

ГЕОЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ТРУДА

УДК 622.822.22

DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-95-103

Мониторинг зоны самовозгорания породугольного массива георадиолокационным методом

Калайгорода В. В.^{1*}, Никулин Н. Ю.¹, Простов С. М.¹,
Шабанов Е. А.¹, Крупина Н. В.¹

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

*e-mail: kalay232@gmail.com

Реферат

Введение. Эндогенные пожары – весьма распространенный и при этом один из самых сложных видов аварий в горнодобывающей промышленности. Основной причиной эндогенных пожаров является окисление горючей породы кислородом. Действующие пожары значительно усложняют ведение горных работ, приводят к потере подготовленных к выемке запасов угля, дорогостоящей угледобывающей техники, наносят огромный экономический ущерб, связанный с проведением работ по тушению пожаров. Запожаренные зоны являются источниками выделения в атмосферу вредных для дыхания газов, поэтому весьма существенен также экологический вред. Ввиду того что эндогенные пожары трудно предсказать и прогнозировать, особенно на начальных стадиях, их изучение является актуальным для ученых ведущих научно-исследовательских институтов горной промышленности.

Цель работы. Исследовать и проанализировать эффективность георадиолокационного метода для диагностирования зон самовозгорания породугольного массива.

Методология. Для оценки эффективности георадиолокационного метода проведены натурные экспериментальные исследования по распознаванию и локализации очагов подземных пожаров. Для определения информативности данного метода проведено бурение скважин и сопоставление геологических данных с результатами георадиолокационного исследования.

Результаты. Приведен результат визуального осмотра участка действующего подземного возгорания для предварительного определения областей горения. Методом георадиолокационного зондирования по расположению характерных аномальных зон на радиограммах пожара диагностированы очаги возгорания по глубине и в плане. Осуществлены работы по бурению скважин для изучения литологического строения массива, а также выполнено дополнительное георадиолокационное зондирование, уточняющее ширину пожара в плане.

Выводы и область применения результатов. Георадиолокационный метод позволяет получить оперативные данные о месторасположении очагов самовозгорания угленосного массива и их размерах. Применение данной технологии способствует своевременному принятию мер по предотвращению развития подземных пожаров на территории поверхностных комплексов шахт и разрезов.

Ключевые слова: эндогенный пожар; самовозгорание угля; георадиолокационное зондирование; очаг возгорания; горение угленосного массива; контрольное бурение.

Введение. Эндогенные пожары на угольных шахтах и разрезах, вызванные самовозгоранием угля, углистых пород и угленосной смеси, наносят значительный ущерб, связанный с затратами на ликвидацию пожаров, проветривание и

усложнение технологии отработки запожаренных участков с потерей части запасов и снижением качества угля.

Ежегодно в шахтах России возникает от 15 до 25 пожаров от самовозгорания угля. На долю Кузнецкого угольного бассейна приходится более 60 % добычи угля в России и около 70 % всех регистрируемых в шахтах эндогенных пожаров [1].

На угольных разрезах эндогенные пожары возникают на вскрытых угольных пластах, породных отвалах, хвостохранилищах обогатительных фабрик. Самовозгорание углепородных скоплений характерно для угольных разрезов, расположенных в Беловском и Прокопьевско-Киселевском угольных районах. Ежегодно фиксируется до 38 эндогенных пожаров, часть из которых не могут потушить более 30 лет.

Тушение эндогенных пожаров на шахтах нередко сопровождается изоляцией дорогостоящих механизированных комплексов и консервацией подготовленных к выемке запасов. Одним из перспективных средств тушения подземных пожаров являются инертные смеси, получаемые при совместном распылении жидкого азота и воды [2]. Эндогенные пожары на шахтах приносят многомиллионные убытки организациям. По данным ИГД им. Скочинского, прямые затраты на борьбу с эндогенными пожарами составляют 3,5–6,3 % от себестоимости добычи, а косвенные потери от снижения производительности труда – более 5,6 % [3]. На крупных карьерах Сибири, по данным официальной отчетности, 15 % внеплановых потерь вызвано эндогенными пожарами. Эндогенные пожары ухудшают санитарно-гигиенические условия труда горняков и загрязняют атмосферу прилегающих районов ядовитыми продуктами горения и окисления, а это повышает уровень заболеваемости населения, что доказано мировой практикой [4]. Например, на Бачатском карьере из всего объема вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, 85 % связано с эндогенными пожарами. Известны случаи полного прекращения работ в Коркинском карьере из-за высокой загазованности карьерной атмосферы при неблагоприятных метеоусловиях. Почти каждый второй случай самовозгорания пород прогрессирует до пламенного горения или взрывоопасной ситуации [5].

Проблема эндогенных пожаров волнует не только ученых Кузбасса и России, эту проблему также активно изучают зарубежные исследователи в своих работах. Их труды направлены на анализ проблем в аспекте самовозгорания угля [6, 7], определение факторов, влияющих на интенсивность разогрева, разработку методов предотвращения и ликвидации эндогенных пожаров [8]. Исследованы такие факторы, способствующие повышению склонности к самовозгоранию, как циклическое замораживание-размораживание угля [9] и приток воздуха, окисляющего уголь, в выработанное пространство [10].

Развитие процесса самовозгорания происходит при следующих обязательных условиях [11, 12]:

- наличие материала, способного окисляться кислородом при температуре окружающей среды; на угледобывающих предприятиях таким материалом могут быть сера, отходы древесины, промасленные ткани; в Кемеровской области в отвалах содержится менее 0,6 % серы, поэтому ее окисление не играет существенной роли в возникновении очагов самовозгорания; основной причиной самовозгорания в данном случае является большая концентрация угольных частиц в теле отвала, окисление которых происходит с выделением тепла [13];

- постоянный приток кислорода к окисляющей поверхности, при этом перемещение воздуха в углепородных скоплениях обеспечивается не только за счет перепадов давления воздуха, но и процессов диффузии;

– количество тепла, образующееся в результате реакций окисления, должно превышать количество тепла, выделяемое окисляющимся материалом в окружающее пространство, при этом более склонны к самовозгоранию скопления с небольшими значениями коэффициента теплопроводности.

Снижение риска эндогенной пожароопасности достигается прогнозированием и определением наиболее вероятных очагов образования эндогенных пожаров, а также разработкой мероприятий по локализации эндогенных пожаров на ранней стадии [14]. Таким образом, георадиолокационный метод мониторинга подходит для решения части проблем, касающихся самонагрева углеродных массивов.

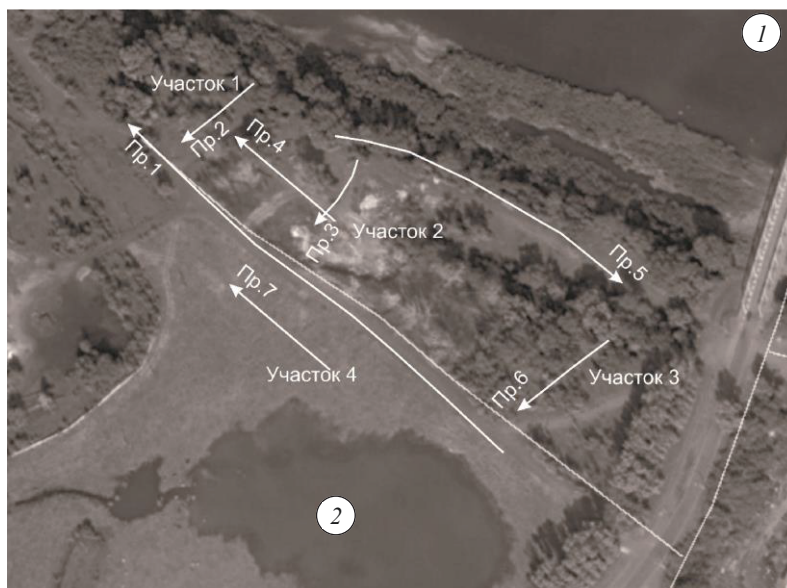


Рисунок 1. Схема участка изысканий:

1 – река Кондома; 2 – искусственный водоем; Участок 1–4 – участки визуальных признаков возгорания; Пр.1–Пр.7 – профили георадиолокационного зондирования

Figure 1. Scheme of the survey site:

1 – Kondoma river; 2 – artificial reservoir; Участок 1–4 – sites with visual signs of fire; Пр.1–Пр.7 – ground-penetrating radar sounding profiles

Прогноз эндогенной пожароопасности включает определение расположения и размеров очага пожара, стадии развития процесса самонагрева, уточнение границ пожароопасной зоны. Возникновение и развитие пожара сопровождается выделением из окисляющегося материала газов, влаги, изменением физических свойств массива, формированием аномалий естественных физических полей.

Принципиально различают четыре группы методов прогноза эндогенных пожаров [15]:

– *визуально-физиологические*, основанные на обнаружении внешних признаков органами чувств (зрением, обонянием, ощущением) без специальных приборов и оборудования;

– *химико-аналитические*, устанавливающие признаки пожара путем химического анализа рудничного воздуха или воды на присутствие в них продуктов горения или термического разложения;

– *минералого-геохимические*, изучающие пожары по составу горных пород, путем наблюдения за вторичными минералами, образующимися при развитии окислительных процессов;

– геофизические, предусматривающие обнаружение пожаров с помощью приборов по физическим параметрам, зависящим от теплового состояния среды (температуры рудничного воздуха, воды и горных пород, влажности атмосферы, электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости горных пород).

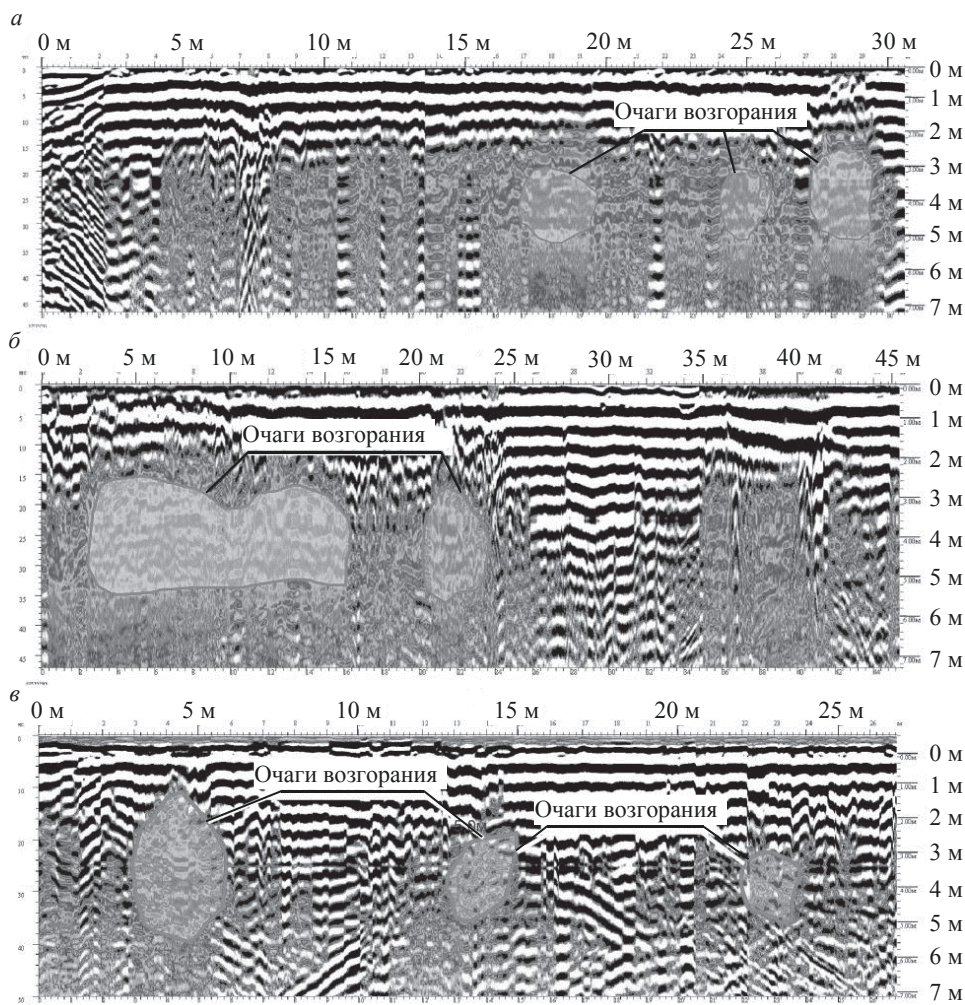


Рисунок 2. Результаты георадиолокационного зондирования по профилям:

а – Пр. 3; *б* – Пр. 4; *в* – Пр. 6

Figure 2. Results of ground-penetrating radar sounding by profiles:

а – Пр. 3; *б* – Пр. 4; *в* – Пр. 6

Отдельной проблемой является самовозгорание углепородных массивов при использовании вскрышных пород в качестве строительных материалов при сооружении насыпей, дамб, плотин, оснований технических сооружений. Последствиями аварийных ситуаций подобного типа могут быть не только задымление, но и нарушение основных функций сооружений.

Результаты комплексных инженерно-геологических и геодезических изысканий на участке самовозгорания технологического породугольного массива.

На территории, ранее принадлежащей ООО «Шахта Шушталепская», расположенной в г. Калтане, на левом берегу р. Кондомы, в северо-восточном направлении

нии от ул. Закарпатская, была сооружена оградительная дамба из вскрышных пород высотой до 7 м, площадью в плане более 32 300 м². В результате совместного воздействия самовозгорания содержащегося в породе угля и возможного поджога произошло развитие подповерхностного возгорания, выявленного по визуальным признакам.

С целью изучения границ распространения пожара в плане и по глубине проведены исследования, которые включали два этапа.

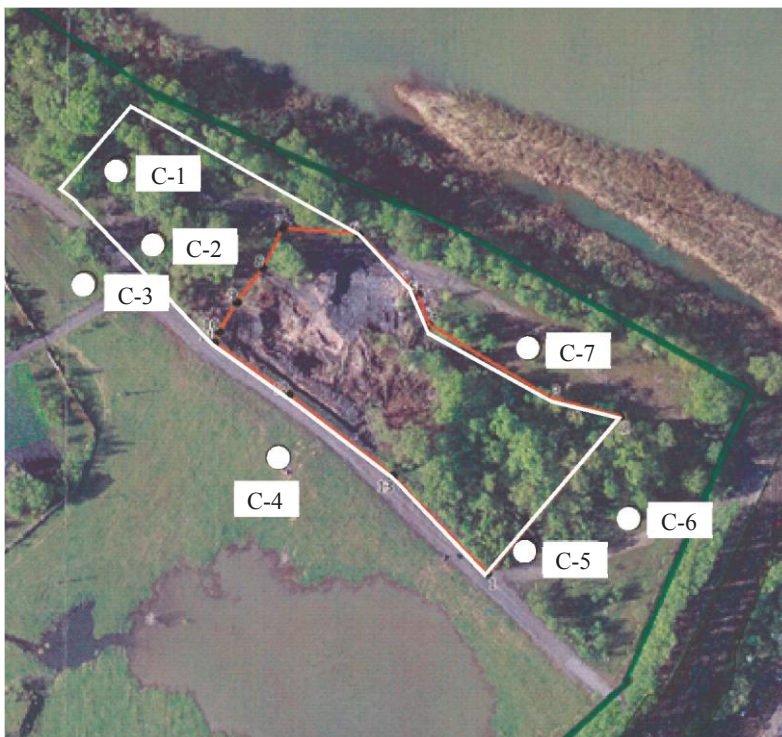


Рисунок 3. Схема расположения инженерно-геологических скважин и выявленные границы зоны активного горения:

C-1–C-7 – номера скважин;

Figure 3. Scheme of the location of geotechnical wells and the identified boundaries of the active combustion zone:

C-1–C-7 – numbers of wells

На первом этапе проведено маршрутное визуальное обследование участка изысканий, которое заключалось в установлении границ распространения возгорания по поверхностным признакам (проталины, выход продуктов горения на поверхность земли). После визуального обследования проведены исследования методом георадиолокационного зондирования георадаром ОКО-2. Зондирование выполнялось антенным блоком АБ-400 на частоте 400 МГц, что позволило проследить литологическое строение грунтов на глубину до 7 м. Целью георадиолокационного зондирования на первом этапе являлось диагностирование очагов возгорания по глубине и в плане.

На втором этапе выполнены буровые работы с целью прямого изучения литологического строения грунтового массива, а также проведены дополнительные исследования методом георадиолокационного зондирования с целью уточнения границ распространения пожара в плане.

Георадиолокационное зондирование на первом этапе выполнено по периметру визуально установленной зоны воздействия подземного пожара и на участках с интенсивным газовыделением. Схема участка изысканий приведена на рис. 1.

По результатам визуального обследования выявлены следующие характерные участки техногенного массива (рис. 1):

- три участка (1–3) интенсивного выделения продуктов горения, которые ввиду сплошного фронта распространения проталины, объединяющего все эти участки, приурочены к одному подземному пожару;
- проталина, расположенная в окрестностях искусственного водоема, образовалась в результате теплообмена при отсутствии участков выделения продуктов горения (участок 4).

Таблица 1. Результаты контрольного бурения
Table 1. Test boring results

Номер скважины	Глубина залегания насыпных грунтов, м	Визуальные признаки
С-1	5,8	Выделение продуктов горения, нагрев бурового инструмента
С-2	6,4	Выделение продуктов горения, нагрев бурового инструмента
С-3	6,9	Выделение продуктов горения, нагрев бурового инструмента
С-4	7,4	Не зафиксировано
С-5	6,5	Не зафиксировано
С-6	6,5	Не зафиксировано
С-7	5,2	Не зафиксировано

Результаты георадиолокационного зондирования в форме радарограмм по профилям Пр. 3, Пр. 4, Пр. 6 представлены на рис. 2.

Очаги возгорания на радарограммах выявлены по характерным аномалиям на интервале глубин от 2,2 до 6 м.

По профилям Пр. 1, 2, 5, 7 очаги возгорания не установлены. По Пр. 3 выявлены очаги на глубине от 2,2 до 5 м. На профиле Пр. 4, примыкающему к профилю Пр. 3, также выявлены очаги возгорания на глубине от 2,5 до 5 м (рис. 2, б). Очаги распространены на расстоянии 24 м в северо-восточном направлении участка 2 (рис. 1). По профилю Пр. 6 выявлено 3 локальных очага (рис. 2, в). Все очаги распространены до глубины 5 м. Наибольший очаг, расположенный на расстоянии от 3 до 6 м от начала профиля Пр. 6, распространяется с глубины 1 м.

На втором этапе работ выполнено контрольное бурение скважин для подтверждения данных георадиолокационного исследования первого этапа. Расположение инженерно-геологических скважин приведено на рис. 3.

Геологический разрез исследуемого массива включает следующие слои:

- насыпной грунт в виде смеси суглинка и почвы $h = 0,3–0,4$ м (по скважинам № 4 и № 7);
- насыпной грунт в виде угля, горельника, строительного мусора, суглинка $h = 5–7$ м;
- естественный грунт, представленный суглинком, песком, гравием, галечником с песчаным заполнителем.

При бурении скважин С-1–С-3 зафиксированы признаки активного горения угля: выделение из скважины продуктов горения в виде дыма и пара; интенсив-

ный нагрев бурового инструмента. На остальных скважинах данные признаки не зафиксированы.

Основные результаты контрольного бурения представлены в табл. 1.

Выводы. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

– зона активного горения в углепородном массиве расположена на глубине до 5 м в насыпном массиве и простирается параллельно берегу реки (рис. 3), развивается в северо-восточном, восточном и юго-восточном направлениях;

– развитию процессов окисления, самонагрева и самовозгорания угля способствовала некачественная отсыпка поверхностного слоя суглинка, препятствовавшего проникновению атмосферного воздуха в глубь массива;

– метод георадиолокации позволяет уверенно диагностировать зоны очагов пожара по глубине и в плане, поскольку данные зоны обладают аномальными по биэлектрическим параметрам свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоренко А. А. Эндемичная пожароопасность шахт Кузбасса // Записки горного журнала. 2014. Т. 207. С. 66–69.
2. Портола В. А., Галсанов Н. Л. Повышение эффективности применения азота для подавления самовозгорания угля // Вестник КузГТУ. 2011. № 5. С. 59–63.
3. Цибасев С. С., Кравченко И. А., Зорков Д. В. Совершенствование методов прогноза эндогенной пожароопасности на угольных шахтах // Вестник КузГТУ. 2020. № 2. С. 67–74.
4. Bigliardi A. P., Fernandes C. L. F., Pinto E. A. Blood markers among residents from a coal mining area // Environmental Science Pollution Research. 2021. Vol. 28(2). P. 1409–1416.
5. Завиркина Т. В. Анализ статистики эндогенных пожаров на угольных шахтах России // Горные науки и технологии. 2014. № 1. С. 30–36.
6. Lin Q., Wang S., Song S., Liang Y., Ren T. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of self-ignition // Fuel Processing Technology. 2017. Vol. 159. P. 38–47.
7. Onifade M., Genc B. Spontaneous combustion of coals and coal-shales // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. P. 993–940.
8. Rosema A., Guan Y., Veld H. Simulation of spontaneous combustion, to study the causes of coal fires in the Rujigou Basin // Fuel. 2001. No. 80(1). P. 7–16.
9. Deng J., Xiao Y., Li Q., Lu J., Wen H. Experimental studies of spontaneous combustion and anaerobic cooling of coal // Fuel. 2015. No. 157. P. 261–269.
10. Deng J., Lei C., Xiao Y., Cao K., Ma L., Wang W., Laiwang B. Determination and prediction on «three zones» of coal spontaneous combustion in a gob of fully mechanized caving face // Fuel. 2018. No. 211. P. 458–470.
11. Портола В. А., Лабукин В. И. Обнаружение ранней стадии процесса самовозгорания угля в шахтах. Томск: ТПУ, 2011. 133 с.
12. Такранов Р. А. Геологические и природные факторы эндогенных пожаров на угольных карьерах. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 69 с.
13. Брагина П. С. Самовозгорание угольных отвалов в Кемеровской области // Вестник Кузбасской государственной педагогической академии. 2013. № 4. С. 57–64.
14. Новоселов С. В., Попов В. Б., Голик А. С. Оценка риска возникновения эндогенных пожаров в угольных шахтах // Уголь. 2020. № 5. С. 21–25.
15. Простов С. М., Прошкина К. В., Хадизова И. Г. Способы и устройства для предотвращения эндогенных пожаров (аналитический обзор). Кемерово: КузГТУ, 2012. 236 с.

Поступила в редакцию 10 февраля 2022 года

Сведения об авторах:

Калайгорода Всеволод Владимирович – аспирант кафедры теоретической и геотехнической механики Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: kalay232@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8445-2869>

Никulin Николай Юрьевич – кандидат технических наук, ведущий инженер-геофизик ООО «ПК «Ноострой». E-mail: n.y.nikulin@mail.ru

Простов Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры строительного производства и экспертизы недвижимости Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: psm.kem@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0780-2690>

Шабанов Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительного производства и экспертизы недвижимости Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: shabanov@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2460-6467>
Крупина Наталья Васильевна – доцент кафедры автомобильных дорог и городского кадастра Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: krupinanv@kuzstu.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-95-103

Monitoring the spontaneous combustion zone of a rock-coal massif using the ground-penetrating radar method

Vsevolod V. Kalaygoroda¹, Nikolay Iu. Nikulin¹, Sergei M. Prostov¹, Evgenii A. Shabanov¹, Natalia V. Krupina¹

¹ T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia.

Abstract

Introduction. Endogenous fires are common and one of the most complex types of accidents in the mining industry. The main cause of endogenous fires is oxidation of combustible rock by oxygen. Existing fires significantly complicate mining operations, lead to the loss of coal reserves prepared for excavation, expensive coal-mining equipment, and cause huge economic losses associated with firefighting operations. Fired areas are sources of emissions of gases harmful for breathing into the atmosphere, so the environmental damage is also very significant. Due to the fact that endogenous fires are difficult to predict and forecast, especially in their initial stages, their study is relevant to scientists of the leading research institutes of the mining industry.

Research objective is to investigate and analyze the effectiveness of the ground-penetrating radar (GPR) method for diagnosing the spontaneous-combustion zones of the rock-coal massif.

Methods of research. In order to assess the effectiveness of the GPR method, field experimental studies on the recognition and localization of underground fires were carried out. In order to determine the informative value of this method, wells were drilled and geological data was compared with the GPR survey results.

Results. The site of an active underground fire was visually inspected to predefine the combustion areas; inspection results were presented in the paper. Using the method of GPR sounding and based on the typical anomalous zones location on fire radiograms, the fire sources were diagnosed by depth and on the plan. Boreholes were drilled to study the lithological structure of the rock mass. Additional GPR sounding was aimed at defining the width of the fire in plan more precisely.

Conclusions. The GPR method makes it possible to obtain on-line data on the location of coal massif spontaneous-combustion zones and their sizes. This technology contributes to timely measures for preventing the development of underground fires in the territories of mines and open pits surface plants.

Keywords: endogenous fire; spontaneous combustion of coal; ground-penetrating radar sounding; fire source; combustion of the coal massif; test boring.

REFERENCES

1. Sidorenko A. A. Endogenous fire hazard of Kuzbass mines. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2014; 207: 66–69. (In Russ.)
2. Portola V. A., Galsanov N. L. Improvement of efficiency of nitrogen application for suppression of coal spontaneous combustion. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of The Kuzbass State Technical University*. 2011; 5: 59–63. (In Russ.)
3. Tsibaev S. S., Kravchenko I. A., Zorkov D. V. Improvement of spontaneous coal combustion forecast methods in coal mines. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of The Kuzbass State Technical University*. 2020; 2: 67–74. (In Russ.)
4. Bigliardi A. P., Fernandes C. L. F., Pinto E. A. Blood markers among residents from a coal mining area. *Environmental Science Pollution Research*. 2021; 28(2): 1409–1416.
5. Zavirkina T. V. Statistical analysis of endogenous fires in coal mines in Russia. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2014; 1: 30–36. (In Russ.)
6. Lin Q., Wang S., Song S., Liang Y., Ren T. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of self-ignition. *Fuel Processing Technology*. 2017; 159: 38–47.
7. Onifade M., Genc B. Spontaneous combustion of coals and coal-shales. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018; 28: 993–940.

8. Rosema A., Guan Y., Veld H. Simulation of spontaneous combustion, to study the causes of coal fires in the Rujigou Basin. *Fuel*. 2001; 80(1): 7–16.
9. Deng J., Xiao Y., Li Q., Lu J., Wen H. Experimental studies of spontaneous combustion and anaerobic cooling of coal. *Fuel*. 2015; 157: 261–269.
10. Deng J., Lei C., Xiao Y., Cao K., Ma L., Wang W., Laiwang B. Determination and prediction on «three zones» of coal spontaneous combustion in a gob of fully mechanized caving face. *Fuel*. 2018; 211: 458–470.
11. Portola V. A., Labukin V. I. Detection of the early stage of the process of spontaneous combustion of coal in mines. Tomsk: TSU Publishing; 2011. (In Russ.)
12. Takranov R. A. *Geological and natural factors of endogenous fires in coal pits*. Moscow.: ZAO Geoinformmark Publishing; 2000. (In Russ.)
13. Bragina P. S. Spontaneous combustion of coal dumps in the Kemerovo region. *Vestnik Kuzbasskoi gosudarstvennoi pedagogicheskoi akademii = Bulletin of the Kuzbass State Pedagogical Academy*. 2013; 4: 57–64. (In Russ.)
14. Novoselov S. V., Popov V. B., Golik A. S. Risk assessment of endogenous fires in coal mines. *Ugol = Coal*. 2020; 5: 21–25. (In Russ.)
15. Prostov S. M., Proshkina K. V., Khadizova I. G. *Methods and devices to prevent endogenous fires (analytical review)*. Kemerovo: KuzSTU Publishing; 2012. (In Russ.)

Received 10 February 2022

Information about the authors:

Vsevolod V. Kalaygoroda – PhD student, Department of Theoretical and Geotechnical Mechanics, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: kalay232@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8445-2869>

Nikolay Iu. Nikulin – PhD (Engineering), leading engineer, ООО PK Noostroi. E-mail: n.y.nikulin@mail.ru

Sergei M. Prostov – DSc (Engineering), professor of the Department of Construction Production and Real Estate Expertise, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: psm.kem@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0780-2690>

Evgenii A. Shabanov – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of Department of Construction Production and Real Estate Expertise, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: shabanovea@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2460-6467>

Natalia V. Krupina – associate professor of Department of Roads and Urban Cadastre, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: krupinanv@kuzstu.ru

Для цитирования: Калайгорода В. В., Никулин Н. Ю., Простов С. М., Шабанов Е. А., Крупина Н. В. Мониторинг зоны самовозгорания породугольного массива георадиолокационным методом // Известия вузов. Горный журнал. 2022. № 3. С. 95–103. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-95-103

For citation: Kalaigoroda V. V., Nikulin N. Iu., Prostov S. M., Shabanov E. A., Krupina N. V. Monitoring the spontaneous combustion zone of a rock-coal massif using the ground-penetrating radar method. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2022; 3: 95–103 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-95-103