

# Исследование температуры и выделения газов в очагах эндогенных пожаров на породных отвалах

В.А. Портола<sup>1</sup>, С.И. Протасов<sup>2</sup>, Е.А. Серегин<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация

<sup>2</sup> Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР», г. Кемерово, Российская Федерация

✉ eugene\_s1976@mail.ru

**Резюме:** Потери угля, допускаемые в процессе его добычи, и создание условий, способствующих притоку воздуха к окисляющимся горючим компонентам, могут приводить к развитию процесса самовозгорания и возникновению эндогенных пожаров в скоплениях угля и углесодержащих пород в местах ведения добычных работ и на породных отвалах. Наиболее опасны эндогенные пожары в шахтах из-за возможности отравления людей токсичными продуктами окисления углерода, выделяющимися в рудничную атмосферу. Очаги самовозгорания могут инициировать взрывы скоплений горючих газов, угольной пыли. В связи с опасностью эндогенных пожаров для угольных предприятий проводятся широкие исследования процесса самовозгорания угля. В статье приведены результаты замера температуры и концентрации выделяющихся газов в очаге самовозгорания, возникшего в углесодержащих породах отвала. Температуру измеряли в скважинах, пробуренных на глубину 2,5 м. Расстояние между скважинами 10 м. При температуре окружающего воздуха 0 °С, верхний слой породы над очагом самовозгорания прогрет от +5 до +14 °С, что позволяет использовать тепловизоры для выявления очагов самовозгорания. Исследования показали неравномерность прогрева пород, что можно объяснить различным содержанием угля в отвале и различным притоком воздуха к горючим компонентам. Выявлен разный характер увеличения или наоборот уменьшения температуры пород отвала до глубины 2,5 м, поэтому рекомендуемая в настоящее время методика обнаружения и контроля эндогенной пожароопасности породных отвалов не позволяет определить реальные размеры очага. В части скважин обнаружены сероводород и диоксид серы, что подтверждает участие серы в процессе самовозгорания отвалов. Оксид углерода обнаружен практически во всех скважинах, однако не выявлена прямая зависимость между температурой пород и концентрацией оксида углерода.

**Ключевые слова:** породный отвал, углесодержащие породы, эндогенный пожар, очаги самовозгорания, температура, выделение газов, обнаружение самовозгорания, контактный термометр, скважина

**Для цитирования:** Портола В.А., Протасов С.И., Серегин Е.А. Исследование температуры и выделения газов в очагах эндогенных пожаров на породных отвалах. *Горная промышленность*. 2024;(4):140–145. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-140-145>

## Investigation of temperature and gas release in spontaneous fires at rock dumps

V.A. Portola<sup>1</sup>, S.I. Protasov<sup>2</sup>, E.A. Seregin<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

<sup>2</sup> KUZBASS NIIOGR Innovation Company, Kemerovo, Russian Federation

✉ eugene\_s1976@mail.ru

**Abstract:** Losses of coal, allowed in the mining process, as well as the creation of conditions that promote the flow of air to the oxidizable combustible components, can result in self-ignition and spontaneous fires in coal and carbon-containing rock accumulations in places of mining operations and at the rock dumps. Spontaneous fires in underground mines are the most dangerous because people can be poisoned by toxic carbon oxidation products released into the mine air. Self-ignition foci can initiate explosions of the accumulated combustible gases and coal dust. Taking into account the danger of spontaneous fires for coal mines, extensive research on the process of coal self-ignition is underway. The article presents the results of measuring the temperature and concentration of emitted gases in a self-ignition focus, which developed inside the coal-bearing rocks at a dump. The temperature was measured in boreholes drilled to the depth of 2.5 meters. The boreholes were spaced 10 m apart. At the ambient air temperature of 0 °C, the upper layer of the rocks above the self-ignition focus is heated from +5 to +14 °C, which allows using thermal imaging cameras to detect the self-ignition foci. The studies showed a non-uniform heating of rocks, which can be explained by the different content of coal in the dump and different air inflow to the combustible components. Various patterns of increasing or vice versa decreasing temperature of the dump rocks up to the depth of 2.5 m were revealed, so the currently recommended methodology for detection and control the hazards of spontaneous fire at the rock dumps does not allow to determine the real dimensions of the focus. Hydrogen sulfide and sulfur dioxide were detected in some of the boreholes, which confirms that sulfur is involved in the process of waste dumps self-ignition. Carbon oxide was detected in almost all the boreholes, but no direct correlation between the rock temperature and the carbon oxide concentration has been detected.

**Keywords:** rock dump, coal-bearing rocks, spontaneous fire, self-ignition foci, temperature, gas emission, detection of self-ignition, contact thermometer, borehole

**For citation:** Portola V.A., Protasov S.I., Seregin E.A. Investigation of temperature and gas release in spontaneous fires at rock dumps. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):140–145. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-140-145>

## Введение

Потери угля, допускаемые в процессе его добычи, и создание условий, способствующих притоку воздуха к окисляющимся горючим компонентам, могут приводить к развитию процесса самовозгорания и возникновению эндогенных пожаров в скоплениях угля и углесодержащих пород в местах ведения добычных работ и на породных отвалах. Наиболее опасны эндогенные пожары в шахтах из-за возможности отравления людей токсичными продуктами окисления углерода, выделяющимися в рудничную атмосферу. Очаги самовозгорания также могут инициировать взрывы скоплений горючих газов, угольной пыли. В связи с опасностью эндогенных пожаров в угольных шахтах ведется постоянный контроль за признаками процессов самовозгорания угля, а также реализуются мероприятия по предотвращению эндогенных пожаров [1].

На угольных карьерах также существует опасность отравления людей токсичными газами, образующимися при окислении угля и его термическом разложении в случае возникновения очагов самовозгорания. Экономический ущерб угледобывающих предприятий от эндогенных пожаров обусловлен в основном потерями угля, снижением его качества, падением темпов угледобычи, затратами на тушение возникших пожаров и профилактические работы по предотвращению самовозгорания. Необходимо учитывать и загрязнение окружающей среды образующимися газами, продуктами распада угля, поступающими в почву, водоемы, подземные воды [2]. Особенно часто эндогенные пожары возникают в породных отвалах разрезов из-за большого содержания угля, серы.

В связи с опасностью эндогенных пожаров для угольных предприятий проводятся широкие исследования процесса самовозгорания угля. Влияние ветра на развитие процесса самовозгорания в скоплениях угля рассмотрено в [3; 4]. Проведена оценка диапазона скоростей фильтрации воздуха, необходимых для формирования очага самовозгорания в разрыхленном угле [5]. Возможность нагрева угля до определенной температуры только под действием молекулярной диффузии кислорода из окружающего воздуха показали исследования в работе [6]. Влияние различных свойств угля на появление очагов самовозгорания, а также обменных процессов с внешней средой рассмотрено в работах [7–9]. Особенно склонны к самовозгоранию скопления угольной пыли [10], что можно объяснить увеличением площади поверхности, контактирующей с воздухом, при снижении размера частиц угля.

Существуют различные способы обнаружения очагов самовозгорания угля и оценки их состояния. Один из наиболее распространенных способов обнаружения процессов самовозгорания в шахтах основан на измерении концентрации выделяющихся при окислении угля газов [11]. Наиболее информативными являются оксид углерода, водород, предельные и непредельные углеводороды. По соотношению концентраций некоторых индикаторных газов можно оценить и температуру очага самовоз-

горания [12]. Однако для угольных карьеров наибольшее распространение получило измерение температуры скоплений угля и углесодержащих пород. Так, по действующим нормативным документам<sup>1</sup> температурные съемки с целью обнаружения и контроля состояния действующих очагов эндогенных пожаров на породных отвалах должны проводиться:

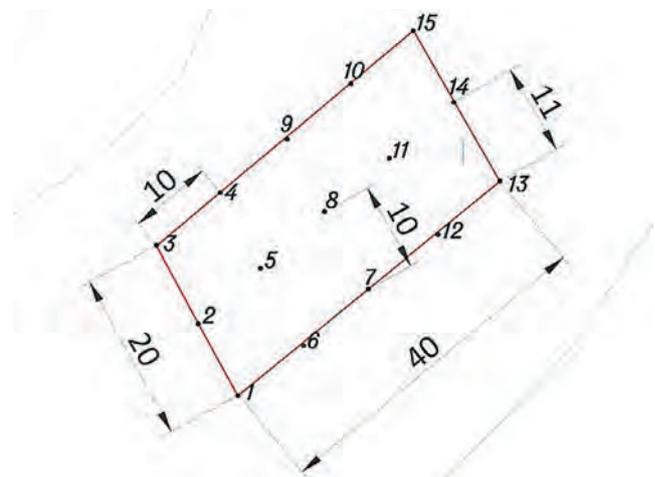
- на действующих негорящих отвалах – 3 раза в год (май, июль и сентябрь);
- на действующих горящих отвалах – 2 раза в год (май и сентябрь);
- на недействующих горящих отвалах – 1 раз в год (сентябрь).

Замер температуры горных пород должен осуществляться на глубине 0,5, 1,5 и 2,5 м от поверхности отвала через каждые 20 м, включая откосы отвала.

Для оценки эффективности регламентированного метода контроля очага самовозгорания на ряде разрезов Кузбасса были выбраны несколько участков породных отвалов размером 20х40 м с очагами эндогенных пожаров. В частности, на анализируемом в настоящей статье участке отвала были пробурены 15 скважин на глубину до 2,5 м. Кроме температуры пород, в скважинах замеряли концентрацию газов, образующихся при окислении горючих компонентов и термическом разложении угля.

## Материалы и методы

Изучение закономерностей распределения температуры возникшего очага самовозгорания в горных породах осуществлялось на отвале разреза. Схема расположения скважин приведена на рис. 1. Скважины обсажены металлическими трубами с внутренним диаметром 125 мм. На глубинах 0,5, 1,5 и 2,5 м от поверхности отвала в стенках труб вырезаны отверстия размером 4х15 см для замера через них температуры пород на разных глубинах. В сва-



**Рис. 1**  
Схема расположения скважин на экспериментальном участке отвала

**Fig. 1**  
Layout of boreholes at the experimental dump site

<sup>1</sup> Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. Сер. 05. Вып. 61. М.: ЗАО НТЦ ПБ; 2021. 60 с.

жинах также определялась концентрация газов CO, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>.

Измерение температуры отвальных пород в скважинах, а также на поверхности отвала рядом со скважиной осуществлялось следующими приборами:

- контактным термометром ТК5.06 с зондом ЗПУГ 500 длиной 0,5 м;
- тепловизором Testo 880-3 PRO;
- лазерным пирометром CEM DT-9860S.

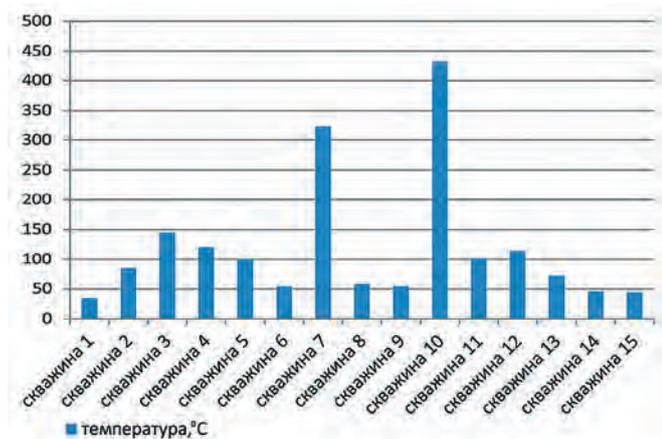
Определение состава газов в скважинах производилось переносным газоанализатором DragerX-am 5000, позволяющим измерять концентрацию метана CH<sub>4</sub>, оксида углерода CO, диоксида серы SO<sub>2</sub>, сероводорода H<sub>2</sub>S и кислорода O<sub>2</sub>. Газоанализатор дополнительно оборудован металлическим зондом длиной 0,7 м и воздухонагнетательной грушей для забора проб воздуха из скважины.

**Результаты**

Проведенные замеры температуры пород в отвале позволили обнаружить прогрев всего исследуемого участка. Так, температура верхнего слоя пород около пробуренных скважин колебалась в пределах от +5 до +14 °С, образуя температурную аномалию по сравнению с температурой атмосферного воздуха, которая равнялась 0 °С в период измерений. На глубине 0,5 м температура пород отвала резко увеличилась и находилась в пределах от +35 до +433 °С. Такой температурный градиент возникает из-за теплоизоляционных свойств пород и охлаждающего действия атмосферного воздуха. Наибольшая температура пород отмечена в скважинах 7 и 10 (рис. 2). Максимальная температура на этой глубине (+433 °С) находится в скважине 10. В остальных скважинах температура пород не превышает +150 °С.

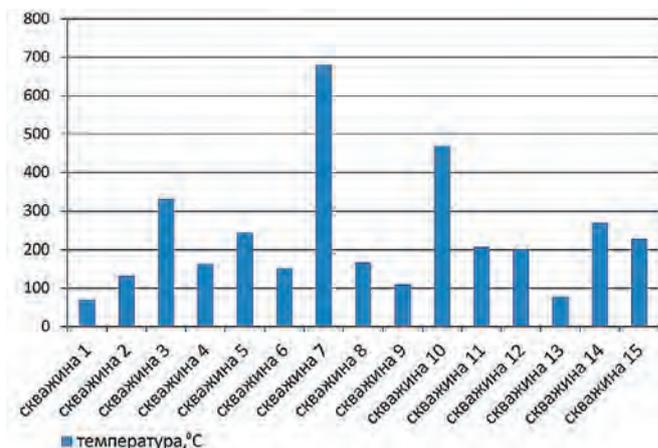
Неравномерность прогрева пород может быть обусловлена изменением содержания угля в породах, а также условиями формирования потоков воздуха в породном отвале, поставляющих кислород к горючим компонентам в отвале, выделяющим тепло в результате реакций окисления. Направление потоков фильтрующегося воздуха в породном отвале зависит от тепловой депрессии, развиваемой очагом, а также особенностей рельефа поверхности, способствующих возникновению избыточного давления воздуха под действием ветрового напора.

На рис. 3 показано изменение температуры горных пород в скважинах на глубине 1,5 м.



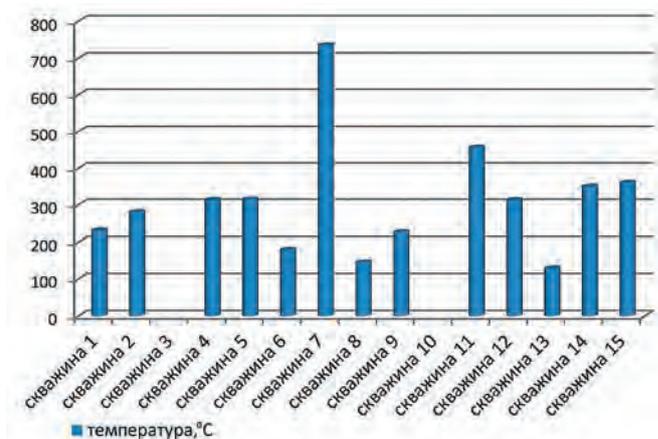
**Рис. 2**  
Изменение температуры пород в скважинах на глубине 0,5 м

**Fig. 2**  
Variation of rock temperature in the boreholes at the depth of 0.5 m



**Рис. 3**  
Температура пород в скважинах на глубине 1,5 м

**Fig. 3**  
Rock temperature in the boreholes at the depth of 1.5 m



**Рис. 4**  
Температура пород в скважинах на глубине 2,5 м

**Fig. 4**  
Rock temperature in the boreholes at the depth of 2.5 m

Анализ результатов, приведенных на рис. 3, показывает, что температура пород на этой глубине увеличилась и колеблется в пределах от +70 до +681 °С. Максимальный прогрев пород на глубине 1,5 м (+681 °С) зафиксирован в скважине 7, температура в которой возросла более чем на 300 °С. Существенно повысилась температура в скважинах 3 и 14 (около 200 °С). Незначительно увеличилась температура в скважине 10.

Распределение температуры в скважинах на глубине 2,5 м приведено на рис. 4. На заданной глубине не удалось измерить температуру в скважинах 3 и 10.

На глубине 2,5 м средняя температура пород в скважинах еще возросла. Так, в наиболее нагретой скважине 7 температура превысила +700 °С. О высокой температуре пород можно было судить по свечению обсадной трубы скважины. Из-за низкого содержания метана (около 1,6%) в скважине отсутствовало пламя и происходило тление углесодержащих пород.

Изменение температуры по глубине скважин приведено на рис. 5, 6 и 7. На рис. 5 показаны скважины 1–5, на рис. 6 – скважины 6–10 и на рис. 7 – скважины 11–15.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что очаг самовозгорания на данном участке породного отвала существует длительное время, и зона горения опустилась на значительную глубину породного отвала. Только скважина 8 имеет максимальную температуру на

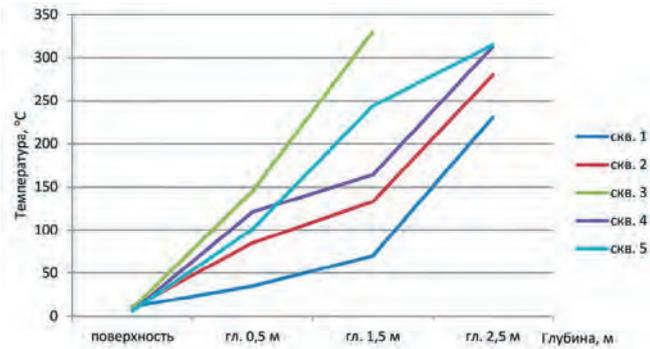


Рис. 5  
Изменение температуры по глубине скважин 1–5

Fig. 5  
Variation of temperature by depth in boreholes 1-5

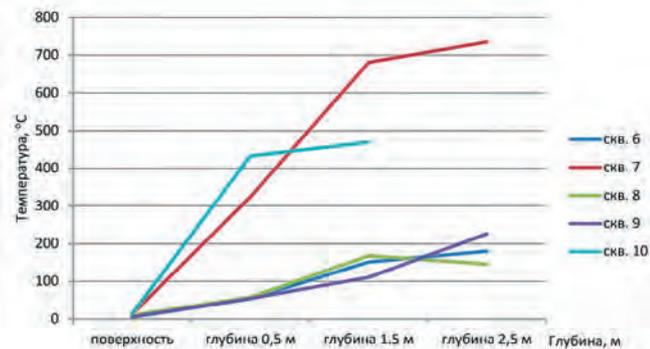


Рис. 6  
Изменение температуры по глубине скважин 6–10

Fig. 6  
Variation of temperature by depth in boreholes 6-10

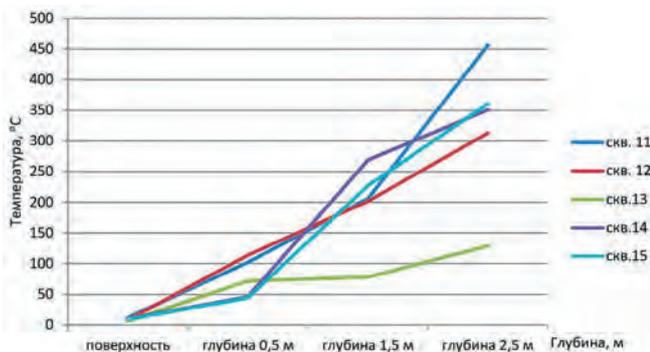


Рис. 7  
Распределение температуры по глубине скважин 11–15

Fig. 7  
Variation of temperature by depth in boreholes 11–15

глубине 1,5 м, а на большей глубине температура пород снижается. У всех остальных скважин наблюдается рост температуры горных пород с глубиной.

Минимальный прирост температуры наблюдался в скважине 13. Возможно, что повышение температуры пород в этой зоне происходило за счет притока тепла из соседних скважин, где температура была существенно выше. Перенос тепла осуществлялся за счет теплопроводности пород и конвективными потоками газа.

Изменение концентрации оксида углерода в скважинах, замеренной на глубине около 0,5 м, приведено на рис. 8.

Замеры показали, что наибольшие значения содержания оксида углерода зафиксированы в скважинах 6, 7 и 8. Максимальное значение (0,143%) обнаружено в скважине 7, имеющей и наибольшую температуру горных пород. В скважинах 6 и 8 температура пород значительно меньше, но выделяется большое количество оксида углерода. Сравнивая данные изменения температуры в скважинах

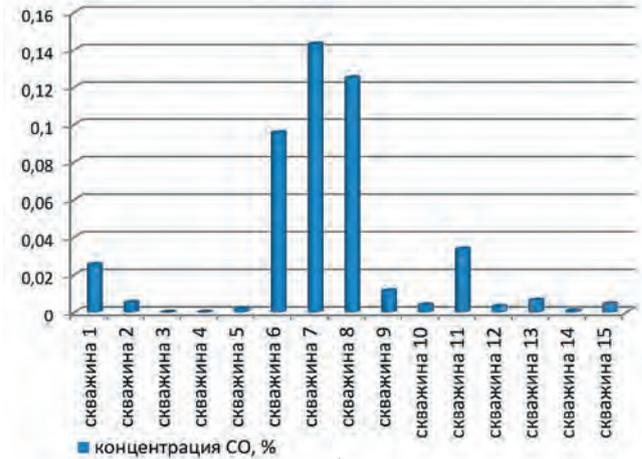


Рис. 8  
Изменение концентрации оксида углерода в скважинах

Fig. 8  
Variation of carbon monoxide concentration in the boreholes

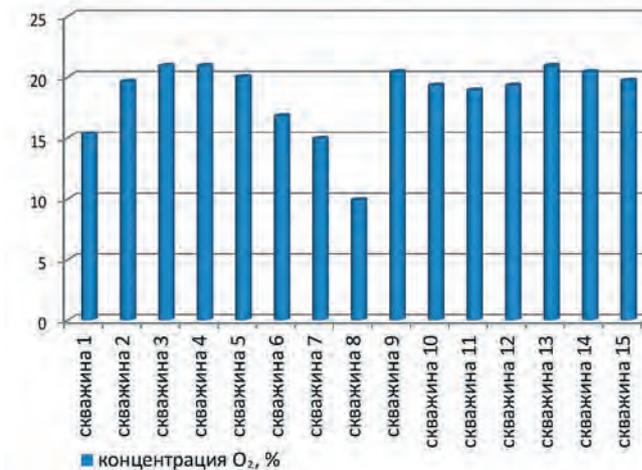


Рис. 9  
Изменение концентрации кислорода в скважинах

Fig. 9  
Variation of oxygen concentration in the boreholes

и концентрации оксида углерода, можно сделать вывод, что не существует прямой зависимости между температурой пород и концентрацией выделяющегося оксида углерода. Отсутствие такой закономерности может быть объяснено возможностью разнонаправленного движения воздуха в скважинах.

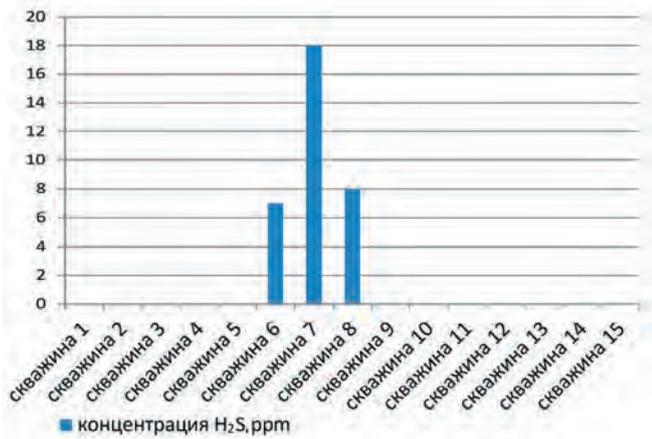
Концентрация кислорода в скважинах приведена на рис. 9.

Проведенные газовые измерения показали, что концентрация кислорода в скважинах имеет довольно большие значения, несмотря на большую (высокую) температуру пород (рис. 9). Минимальные концентрации кислорода наблюдаются в скважинах 1, 6, 7 и 8. В этих же скважинах отмечена повышенная концентрация оксида углерода.

Содержание сероводорода в скважинах приведено на рис. 10, а сернистого ангидрида на рис. 11.

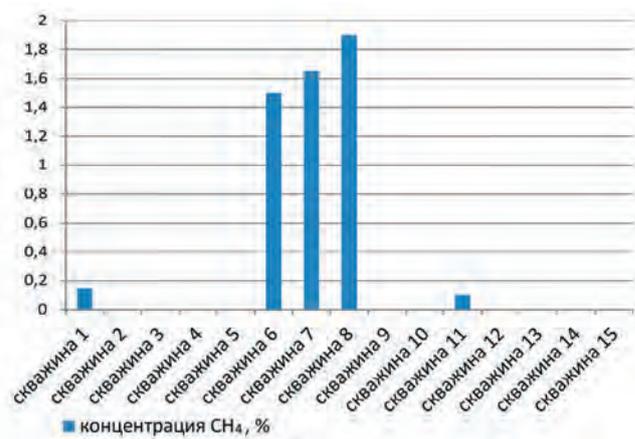
Присутствие этих газов в скважинах свидетельствует о наличии серы в углесодержащих породах и участии этого горючего элемента в процессе самовозгорания пород. Обычно присутствие пирита  $FeS_2$  увеличивает склонность угля к самовозгоранию и является источником серосодержащих газов. Наибольшие концентрации сероводорода и сернистого ангидрида зафиксированы в скважинах 6, 7 и 8.

На рис. 12 показано изменение концентрации метана в скважинах.



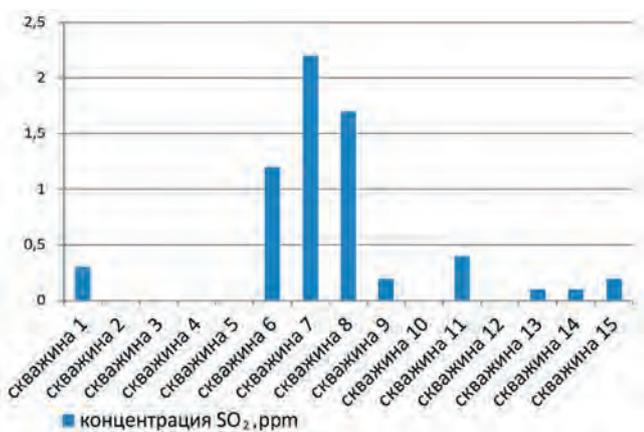
**Рис. 10**  
Изменение концентрации сероводорода H<sub>2</sub>S в скважинах

**Fig. 10**  
Variation of hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) concentration in the boreholes



**Рис. 12.** Изменение концентрации метана CH<sub>4</sub> в скважинах

**Fig. 12**  
Variation of methane (CH<sub>4</sub>) concentration in the boreholes



**Рис. 11**  
Изменение концентрации сернистого ангидрида SO<sub>2</sub> в скважинах

**Fig. 11**  
Variation of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) concentration in the boreholes

Из приведенных данных (рис. 12) видно, что наибольшее выделение метана, так же как сероводорода и сернистого ангидрида, происходит в скважинах 6, 7 и 8. Источником метана, видимо, является пиролиз угля. Однако содержания угля в породах недостаточно для выделения горючих газов в концентрации, способной поддерживать пламенное горение.

**Заключение**

Проведенные на породном отвале исследования показали, что наблюдаются существенные колебания температуры пород в скважинах, расположенных на расстоянии 10 м между собой. Так, на глубине 1,5 м температура в скважинах изменялась в пределах от +70 до +681 °С на сравнительно небольшой площади. Такие колебания температуры могут быть объяснены неравномерностью распределения угля в отвале, а также особенностью формирования потоков воздуха в породах, обеспечивающих приток кислорода к угляю.

Увеличение расстояния между контрольными скважинами до рекомендуемых Инструкцией<sup>2</sup> 20 м снижает достоверность получаемых результатов о состоянии очага самовозгорания, что скажется при выборе способа тушения пожара. При этом уменьшение расстояния между скважинами существенно увеличивает длительность и стоимость замеров, а увеличение расстояния не позволяет обнаружить очаги самовозгорания небольшого размера, характерные для начальной стадии эндогенных пожаров. Повысить разрешающую способность замера температуры пород и снизить ее стоимость позволит съемка поверхности отвалов с помощью тепловизоров [13].

Результаты исследований показали, что в 14 из 15 скважин температура пород увеличивается до глубины 2,5 м, поэтому рекомендации действующей Инструкции<sup>3</sup> ограничиться этой глубиной не позволяют определить размеры очага самовозгорания по глубине отвала и оценить затраты, необходимые для ликвидации пожара.

Замеры состава газов показали, что концентрация оксида углерода в скважинах достигает 0,14%, что представляет опасность для людей, находящихся вблизи очага самовозгорания. Причем исследованиями установлено, что не существует четкой зависимости между температурой пород в скважине и концентрацией оксида углерода. Наличие сероводорода и диоксида серы в ряде скважин свидетельствует о присутствии серы в углеродсодержащих породах. В ходе исследований на экспериментальном участке не выявлено пропорциональной зависимости между концентрацией этих газов и температурой пород. Тем не менее контроль концентрации газов в дополнение к тепловизионной съемке поверхности площадок и откозов отвала позволяет характеризовать стадии окисления пород и их горения.

<sup>2</sup> Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. Сер. 05. Вып. 61. М.: ЗАО НТЦ ПБ; 2021. 60 с.

<sup>3</sup> Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. Сер. 05. Вып. 61. М.: ЗАО НТЦ ПБ; 2021. 60 с.

**Список литературы / References**

1. Скочинский А.А., Огиевский В.М. *Рудничные пожары*. М.: Горное дело; Киммерийский центр; 2011. 375 с.
2. Timofeeva S.S., Lugovtsova N.Yu., Yankova P, Timofeev S S Assessing the unaccounted environmental pressure caused by endogenous fires on the rock dumps of Kuzbass Overburden Rocks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;224:012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/224/1/012057>

3. Портола В.А., Жданов А.Н., Бобровникова А.А. Анализ условий, способствующих развитию процесса самовозгорания в штабелях угля. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6-1):187–197. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_61\\_0\\_187](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_187)  
Portola V.A., Zhdanov A.N., Bobrovnikova A.A. Analysis of the conditions facilitate to the development of the process of self-carrier-burning in coal stacks. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6-1):187–197. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_61\\_0\\_187](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_187)
4. Mohtaderi B., Dlugogorski B.Z., Kennedy E.M. Effects of wind flow on self-heating characteristics of coal stockpiles. *Process Safety and Environmental Protection*. 2000;78(6):445–453. <https://doi.org/10.1205/095758200530998>
5. Lin Q., Wang S., Liang Y., Song S., Ren T. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: Velocity range with high possibility of self-ignition. *Fuel Processing Technology*. 2017;159: 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.09.027>
6. Ютяев Е.П., Портола В.А., Мешков А.А., Харитонов И.Л., Жданов А.Н. Развитие процесса самонагревания в скоплениях угля под действием молекулярной диффузии кислорода. *Уголь*. 2018;(10):42–46. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-10-42-46>  
Yutyaev E.P., Portola V.A., Meshkov A.A., Kharitonov I.L., Zhdanov A.N. Development of self-heating process in coal stocks under molecular diffusion of oxygen. *Ugol'*. 2018;(10):42–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-10-42-46>
7. Song S., Wang S., Jiang S., Liang Y., Hu P. Multifield coupled dynamic simulation of coal oxidation and self-heating in longwall coal mine gob. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020;(1):075657. <https://doi.org/10.1155/2020/9075657>
8. Акбаров Т.Г., Исраилов М.А., Махмудов Д.Р. Изучение и предупреждение самовозгораемости углей Ангреноского месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(1):170–177. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-1-0-170-177>  
Akbarov T.G., Israilov M.A., Makhmudov D.R. Analysis and prevention of spontaneous combustion of Angren coal. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(1):170–177. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-1-0-170-177>
9. Докучаева А.И. Особенности газообменных процессов при нагреве в углях, склонных к самовозгоранию. *Маркшейдерия и недропользование*. 2023;(2):56–61. [https://doi.org/10.56195/20793332\\_2023\\_2\\_66\\_61](https://doi.org/10.56195/20793332_2023_2_66_61)  
Dokuchaeva A.I. Features of gas exchange processes during heating in coals prone to spontaneous combustion. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2023;(2):56–61. (In Russ.) [https://doi.org/10.56195/20793332\\_2023\\_2\\_66\\_61](https://doi.org/10.56195/20793332_2023_2_66_61)
10. Родионов В.А., Турсенев С.А., Скрипник И.Л., Ксенофонтов Ю.Г. Результаты исследования кинетических параметров самовозгорания каменноугольной пыли. *Записки Горного института*. 2020;246:617–622. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.3>  
Rodionov V.A., Tursenev S.A., Skripnik I.L., Ksenofontov Y.G. Results of the study of kinetic parameters of spontaneous combustion of coal dust. *Journal of Mining Institute*. 2020;246:617–622. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.3>
11. Liang Y., Zhang J., Wang L., Luo H., Ren T. Forecasting spontaneous combustion of coal in underground coal mines by index gases: A review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019;57:208–222. <https://doi.org/10.1016/j.jlpi.2018.12.003>
12. Портола В.А., Бобровникова А.А., Син С.А., Игишев В.Г. Особенности выделения индикаторных пожарных газов при подаче азота в очаг самовозгорания угля. *Безопасность труда в промышленности*. 2022;(4):47–52. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-4-47-52>  
Portola V.A., Bobrovnikova A.A., Sin S.A., Igishev V.G. Special features of the release of indicator fire gases at the nitrogen supply to the foci of coal spontaneous combustion. *Occupational Safety in Industry*. 2022;(4):47–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-4-47-52>
13. Портола В.А., Серегин Е.А., Протасов С.И., Ярош А.С., Бобровникова А.А. Контроль теплового состояния породных отвалов и объектов открытых горных работ с использованием беспилотных летательных аппаратов. Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2023;(4):84–90.  
Portola V.A., Seregin E.A., Protasov S.I., Yarosh A.S., Bobrovnikova A.A. Control of the thermal condition of rock dumps and open mining facilities using unpiloted aircraft vehicles. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*. 2023;(4):84–90. (In Russ.)

**Информация об авторах**

**Портола Вячеслав Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7920-1248>; e-mail: portola2@yandex.ru

**Протасов Сергей Иванович** – кандидат технических наук, директор Новационной фирмы «КУЗБАСС-НИИОГР», г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: s.i.protasov@mail.ru

**Серегин Евгений Алексеевич** – главный инженер, Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР», г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: eugene\_s1976@mail.ru

**Information about the authors**

**Vyacheslav A. Portola** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7920-1248>; e-mail: portola2@yandex.ru

**Sergey I. Protasov** – Cand. Sci. (Eng.), Director, KUZBASS NIIOGR Innovation Company, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: s.i.protasov@mail.ru

**Evgeny A. Seregin** – Chief Engineer, KUZBASS NIIOGR Innovation Company, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: eugene\_s1976@mail.ru

**Article info**

Received: 07.06.2024

Revised: 09.07.2024

Accepted: 16.07.2024

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 06.06.2024

Поступила после рецензирования: 04.07.2024

Принята к публикации: 15.07.2024