

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НИЗКОМЕТАМОРФИЗИРОВАННЫХ УГЛЕЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ

В. И. Федоров¹, В. Л. Гаврилов^{1,2}

¹ Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия;

² Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия

Аннотация: Показано, что в экстремальных природно-климатических условиях Крайнего Севера с многократными суточными переходами температуры воздуха через ноль при доставке угля используются сложные схемы с длительными сроками транспортирования и хранения, а уголь потребляется котельными, применяющими в основном слоевое сжигание с повышенными требованиями к его крупности. Это способствует окислению угля, изменению его гранулометрического состава, образованию мелких фракций, количественным и качественным потерям. На основе предложенной методики на примере бурых углей Кангаласского месторождения (Якутия) выполнена оценка изменения свойств угля при различных вариантах длительного хранения: рядового и сортового угля без класса – 10 мм навалом и в мешках на открытой площадке; под навесом с естественным проветриванием; в подземной горной выработке с устойчивыми отрицательными температурами воздуха и пород. Установлено, что наибольшую сохранность исходных свойств угля, в первую очередь его гранулометрического состава, обеспечивает последний вариант, а самым неэффективным является хранение угля навалом на открытой площадке, широко применяемое на практике. Полученные результаты позволяют оценить характер трансформации топлива в разных условиях хранения. С учётом полученных ранее данных возможно акцентировать внимание на целесообразности корректировки применяемых подходов к управлению цепочками добычи и поставок угля в энергоизолированные районы с разработкой мероприятий, снижающих влияние негативных процессов.

Ключевые слова: бурый и каменный уголь, разрез, хранение, потери, качество, режим работы, криолитозона, гранулометрический состав.

Для цитирования: Федоров В. И., Гаврилов В. Л. Оценка изменения гранулометрического состава низкометаморфизированных углей при длительном хранении // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 223–232. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_223.

Change in particle size distribution of low-rank coal in long-term storage

V. I. Fedorov¹, V. L. Gavrilov^{1,2},

¹ Chersky Institute of Mining of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

² Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Abstract: In the extreme natural climate conditions in the Far North, with multiple zero crossovers of air temperature within a day, the complex circuits of coal shipment involve long

periods of haulage and storage. Local coal-fired boiler houses use mainly the technology of fuel-bed firing at exclusive standards of coal fineness. This promotes oxidation of coal, change in its particle size distribution, as well as quantitative and qualitative losses. Using the proposed procedure, the changes in coal properties in different long-term storage scenarios are assessed as a case-study of Kandalass lignite (Yakutia). The long-term storage scenarios included storage of ROM and graded coal –10 mm in size, unpacked and packed: in open air; under canopy, with natural ventilation; in underground roadway at unstable negative temperatures of mine air and rock mass. It is found that initial properties of coal and, first of all, its grain size distribution are best preserved in the latter scenario, while the least effective is unpacked coal storage in open air, which enjoys common application. The research findings make it possible to assess the nature of fuel transformation in different conditions. With due regard to the earlier studies, emphasis is laid on advisability of adjustment of current approaches to coal production and shipment chain management in the energy-deficient areas and on development of action plans aimed to mitigate adverse effects.

Key words: bituminous coal, lignite, opencast mine, storage, loss, quality, operating mode, permafrost zone, grain size distribution.

For citation: Fedorov V. I., Gavrilov V. L. Change in particle size distribution of low-rank coal in long-term storage. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12-1):223–232. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_223.

Введение

В ряде труднодоступных регионов России Дальнего Востока, Сибири и Арктической зоны для выработки энергии достаточно широко используются различные марки углей. От мест добычи до потребителя они доставляется, как правило, по многозвенным логистическим схемам с длительными сроками промежуточного и базового хранения. Это приводит к удорожанию твёрдого топлива в местах потребления и высоким потерям. Одними из самых сложных являются схемы доставки угля в центральные и особенно арктические районы Якутии. Суммарные потребности локальных топливно-энергетических комплексов здесь находятся на уровне 0,7–1,1 млн т/год и покрываются открытой добычей бурых и каменных углей на месторождениях Джебарики-Хая, Кангаласское, Кемпедяйское, Кировское, Надеждинское, Харбалахское. Несмотря на усиливающуюся риторику о негативном влиянии угля на окружающую среду, достичь его замены другими источниками энер-

гии в экстремальных условиях региона ни в кратко-, ни в среднесрочной перспективе не представляется возможным. Наоборот, здесь существуют реальные предпосылки успешного внедрения современных экологически более сбалансированных технологий и способов сжигания для расширения объёмов использования рядового угля и продуктов его переработки, обладающих улучшенными потребительскими свойствами.

Оценка работы цепочек добычи, поставок и утилизации угля в динамике показала, что невысокая их эффективность предопределяет необходимость совершенствования процессов управления [1–4]. Это вытекает и из высоких сверхнормативных количественных потерь угля при добыче и потреблении, выработке электрической и тепловой энергии, а также снижения на протяжении многих лет качества добываемых углей с ростом зольности, влажности, уменьшением теплоты сгорания на рабочее топливо. Дополнительно следует отметить и то,

что потери добытого угля по качеству в результате длительного окисления практически не рассматриваются и, следовательно, не учитываются [2, 4, 5]. На практике используются слабо или не используются результаты исследований, в которых приводятся данные о влиянии различных процессов криогенеза на изменение свойств угля [5–9]. За последние годы в работе цепочек поставок произошло несколько крупных сбоев чрезвычайного характера.

Суммарно всё это снижает энергетическую безопасность территорий, ведёт к дополнительным затратам, что требует разработки превентивных действий по уменьшению влияния обозначенных факторов. В основе мероприятий должны лежать научно обоснованные рекомендации. Одним из направлений исследований должно быть изучение характера и закономерностей изменения основных потребительских свойств добытого угля в процессе его длительной логистики при разных условиях хранения и доставки с целью лучшего понимания влияющих природных процессов.

Об условиях добычи и хранения энергетического угля на Крайнем Севере

Рациональное использование углей как энергетического сырья в значительной мере связано с их природными свойствами. Длительные сроки накопления, хранения и доставки топлива ведут к его физико-химическому выветриванию, ухудшающему потребительские свойства. Степень влияния этих процессов зависит от марочного состава исходного сырья, природных и климатических особенностей районов добычи и использования, дополнительного увлажнения, скорости притока кислорода к углю, порядка формирования штабелей, условий хранения [7,

9–11]. Пригодность угля для использования в малой энергетике труднодоступных регионов (обычно котельные со слоевым сжиганием) определяется следующими основными параметрами качества: зольность, рабочая влажность, удельная теплота сгорания, выход летучих веществ, гранулометрический состав, содержание вредных примесей. Различное топливо имеет разные сроки хранения, наиболее короткие присущи торфу и углям низкой степени метаморфизации (бурые, длиннопламенные).

После вскрытия пласта органическая часть угля под воздействием сложных дезинтеграционных процессов претерпевает необратимую трансформацию. Её интенсивность зависит от скорости окислительных реакций, природно-климатических особенностей окружающей среды, срока движения угля в цепочках поставок [8, 10, 12]. Частицы угля менее 8–10 мм при слоевом сжигании в процессе горения фактически часто не участвуют, так как часть их проваливается в зольное отделение, часть с потоком горячего воздуха вылетает в трубу. Утилизация угля с высоким содержанием мелких фракций вместо сортового ведёт к снижению КПД котлов и перерасходу угля. При сжигании в котлах с колосниковой решеткой для производства одного и того же количества тепловой энергии рядового угля необходимо до 1,5–2 раз больше, чем сортового [13–15]. Выполненные с участием авторов натурные наблюдения в добычных забоях и на складах Кангаласского, Харбалахского, Кемпендэйского, Джебарики-Хайинского разрезов показывают, что в теплое время угли, особенно бурые, быстро теряют влагу, растрескиваются и рассыпаются с образованием большего количества мелочи класса меньше 5 мм. Сказанное дополнительно актуализирует постановку задачи по оценке изменения

качества добытого угля при различных вариантах его хранения.

Методика проведения исследований

Объектом изучения послужил бурый уголь марки Б2 класса 0–300 мм Кангаласского месторождения (45 км от г. Якутск). Объект выбран с учётом широкого распространения в регионе углей со схожим качеством (табл., ТУ 0325–048–00161861–2004), опыта работы разреза в составе цепочек поставок для локальных нужд, простоты транспортирования проб из разреза до полигона, низких затрат на эксперимент.

На угольном разрезе до наступления положительных температур ($t_{\text{сред.}} \ll 0^\circ \text{C}$) по трём вертикальным осям в крест линии простирания из недавно вскрытого угольного пласта «Верхний» по всей его мощности отобраны пробы (3,4 т) по ГОСТ 10742–71 механизированным способом (ЭКГ–5). Уголь самосвалом доставлен на полигон ИГДС СО РАН, где произведен первичный отбор проб для определения по ГОСТ Р 53357–2013 основных исходных характеристик угля (W , A , V , Q) и его гранулометрического состава. Подготовка всех первоначально отобранных и последующих проб и проведение технического анализа топлива производилось лабораторией комплексного использования угля ИГДС СО РАН в г. Нерюнгри.

Далее весь объём угля был разделён на части примерно по 500 кг в каждой для изучения процесса изменения свойств угля при различных вариантах хранения (рис. 1):

1) хранение рядового угля навалом и в полипропиленовых мешках, имитирующих мягкие контейнеры типа «бигбэг», в экспериментальной лабораторной шахте института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, распо-

ложенной в криолитозоне (температура воздуха и пород $t_{\text{ср.}}$ от -10 до -5°C);

2) хранение угля на открытой площадке и под навесом с естественным проветриванием: а) уголь сортовой (без класса – 10 мм) навалом и в мягких контейнерах; б) уголь сортовой навалом; в) уголь рядовой навалом.

Критическая масса угля Кангаласского разреза, в которой может начаться процесс, приводящий к самовозгоранию, равна 1,6 т с толщиной угольного слоя более 1,1 м [16]. Для устранения риска самовозгорания угля все варианты его долгосрочного хранения предусматривали формирование от каждой из частей по пять порций. Количество топлива (в среднем 35–45 кг) было в несколько раз меньше граничных значений. Для корректного сравнения данных все порции были сопоставимы по весу (разброс не более 1,5 раза). Каждая из проб рассеивалась по классам крупности: +40; +20–40; +10–20; +5–10 и +0–5 мм при устойчивых отрицательных температурах воздуха и поверхности земли. После гранулометрического анализа все классы вновь смешивались с минимальным механическим воздействием. Сами порции после отбора из них проб для технического анализа свойств угля размещались в определенные планом места хранения.

Определение изменений потребительских свойств угля в период с 1.04.2018 по 01.02.2019 гг. выполнялось с интервалом в два месяца для контроля происходящих в угле изменений. С каждой из площадок хранения поэтапно извлекалось по одной порции угля, выполнялся ситовой анализ по обозначенным выше классам крупности с отбором проб для технического анализа. Все этапы эксперимента фиксировались фотосъёмкой, а данные о порциях и отобранных пробах угля,

Таблица

Качественные характеристики кангаласских углей

Qualitative characteristics of opencast mine «Kangalassky» coal

Массовая доля общ. влаги, W_t (сред./пред.)	Зольность пласта, A^d , % (сред./пред.)	Выход летучих веществ, V^{daf} , %	Высшая теплота сгорания топлива, ккал/кг Q_s^{daf}/Q_r^i	Массовая доля, % (не более)
30,7/33,0	«Верхний» 17,0/18,0 «Нижний» 14,0/16,0,	49,0	6700/3490	2,5 породы в угле 0,4 общей серы, S_t^d

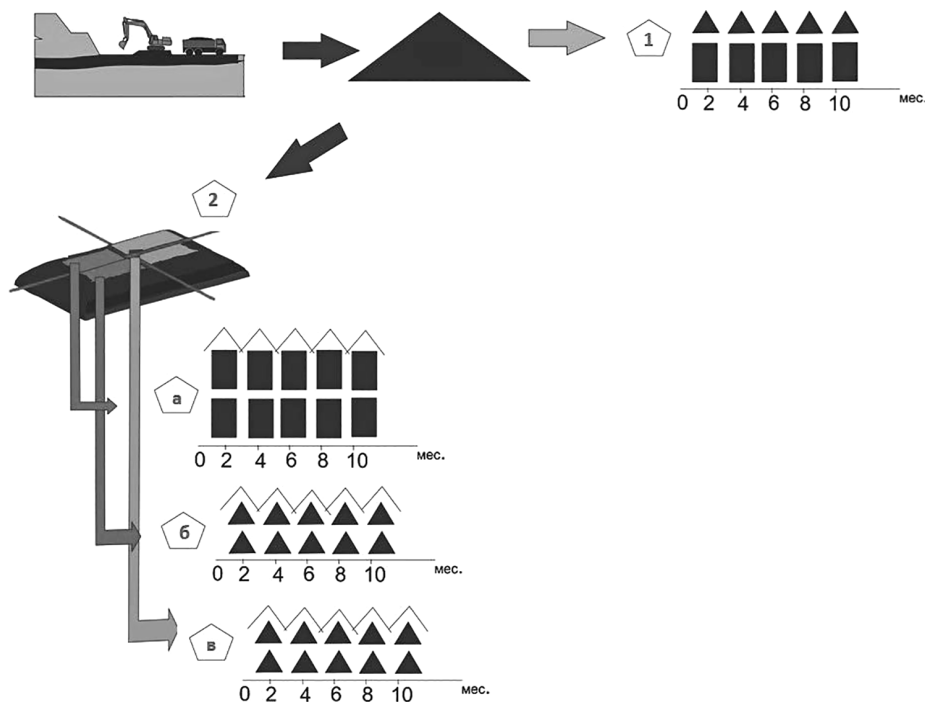


Рис. 1. Схема формирования порций проб угля для различных условий хранения

Fig. 1. The scheme for forming coal samples for different storage conditions

получаемых результатах вносились в специальные журналы и электронные таблицы.

Результаты исследования и их обсуждение

Среднее качество угля в исходной общей пробе в достаточной для целей

эксперимента степени соответствует представленным в таблице данным: $W_t = 27,5\%$; $W_{cp}^a = 12,8\%$; $A^d = 10,3\%$; $V^{daf} = 49,5\%$; $Q_s^a = 22,08$ мДж/кг; $Q_i^a = 21,77$ кДж/кг. Практически по всем пробам данные изменялись в диапазоне, находящемся в пределах ошибок, связанных с отбором, разделкой

проб, выполнением анализов. К тому же говорить о каких-либо закономерностях по результатам одного эксперимента нельзя.

Более значимый научно-практический интерес представляют результаты изучения изменения гранулометрического состава угля при различных условиях хранения. Наименьшая трансформация произошла с углем, который хранился при устойчивых отрицательных температурах навалом и в мешках (рис. 2). А наибольшая — с тем, который находился просто под открытым небом. Это касается как рядового, так и сортового топлива (рис. 3), в котором произошло смещение в классах крупности в сторону мелких, содержание которых увеличилось на 15,2–21,3% и 21,7–36,6% соответственно.

С учетом относительно невысокой представительности полученных по одной пробе данных планируется повторить эксперимент со сравнением результатов. Для уменьшения скорости окислительных процессов в угле предполагается сделать оценку влияния различных экранов на свойства угля, хранимого на открытой площадке. Подобный выбор связан с тем, что такой вид хранения угля, исходя из полученных данных, натуральных наблюдений и практики работы, является самым неэффективным с точки зрения сохранности исходного качества топлива и его гранулометрического состава.

Заключение

Оценка изменения свойств низкометаморфизированных углей, выпол-

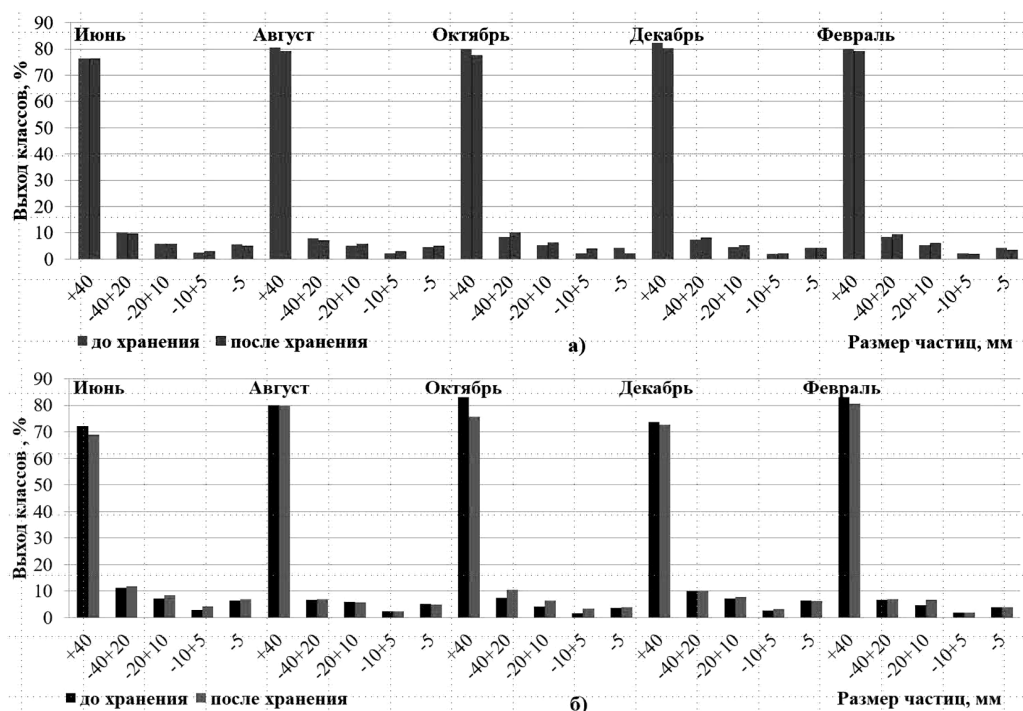


Рис. 2. Изменение гранулометрического состава угля при хранении в мерзлом состоянии: а) в мешках, б) навалом

Fig. 2. The change of granulometric composition of coal for storage in freezing state: 1) in bags; 2) bulk

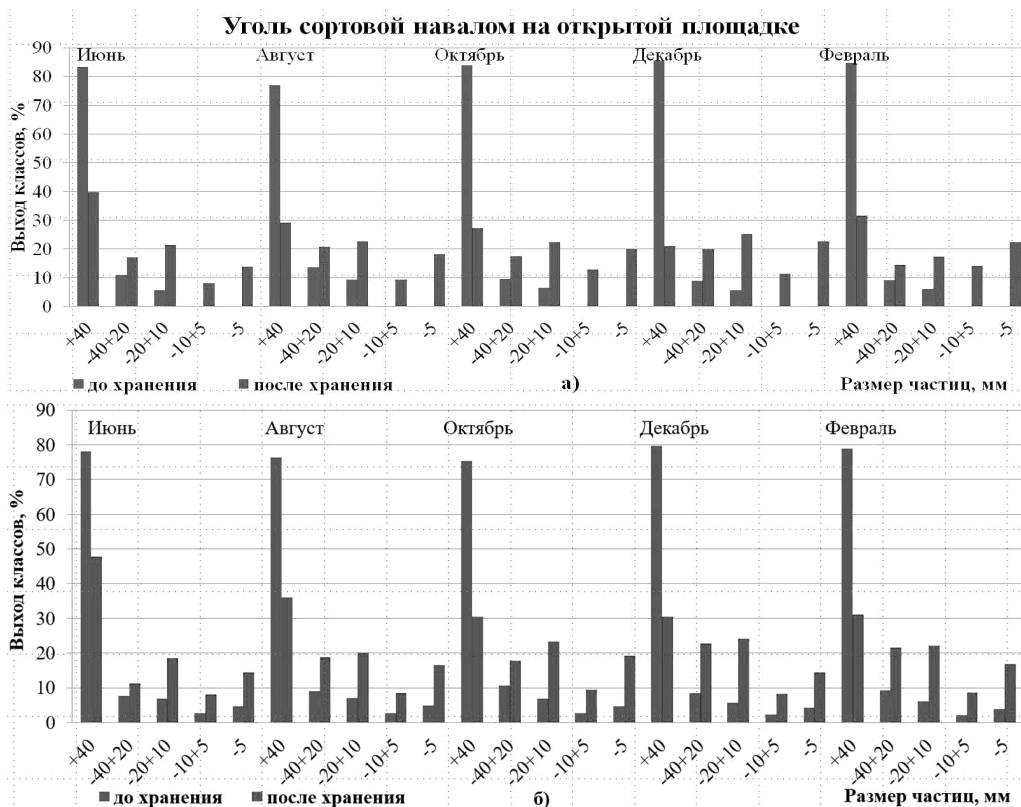


Рис. 3. Изменение гранулометрического состава сортового и а) рядового угля при хранении навалом на открытой площадке

Fig. 3. The change of granulometric composition of grade coal 1) and coal in a bulk in an open area

ненная на примере бурого угля марки Б2 Кангаласского месторождения, показала, что условия хранения и его длительность оказывают влияние на качество угля. В первую очередь это относится к его гранулометрическому составу, в котором в динамике увеличивается количество мелких классов.

При хранении рядового угля навалом и в сортовом виде на открытой площадке активно изменяется гранулометрический состав топлива со значительным увеличением выхода мелких классов (0–10 мм), которые в основном не участвуют в процессе горения в печах со слоевым способом сжига-

вать при совершенствовании работы цепочек поставок угля потребителям, начиная с его добычи.

Для снижения потерь твердого топлива по качеству рекомендуется хранить его при постоянных отрицательных температурах для максимального сохранения его свойств, включая гранулометрический состав добытого угля. Сортировка и первичная переработка топлива, его тарирование в местах ведения горных работ будут также способствовать снижению общих потерь. Целесообразно применение открытых навесов, настилов, закрытых и заглубленных складов, средств экранирования от прямого

воздействия солнечной энергии. Возможно также использование рационального планирования вскрышных и добычных работ с учётом возможности их выполнения в менее теплые периоды года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года / Отв. ред. Н. А. Петров. — Якутск; Иркутск: Медиа-холдинг “Якутия”. — 2010. — 328 с.
2. *Fedorov V. I., Batugina N. S., Gavrilov V. L., Tkach S. M., Khoiutanov E. A.* Small-scale coal mines in hard-to-reach regions in Yakutia: the problems of creation and exploration // Bulgaria 2018, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2017, vol. 53, 012015. DOI:10.1088/1755–1315/53/1/012015.
3. *Стенников В. А., Петров Н. А., Иванова И. Ю., Добровольская Т. В., Павлов Н. В.* Проблемы и направления развития теплоснабжения Республики Саха (Якутия) в среднесрочной перспективе // Энергетическая политика. — 2018. — № 1. — С. 64–74.
4. *Гаврилов В. Л., Хохолов Ю. А., Федоров В. И.* О влиянии условий доставки угля в труднодоступные северные районы на его потребительские свойства // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2019. — т. 6. — № 3. — С.219–225. DOI: 10.15372/FPVGN2019060337.
5. *Khokholov Yu. A., Gavrilov V. L., Fedorov V. I.* Mathematical modeling of heat-exchange processes in outdoor storage of frozen coal // Journal of Mining Science, 2019, vol. 55, no. 6, pp. 1013–1022. DOI: 10.1134/S1062739119066405.
6. *Cai C, Li G, Huang Z, Tian S, Shen Z, Fu X* (2015) Experiment of coal damage due to supercooling with liquid nitrogen // Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2015, vol. 22, pp. 42–48. DOI org/10.1016/j.jngse.2014.11.016.
7. *Qin L., Zhai C., Liu S., Xu J., Yu G., Sun Y.* Changes in the petrophysical properties of coal subjected to liquid nitrogen freeze-thaw — A nuclear magnetic resonance investigation // Fuel, 2017, vol. 194, pp. 102–114. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.01.005/
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 and Technology, 2020. DOI: 10.1007/s40789–020–00352-x.
9. *Агарков К. В., Эпштейн С. А., Коссович Е. Л., Добрякова Н. Н.* Влияние условий замораживания-размораживания углей на их гранулометрический состав и механическую прочность // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 6. — С. 72–83. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_6_0_72.
10. *Хрисанфова А. И., Литвинов В. Л.* Технология хранения углей и мероприятия по сокращению потерь топлива. — М.: Недра, 1970. — 192 с.
11. *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. — С. 2–8.
12. *Лазаров Л., Ангелова Г.* Структура и реакции углей. — София: Изд-во Болгарской АН, 1990. — 232 с.
13. *Роддатис К. Ф., Полтарецкий А. Н.* Справочник по котельным установкам малой производительности. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 488 с.
14. *Переясловский И. В., Степаненко С. А., Осокин С. Е.* Выбор энергоэффективного угольного топлива. — Режим доступа: <http://www.energosoвет.ru/stat828.html>. Дата обращения 10.06.2021.

15. Субботин Ю. В. Овешников Ю. М. Циношкин Г. М. Управление качеством бурых углей Харанорского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – №4. – С.64–72.

16. Чемезов Е. Н., Федорова С. Е. Результаты исследования склонности углей к самовозгоранию в условиях многолетней мерзлоты // Народное хозяйство Республики Коми. – 1998. – №1. – С. 218–221. **МИАБ**

REFERENCES

1. *Energeticheskaya strategiya Respubliki Saha (Yakutiya) na period do 2030 goda* [The Republic of Sakha (Yakutia) Energy Strategy 2030]. Otv. red. N. A. Petrov. Yakutsk; Irkutsk: Media-holding “Yakutia”, 2010, 328 p. [In Russ].

2. Fedorov V. I., Batugina N. S., Gavrilov V. L., Tkach S. M., Khoiutanov E. A. Small-scale coal mines in hard-to-reach regions in Yakutia: the problems of creation and exploration. Bulgaria 2018, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2017, vol. 53, 012015. DOI:10.1088/1755–1315/53/1/012015.

3. Stennikov V. A., Petrov N. A., Ivanova I. Yu., Dobrovolskaya T. V., Pavlov N. V. Problems and Areas of Heat Supply Development in the Sakha Republic (Yakutiya) in the Medium Term. *Energy policy*, 2018, no. 1, pp. 64–74. [In Russ].

4. Gavrilov V. L., Khokholov Ya. A., Fwdorov V. I. On the impact of the conditions of delivery of coal to hard-to-reach northern regions on its consumption. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk*, 2019, vol. 6, no. 3, pp. 219–225. DOI: 10.15372/FPVGN2019060337.

5. Khokholov Yu. A., Gavrilov V. L., Fedorov V. I. Mathematical modeling of heat-exchange processes in outdoor storage of frozen coal. *Journal of Mining Science*, 2019, vol. 55, no. 6, pp. 1013–1022. DOI: 10.1134/S1062739119066405.

6. Cai C, Li G, Huang Z, Tian S, Shen Z, Fu X (2015) Experiment of coal damage due to supercooling with liquid nitrogen. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2015, vol. 22, pp. 42–48. DOI org/10.1016/j.jngse.2014.11.016.

7. Qin L., Zhai C., Liu S., Xu J., Yu G., Sun Y. Changes in the petrophysical properties of coal subjected to liquid nitrogen freeze-thaw A nuclear magnetic resonance investigation. *Fuel*, 2017, vol. 194, pp. 102–114. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.01.005/

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 and Technology*, 2020. DOI: 10.1007/s40789-020-00352-x.

9. Agarkov K. V., Epshtein S. A., Kossovich E. L., Dobryakova N. N. Freeze-thaw conditions effects on coals grain size composition and resistance to breakage. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2021, no. 6, pp. 72–83. [In Russ]. DOI:10.25018/0236_1493_2021_6_0_72.

10. Khrisanfova A. I., Litvinov V. L. *Tekhnologiya hraneniya uglej i meropriyatiya po sokrashcheniyu poter' topliva* [Coal storage technology and fuel reduction measures]. Moscow: Nedra, 1970, 192 p. [In Russ].

11. Miroshnichenko D. V., Desna N. A., Kaftan Yi. S. Study of coal oxidation in industrial conditions. Communication 4. Temperature of coal stack. *Coke and chemistry*, 2015, no. 2, pp. 2–8. [In Russ].

12. Lazarov L., Angelova G. *Struktura i reakcii uglej* [Coal structure and reaction Sofia]: Izd-vo Bolgarskoj AN, 1990, 232 p. [In Russ].

13. Roddatis K. F., Poltaretskiy A. N. *Spravochnik po kotel'nyh ustanovkam maloj proizvoditel'nosti* [Manual on low-productivity boilers]. Moscow: Energoatomizdat, 1989, 488 p. [In Russ].

14. Pereyaslovskij I. V., Stepanenko S. A., Osokin S. E. *Vybor energoeffektivnogo ugol'nogo topliva* [Choice of an energy-efficient coal fuel. Access mode: <http://www.energosovet.ru/stat828.html>. Date of request 10.06.2021. [In Russ]

15. Subbotin YU. V. Oveshnikov YU. M. Cinoshkin G. M. Quality Management of Charanorsky Brown Coal deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2012, no. 4, pp. 64–72. [In Russ]

16. Chemezov E. N., Fedorova S. E. Results of a study on the propensity of coals to spontaneous combustion in permafrost. *Narodnoe hozyajstvo Resp. Komi*, 1998, no. 1, pp. 218–221. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Федоров Владислав Игоревич*¹ — младший научный сотрудник, fonariwe@gmail.com;
Гаврилов Владимир Леонидович^{1,2} — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,
e-mail: gvlugorsk@mail.ru;

¹ Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43;

² Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Fedorov V. I.*¹, Junior Researcher, fonariwe@gmail.com;

Gavrilov V. L.^{1,2}, Cand. Sci (Eng.), Leading Researcher, gvlugorsk@mail.ru;

¹ Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia, Lenin Ave, 43;

² Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, Krasny Ave.

Corresponding author: *Gavrilov V. L.*, e-mail: gvlugorsk@mail.ru

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 21.10.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 21.10.2021; accepted for printing 10.11.2021.

