади 3,5 тыс. м<sup>2</sup> и высоте штабелей в 3–4 м. Для начала отопительного сезона в августе–октябре поставки топлива потребителям осуществляются именно с этих хранилищ. Сравнительно небольшие объемы продукции хранятся на территории котельных.

Проведенное на примере Харбалахского разреза исследование показало, что: при прямых отгрузках из забоя часть угольной продукции в зимний период может поступать потребителям с повышенным (до 70–80 %) содержанием крупных кусков (более 300 мм) и большим содержанием пустой или высокозольной породы из-за разубоживания при ведении добывочных работ. А угольная продукция, отгружаемая со складов разреза, будет иметь повышенное

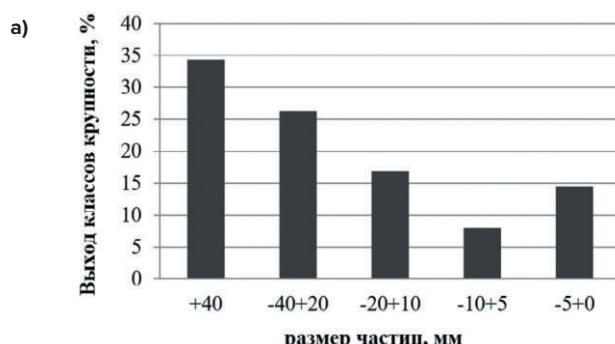


Рис. 3

Гранулометрический состав угля: а – в забое;  
 б – на складах разреза и котельной №18 п. Харбалах

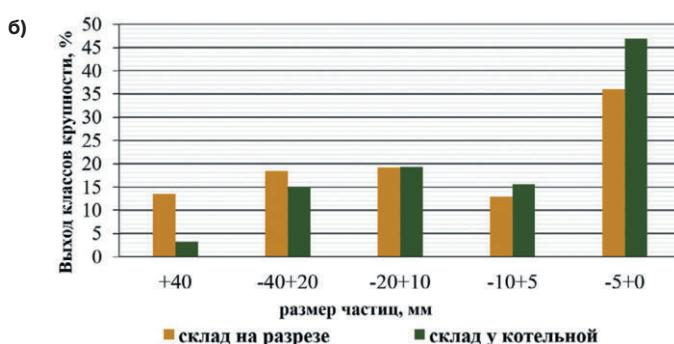


Fig. 3

Particle size distribution of coal: а – at the mine face;  
 б – in the storages of the strip mine and Boiler Plant No.18 of the Kharbalakh settlement

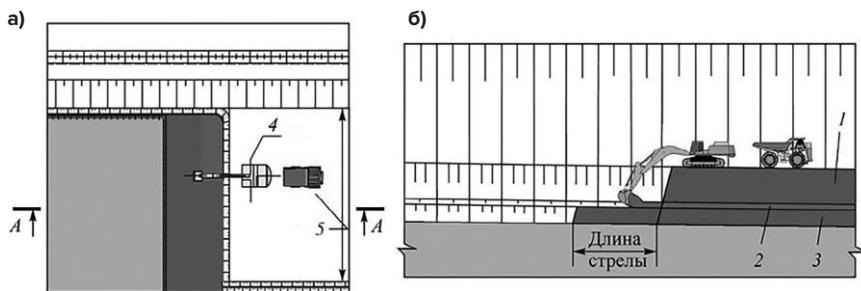


Рис. 4

Технологическая схема ведения отработки пласта с породным прослойем:  
1 – верхняя угольная пачка пласта;  
2 – породный прослой; 3 – нижняя угольная пачка пласта;  
4 – экскаватор; 5 – самосвал

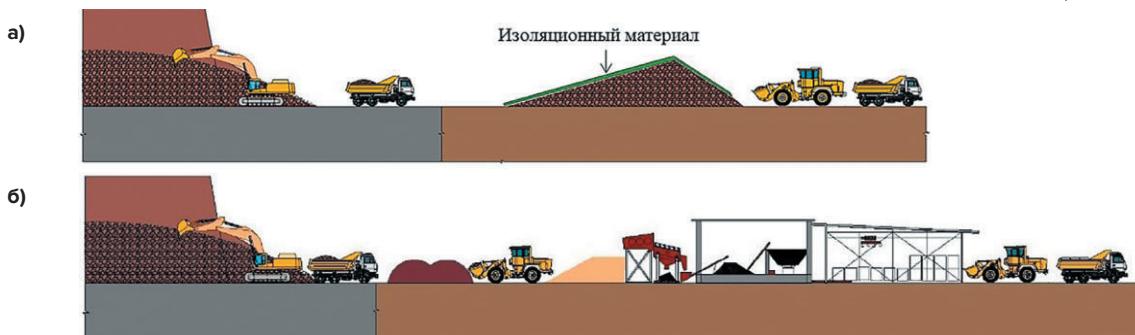


Рис. 5

Схемы организации угольных потоков: а – с теплоизоляцией штабелей; б – сортировкой и тарированием угля в мягкие контейнеры

содержание мелких (менее 10 мм) классов крупности (более 45–47% от общего объема) с также увеличенным (до 5–8%) уровнем разубоживания.

Для улучшения на разрезах центральной Якутии, включая Харбалахский, процессов управления качеством и снижения потерь угольной продукции в цепочках добычи и поставок потребителям может применяться ряд разработанных геотехнологических и организационных решений. В частности, для снижения уровня засорения добываемого топлива пустыми породами целесообразно использовать разработанную технологическую схему раздельной выемки угля из сближенных пачек пластов (рис. 4), устройство для отделения угольной мелочи от кусков породы (полезная модель №129022).

Для уменьшения количества образующихся в угле мелких классов крупности при складировании и хранении в период положительных температур, минимизации влияния окисления и выветривания, сохранения исходных качественных характеристик возможно задействование решений, связанных с использованием различных теплоизоляционных материалов для экранирования хранимого в штабелях угля (рис. 5, а), организацией сортировки топлива по крупности и его фасовки в мягкую тару (рис. 5, б).

Fig. 5

A process chart of mining a coal seam with a country rock interbed: 1 – the upper band in the seam; 2 – the country rock interbed; 3 – the lower band in the seam; 4 – an excavator; 5 – a dump truck

### Заключение

На примере Харбалахского разреза показано, что из-за особенностей условий добычи и поставок угля предприятиями центральной Якутии потребителям его фактические потери по количеству могут превышать нормативные, а качественные, связанные в первую очередь с изменением гранулометрического состава, учитываются не в полной мере, ухудшая обеспечение угольной продукцией труднодоступных районов.

Полученные оценки особенностей изменения структуры гранулометрического состава угольной продукции при добыче, хранении и поставках потребителям центральной Якутии свидетельствуют о значительном увеличении в ней выхода мелких классов крупности, снижающих эффективность слоевого сжигания топлива, и высоком засорении его породными составляющими, что определяет потребность совершенствования процесса управления качеством на разрезах.

Предложенные геотехнологические и организационные решения, направленные на повышение сохранности и пригодности угольной продукции к использованию в условиях Крайнего Севера, позволяют перейти к её использованию потребителями с меньшим уровнем негативных изменений после отгрузки из забоев.

### Список литературы / References

- Шакиров В.А., Тугузова Т.Ф., Музычук Р.И. Проблемы электроснабжения в коммунально-бытовом секторе Арктической зоны Республики Саха (Якутия). *Арктика: экология и экономика*. 2020;(4):106–116. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2020-4-106-116>
- Shakirov V.A., Tuguzova T.F., Muzychuk R.I. Problems of power supply in the public utility sector of the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia). *Arctic: Ecology and Economy*. 2020;(4):106–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2020-4-106-116>
- 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.
- Gavrilov V.L., Ermakov S.A., Hosoev D.V. An assessment of the state of surface coal mining in central and northern Yakutia. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2010;(11):29–36. (In Russ.)

3. Заровняев Б.Н. Совершенствование сплошных систем разработки в условиях криолитозоны. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2021;(6):63–69. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2021-6-63-69>  
Zarovnyaev B.N. Improvement of continuous development systems in permafrost. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2021;(6):63–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2021-6-63-69>
4. Захаров В.Е., Козлов А.Н., Донской И.Г. Моделирование изменения теплоты сгорания угля при транспортировке до районов Крайнего Севера, на примере Республики Саха (Якутия). *Известия Российской академии наук. Энергетика*. 2018;(6):132–141. <https://doi.org/10.31857/S000233100003526-2>  
Zakharov V.E., Kozlov A.N., Donskoy I.G. Modeling of changes in the heating value of coal transported to Russia's far north regions on the example of the republic of Sakha (Yakutia). *Izvestia Rossiiskoi Akademii Nauk. Energetika*. 2018;(6):132–141. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S000233100003526-2>
5. Гаврилов В.Л., Федоров В.И. Особенности управления качеством угля на малых разрезах Крайнего Севера. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2022;9(3):89–95.  
Gavrilov V.L., Fedorov V.I. Features of coal quality management in small open-pit mines of the Far North. *Journal of Fundamental and Applied Mining Science*. 2022;9(3):89–95. (In Russ.)
6. Фрейдина Е.В., Ботвинник А.А., Дворникова А.Н. *Системное управление качеством углей при открытой разработке месторождений Сибири*. Новосибирск: Наука; 2019. 263 с.
7. Никитенко С.М., Гоосен Е.В., Кавкаева О. Моделирование гибких цепочек добавленной стоимости на основе «чистых» технологий переработки угля. *Горная промышленность*. 2023;(S2):126–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-126-134>  
Nikitenko S.M., Goosen E.V., Kavkaeva O. Modeling of flexible value chains based on clean coal processing technologies. *Russian Mining Industry*. 2023;(S2):126–134. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-126-134>
8. Батугина Н.С., Гаврилов В.Л., Ткач С.М. Принципы ресурсосберегающего управления качеством при поставках угля в труднодоступные районы Северо-Востока России. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2019;24(2):64–73. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-6>  
Batugina N.S., Gavrilov V.L., Tkach S.M. Principles of resource-saving management of quality for coal supply to the hard-to-reach regions of the North-East of Russia. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2019;24(2):64–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-6>
9. Freidina E.V., Botvinnik A.A., Dvornikova A.N. Coal quality control in the context of international standards ISO 9000–2000. *Journal of Mining Science*. 2008;44(6):585–599. <https://doi.org/10.1007/s10913-008-0066-2>
10. Кампанелла Дж. (ред.). Экономика качества: основные принципы и их применение [пер. с англ. А. Раскина]. М.: Стандарты и качество; 2005. 230 с.
11. Ткач С.М. (ред.). *Геотехнологии открытой добычи минерального сырья на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями*. Новосибирск: Гео; 2013. 307 с.
12. Мирошниченко Д.В., Десна Н.А., Кафтан Ю.С. Исследование процесса окисления углей в промышленных условиях. Сообщение 4. Температура угля в штабеле. *Кокс и химия*. 2015;(2):2–8.  
Miroshnichenko D.V., Desna N.A., Kaftan Y.S. Oxidation of coal in industrial conditions. 4. coal temperature in heap storage. *Coke and Chemistry*. 2015;58(2):43–48. <https://doi.org/10.3103/S1068364X15020027>
13. Nikolenko P.V., Epshtein S.A., Shkuratnik VL., 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>
14. Zhai C., Wu S., Liu S., Qin L., Xu J. Experimental study on coal pore structure deterioration under freeze – thaw cycles. *Environmental Earth Sciences*. 2017;76(15):507. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6829-9>

#### Информация об авторах

**Федоров Владислав Игоревич** – научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; e-mail: fonariwe@gmail.com

**Гаврилов Владимир Леонидович** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-2401-455X>; e-mail: gvlugorsk@mail.ru

**Батугина Наталья Сергеевна** – доктор экономических наук, главный научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1367-9062>; e-mail: batuginan@mail.ru

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 02.07.2025  
Поступила после рецензирования: 18.08.2025  
Принята к публикации: 25.08.2025

#### Information about the authors

**Vladislav I. Fedorov** – Research, N.V. Chersky Institute of Mining of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: fonariwe@gmail.com

**Vladimir L. Gavrilov** – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, N.V. Chersky Institute of Mining of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-2401-455X>; e-mail: gvlugorsk@mail.ru

**Natalya S. Batugina** – Dr. Sci. (Econ.), Chief Researcher, N.V. Chersky Institute of Mining of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1367-9062>; e-mail: batuginan@mail.ru

#### Article info

Received: 02.07.2025  
Revised: 18.08.2025  
Accepted: 25.08.2025