

УДК 622.822

DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-2-29-35

САМОВОЗГОРАНИЕ УГЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ**SPONTANEOUS COMBUSTION OF COALS IN PERMAFROST CONDITIONS****Е. Н. Чемезов,**

Северо-Восточный федеральный
университет им. М. К. Аммосова,
г. Якутск
yegor.chemezov@mail.ru



E. Chemezov,
The Ammosov North-Eastern Federal
University, Yakutsk

К. К. Федоров,

Северо-Восточный федеральный
университет им. М. К. Аммосова,
г. Якутск
kfk6@mail.ru



K. Fedorov,
The Ammosov North-Eastern Federal
University, Yakutsk

С учетом перспектив роста добычи угля в условиях северо-востока страны требуют дальнейшего развития исследования по более надежному обоснованию мер профилактики эндогенных пожаров в зоне многолетней мерзлоты, которые наносят значительный экономический ущерб и ухудшают экологическую ситуацию из-за выделения большого количества токсичных газов. Нами исследованы химическая активность и склонность к самовозгоранию углей криолитозоны. Показано влияние температуры окружающей среды на динамику окислительных процессов в угольных скоплениях. Выявлен главный фактор предупреждения эндогенной пожароопасности угольных месторождений северо-востока страны, который заключается в сохранении отрицательной или низкой температуры воздуха для предотвращения интенсификации окислительных процессов в углях зоны распространения многолетней мерзлоты. В лабораторных условиях изучено влияние физико-химических факторов на процесс самовозгорания мерзлых углей. Натурные эксперименты проведены на многих угольных разрезах области распространения многолетней мерзлоты. Выполнен системный анализ и обобщение отечественных и зарубежных способов профилактики самовозгорания углей. Предложены антипирогенные составы для снижения окислительной способности углей

Ключевые слова: уголь, шахта, самовозгорание, химическая активность, профилактика, многолетняя мерзлота, эндогенная пожароопасность, тепловой режим, температура, месторождение

Taking into account the prospects for the growth of coal production in the conditions of the North-East, the countries require further development of research to more reliably justify measures to prevent endogenous fires in the permafrost zone, which cause serious economic damage and worsen the environmental situation due to the release of large amounts of toxic gases. The authors have studied the chemical activity and tendency to spontaneous combustion of coals in the permafrost zone. The effect of ambient temperature on the dynamics of oxidative processes in coal accumulations is shown. These studies have identified the main factor in preventing the endogenous fire hazard of coal deposits in the North-East of the country, which consists in maintaining negative or low air temperatures to prevent the intensification of oxidative processes in the coals of the permafrost zone. In laboratory conditions, the influence of physical and chemical factors on the process of spontaneous combustion of frozen coals was studied. Field experiments were carried out on many coal mines in the permafrost area. A system analysis and generalization of domestic and foreign methods of prevention of spontaneous combustion of coals has been carried out. Antipyrrogenic compositions have been proposed to reduce the oxidizing ability of coals

Key words: coal, mine, spontaneous combustion, chemical activity, prevention, permafrost, endogenous fire hazard, thermal regime, temperature, deposit

Введение. В нашей стране и за рубежом выполнен большой объем научно-исследовательских работ по изысканию мер профилактики самовозгорания углей.

Трудность точного определения факторов самовозгорания чрезвычайно затрудняет оценку пожарной опасности путем непосредственного визуального наблюдения [6]. Тепловой баланс является частным случаем закона сохранения энергии. Он выражает распределение тепла, которое генерируется при окислении между статьями его расходования. Самовозгорание возможно только в том случае, если через скопления угля происходит фильтрация воздуха¹ [7–9].

Критическая температура и инкубационный период. Самовозгорание происходит не сразу после того, как уголь пришёл в соприкосновение с воздухом, а по истечении некоторого времени, которое требуется для того, чтобы самонагревание достигло критической температуры. В угольной промышленности критической температурой считается 70...80 °С. При этой температуре самонагревание быстро переходит в возгорание.

Несмотря на применение мер профилактики эндогенных пожаров, их количество остается значительным. Большие объемы складированного угля и ограниченные площади определяют необходимость сооружения штабелей угля значительной высоты, что создает благоприятные условия для их самонагревания и далее – переход в процесс самовозгорания угля. Процессы самовозгорания неоднократно возникали на угольных складах шахт «Сангарская», «Джебарики-Хая» и угольного разреза «Кангаласский».

Большинство пожаров эндогенного происхождения происходят в породно-угольных скоплениях: навалах, осыпях, внутренних и внешних отвалах и штабелях угля. В общем количество пожаров по разрезам составляет 30...80 % [10–12].

Анализ случаев интенсивных газодельней и эндогенных пожаров в угольных шахтах северо-востока показывает, что они, в основном, приурочены к летне-осенним периодам года, когда в шахты поступает и аккумулируется тепло.

Окисление и самовозгорание угля происходило на шахте Норильского месторождения «Анадырская» ПО «Северовостокуголь», на угольном складе шахты «Джебарики-Хая» (уголь марки Д). Были случаи возгорания угля, доставленного в порт Осетрово. Зарегистрированы случаи самовозгорания углей в речных транспортных сосудах (баржах), различных скоплениях угля на предприятиях, где добывается и хранится на складах бурый уголь.

На основании выполненного в Институте горного дела Севера СО РАН анализа случаев самовозгорания многолетнемерзлых углей и внезапного появления окиси углерода в действующих выработках шахт северо-востока страны предложены мероприятия по профилактике эндогенных пожаров при разработке угольных месторождений в условиях многолетней мерзлоты и предложена схема развития процесса самовозгорания многолетнемерзлых углей.

С учетом перспективы развития угледобычи в районах северо-востока требуют дальнейшего развития теоретические положения, а также работы по более надежному обоснованию мер профилактики эндогенных пожаров в условиях многолетней мерзлоты, т. к. часто возникающие эндогенные пожары наносят серьезный ущерб экономике. Так, на угольном разрезе Кангаласский ежегодно сгорают десятки тысяч тонн угля. По данным В. К. Куренчина [10], на Норильских шахтах из-за эндогенного пожара зарегистрировано возгорание около 10 млн т подготовленного к выемке угля, значительные потери угля по этой причине на шахтах «Джебарики-Хая» и «Анадырская».

Кроме того, при разогреве угля резко ухудшается его качество – теплотворная способность, повышается зольность.

Исследование эндогенной пожароопасности в условиях угольных предприятий северо-востока страны является актуальной научной и практической задачей.

Целью работы является исследование физико-химических факторов окисления углей, выявление закономерностей и критических параметров процесса самовозгора-

¹ Чемезов Е. Н., Быков Н. А., Галкин А. Ф., Ларионов В. Р. Рекомендации по предупреждению эндогенных пожаров при отработке многолетнемерзлых угольных пластов (на примере угольных шахт Якутии). – Якутск: Якутский научный центр СО АН СССР, 1989. – 29 с.

ния, обоснование наиболее эффективных и экономичных способов и средств профилактики самовозгорания углей в условиях криолитозоны, разработка рекомендаций по профилактике эндогенных пожаров.

Объект исследования – угольные месторождения северо-востока России.

Задачи:

– рассмотреть процесс окисления углей в условиях многолетней мерзлоты;

– исследовать самовозгорания углей на угольных разрезах и шахтах в области распространения многолетней мерзлоты.

Основная идея работы состоит в использовании специфических природных факторов и условий многолетней мерзлоты для профилактики эндогенных пожаров.

Методология исследования. Наиболее детальные исследования физико-химических факторов самовозгорания углей в криолито-

зоне проведены на примере углей Кангаласского угольного разреза ОАО Холдинговой компании «Якутуголь». При исследовании использовался комплексный подход.

На рис. 1 приводятся данные изменения со скорости сорбции кислорода и с повышением температуры воздуха.

Наибольшее увеличение скорости сорбции кислорода проявляется на шахте Анадырской и Кангаласском разрезе, более слабое – на пластах «Сложный» и «Логовой» шахты Сангарской. Угли шахты Кадыкчанской № 10 имеют более высокое значение кинетической константы скорости сорбции кислорода при таких температурах по сравнению с углями шахты «Джебарики-Хая».

На рис. 2 приведены результаты исследования склонности углей в зависимости от температуры.

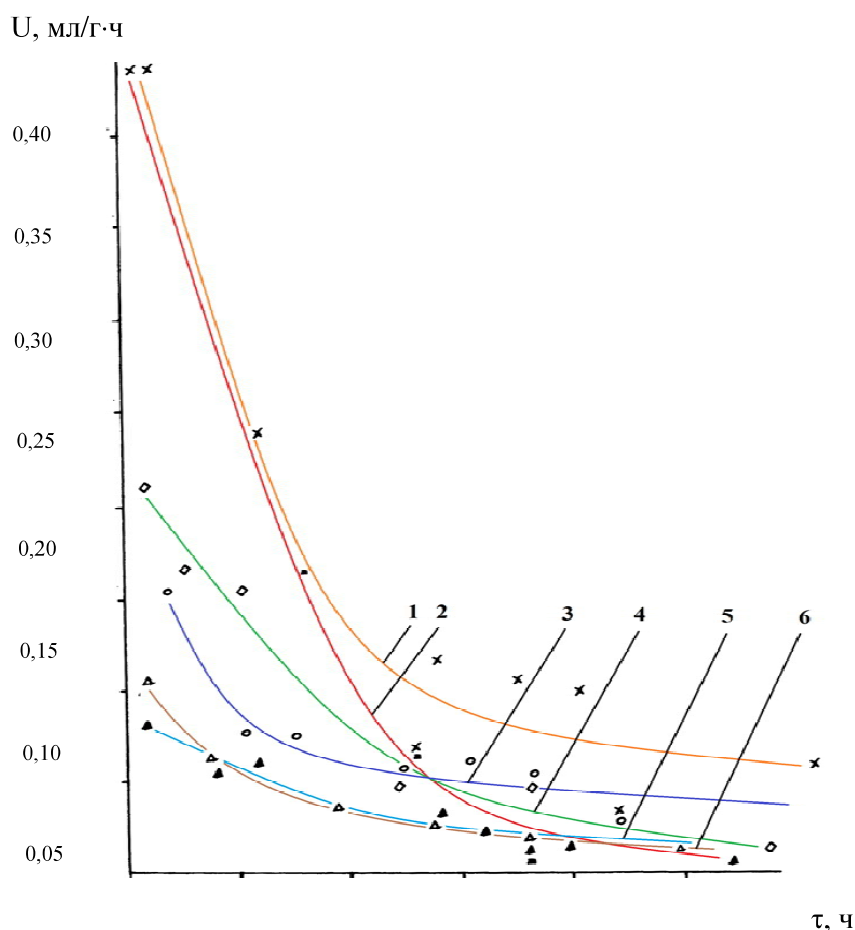


Рис. 1. Сравнительные показатели сорбционной способности углей при температуре $+25^{\circ}\text{C}$: 1 – Анадырский; 2 – Кангаласский; 3 – Джебарики-Хайский; 4 – Денисовский; 5 – шахта Коксовая; 6 – Сангарский / Fig. 1. Comparative indicators of the sorption capacity of coals at $+25^{\circ}\text{C}$: 1 – Anadyrsky; 2 – Kangalassky; 3 – Dzhebariki-Khay; 4 – Denisovsky; 5 – Koksovaya mine; 6 – Sangarsky

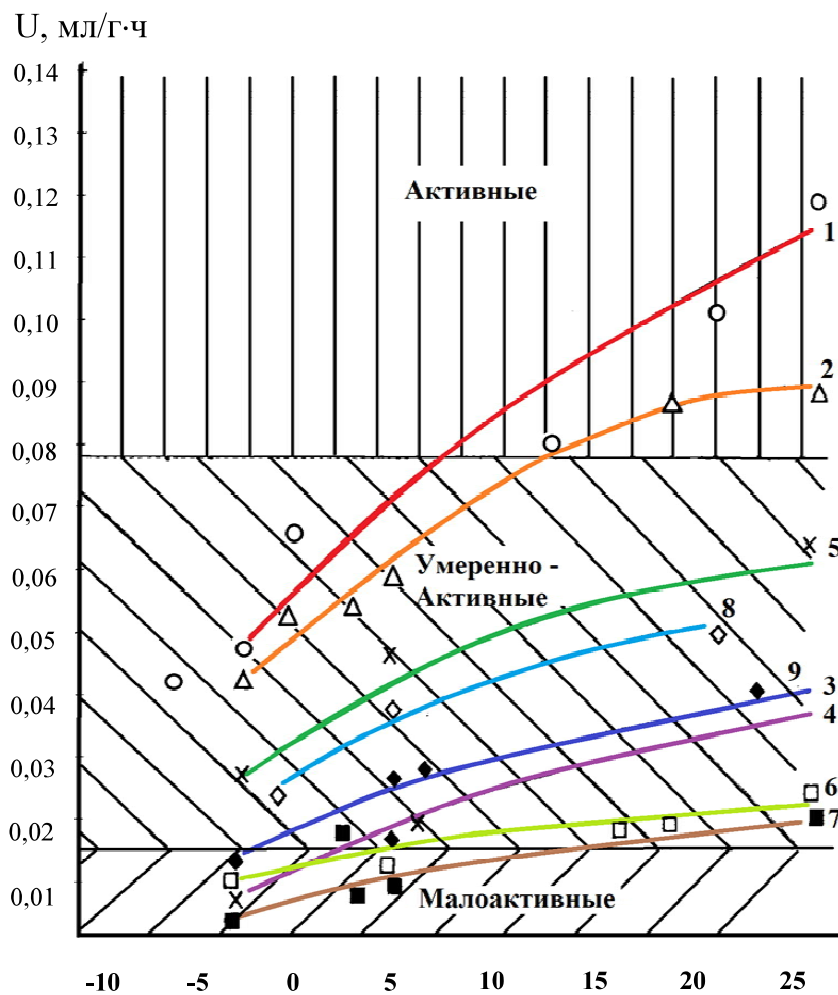


Рис. 2. Изменения показателей химической активности мерзлых углей от температуры:
 1 – месторождение Анадырское; 2 – Кангаласское; 3 – Джебарики-Хая; 4 – Нерюнгринское;
 5 – Денисовское; 6 – Сангарское (пласт Сложный); 7 – Сангарское (пласт Логовой); 8 – Кадыкчанское;
 9 – Кедровское / Fig. 2. Change in indicators of chemical activity of frozen coals on temperature: 1 – Anadyr;
 2 – Kangalasskoe; 3 – Dzhebariki-Khaya; 4 – Neryungri; 5 – Denisovskoe; 6 – Sangarskoe (layer Complex);
 7 – Sangarskoe (Lagovoi layer); 8 – Kadykchanskoye; 9 – Kedrovskoye

В 1970–1980 гг. на ряде шахт зафиксированы случаи появления окиси углерода повышенной концентрации, что квалифицировалось как наличие эндогенного пожара и приводило к остановке горных работ.

Так, в марте 1973 г. на шахте «Сангарская» в выработках пласта «Сложный» обнаружена окись углерода концентрацией до 0,02 %. Поскольку это явление за 40 лет эксплуатации месторождения отмечалось впервые, комиссия, расследовавшая причины появления CO, квалифицировала это явление как наличие эндогенного пожара, и пласт был изолирован.

В октябре 1974 г. аналогичная ситуация сложилась на шахте «Джебарики-Хая», где также была обнаружена окись углерода концентрацией до 0,02 %. Вместе с тем, систематические наблюдения не подтвердили наличие эндогенных пожаров на данных шахтах, и причины появления окиси углерода высоких концентраций до последнего времени не были установлены.

Проведенный нами анализ обстоятельств, предшествовавших появлению CO, приводит к выводу, что основной причиной интенсификации окислительных процессов послужило тепло, подаваемое в шахты с вентиляционной струей.

Так, в ноябре 1972 г. на шахте «Сангарская» введена в эксплуатацию калориферная установка, которая к моменту появления СО в течение трех месяцев работала на полную мощность. Интенсивный подогрев в шахту воздуха был необходим для снижения опасности замерзания воды при пуске вновь вводимого в эксплуатацию закольцованного противопожарного трубопровода.

На шахте «Джебарики-Хая» к моменту появления окиси углерода прямым ходом обрабатывался первый выемочный столб в районе выхода пласта под насосы с незначительным удалением от вскрывающей воздухоподающей выработки. Поэтому в летне-осенний период в шахту поступал теплый воздух, незначительно охлаждающийся в сети горных выработок. Аккумулирование тепла в выработанном пространстве шахт, обусловленное низким качеством изоляции и поступлением теплового воздуха, активизировало окислительные процессы, что и послужило причиной появления окиси углерода.

Следовательно, положительная температура поступающего в шахту воздуха, разогревающая окружающий выработки мерзлый горный массив, оказывает существенное влияние на объем газовой выделений и глубину дегазации пластов.

Отрицательное влияние теплового воздуха на эндогенную пожароопасность наглядно демонстрируется на примере шахты «Анадырская» объединения «Северовостокуголь», где в ноябре 1973 г. обнаружен эндогенный пожар. Одной из причин возникновения пожара, как отмечено в акте комиссии, является большое количество теплового воздуха, поданного в шахту в летний период 1973 г., когда проводились добычные работы.

По данным, приведенным в работе, эндогенные пожары, возникающие в угольных

шахтах Норильского ГМК, также обусловлены положительной температурой шахтной атмосферы.

С ростом химической активности возрастает газовыделение. При искусственном подогреве проб угля в лабораторных условиях нами выявлена динамика концентрации газов при повышении температуры угля.

Закключение. В ходе исследования нами выявлен главный фактор эндогенной пожароопасности угольных шахт северо-востока страны. Этот фактор заключается в сохранении отрицательной или умеренно положительной температуры для предотвращения интенсификации окислительных процессов, приводящих к самовозгоранию углей. Исследование сорбционной способности углей месторождений северо-востока показывает, что химическая активность углей в условиях мерзлоты зависит, главным образом, от температуры теплового режима – при отрицательной температуре почти все угли имеют низкую химическую активность, которая резко возрастает с повышением температуры.

В шахтах необходимо поддерживать температуру, предотвращающую самовозгорание углей. Известны и успешно применяются на шахтах севера локальные способы регулирования теплового режима с поддержанием умеренно положительных температур на рабочих местах (например, в лавах, где работают механизированные комплексы или другая техника) и отрицательных или близких к ним положительных температур в других выработках и выработанных пространствах шахт. Поэтому тепловой режим шахты должен быть выбран с учетом химической активности углей. Таким образом, поддержание оптимальных температур воздуха в шахтах является эффективным способом предотвращения эндогенных пожаров в условиях угольных предприятиях северо-востока страны.

Список литературы

1. Игишев В. Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах. М.: Недра, 1987. 176 с.
2. Линденау Н. И., Маевская В. М., Крылов В. Ф. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах. М.: Недра, 1977. 318 с.
3. Киселев Я. С., Хорошилов О. А. Стандартный и научный подходы к определению условий возникновения горения // Пожаровзрывобезопасность. 2004. Т. 13, № 6. С. 45–52.
4. Киселев Я. С., Хорошилов О. А., Демехин Ф. В. Физические модели горения в системе пожарной безопасности. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 339 с.

5. Колесниченко И. Е., Артемьев В. Б., Колесниченко Е. А., Черечукин В. Г., Любомищенко Е. И. Теория горения и взрыва метана и угольной пыли // Уголь. 2016. № 6. С. 30–35. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-6-30-35.
6. Луговцева Н. Ю., Портола В. А. Влияние предварительно охлажденного угля на развитие процесса самовозгорания // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 108–110.
7. Портола В. А. Оценка влияния некоторых факторов на процесс самовозгорания угля // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1996. № 3. С. 61–68.
8. Портола В. А., Протасов С. И., Подображин С. Н. Проблемы и пути снижения пожароопасности при добыче угля открытым способом // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 11. С. 41–43.
9. Федорова С. Е. Эндогенная пожароопасность углей в криолитозоне. Якутск: ЯФГУ. Изд-во СО РАН, 2004. 104 с.
10. Эпштейн С. А., Монгуш М. А., Нестерова В. Г. Методы прогноза склонности углей к окислению и самовозгоранию // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 12. С. 211–216.
11. Arisoy A., Beamish B. Reaction kinetics of coal oxidation at low temperatures // Fuel. 2015. Vol. 159. P. 412–417.
12. Zhang L., Qin B. Rheological characteristics of foamed gel for mine fire control // Fire and Materials. 2016. Vol. 40. Iss. 2. P. 246–260.

References

1. Igishev V. G. *Borba s samovozgoraniyem uglya v shahtah* (Struggle against spontaneous combustion of coal in mines). Moscow: Nedra, 1987, 176 p.
2. Lindenau N. I., Mayevskaya V. M., Krylov V. F. *Proishozhdeniye, profilaktika i tusheniye endogennykh pozharov v ugolnykh shahtah* (Origin, prevention and suppression of endogenous fires in coal mines). Moscow: Nedra, 1977, 318 p.
3. Kiselev Ya. S., Khoroshilov O. A. *Pozharovzryvobezopasnost* (Fire and explosion safety), 2004, vol. 13, no. 6, pp. 45–52.
4. Kiselev Ya. S., Khoroshilov O. A., Demekhin F. V. *Fizicheskiye modeli goreniya v sisteme pozharnoy bezopasnosti* (Physical models of combustion in the fire safety system). St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2009, 339 p.
5. Kolesnichenko I. Ye., Artemyev V. B., Kolesnichenko Ye. A., Cherechukin V. G., Lyubomishchenko Ye. I. *Ugol* (Coal), 2016, no. 6, pp. 30–35. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-6-30-35.
6. Lugovtseva N. Yu. Portola V. A. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* (Modern problems of science and education), 2013, no. 6, pp. 108–110.
7. Portola V. A. *Fiziko-tehnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh* (Physical and technical problems of mineral development), 1996, no. 3, pp. 61–68.
8. Portola V. A., Protasov S. I., Podobrazhin S. N. *Bezopasnost truda v promyshlennosti* (Labor safety in industry), 2004, no. 11, pp. 41–43.
9. Fedorova S. Ye. *Endogennaya pozharoopasnost ugley v kriolitozone* (Endogenous fire hazard of coals in permafrost). Yakutsk: YaFGU. Publishing House of SO RAN, 2004, 104 p.
10. Epshteyn S. A., Mongush M. A., Nesterova V. G. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information and analytical bulletin), 2008, no. 12, pp. 211–216.
11. Arisoy A., Beamish B. *Fuel* (Fuel), 2015, vol. 159, pp. 412–417.
12. Zhang L., Qin B. *Fire and Materials* (Fire and Materials), 2016, vol. 40, Iss. 2, pp. 246–260.

Информация об авторе

Чемезов Егор Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность», Горный институт, Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова; директор, учебно-методический центр по охране труда, г. Якутск, Республика Саха (Якутия). Область научных интересов: охрана труда в горно-добывающей промышленности, безопасность производственных предприятий
yegor.chemezov@mail.ru

Федоров Константин Константинович, аспирант, кафедра техносферной безопасности, Горный институт, Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, Республика Саха (Якутия). Область научных интересов: эндогенные пожары, охрана труда, промышленная безопасность
kfk6@mail.ru

Information about the author

Egor Chemezov, doctor of technical sciences, professor, director of Training and methodological center for labour protection, Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Republic of Sakha, (Yakutia). Research interest: labour protection in the mining industry, safety of industrial enterprises

Konstantin Fedorov, postgraduate, Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia). Research interest: endogenous fires, labor protection, industrial safety

Для цитирования

Чемезов Е. Н., Федоров К. К. Самовозгорание углей в условиях криолитозоны // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 2. С. 29–35. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-2-29-35.

Chemezov E., Fedorov K. Spontaneous combustion of coals in permafrost conditions // Transbaikal State University Journal, 2022, vol. 28, no. 2, pp. 29–35. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-2-29-35.

Статья поступила в редакцию: 31.01.2021 г.
Статья принята к публикации: 15.02.2022 г.