



**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ БЫВШЕГО
ШЛАМОУСТОЙНИКА И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ НА ВОЗМОЖНОСТЬ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ ЭКЗОГЕННОГО ИЛИ ЭНДОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

А. А. Еременко, В. Н. Колтышев

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: eremenko@ngs.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Выполнены исследования по определению причин периодического происхождения пожаров на территории бывшего шламоотстойника в Кузбассе. С использованием различных методов оценки породного массива и проб колонкового бурения установлены факторы возникновения в различные периоды времени экзогенных и эндогенных пожаров.

Шламоотстойник, эндогенный и экзогенный пожары, пробы, бурение скважин

**STUDY OF THE STATE OF SURFACE LAYER OF FORMER SLUDGE SUMP
AND SURROUNDING AREA FOR THE POSSIBILITY OF EXOGENOUS OR ENDOGENOUS FIRES**

A. A. Eremenko and V. N. Koltyshev

*Chinakal Mining Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: eremenko@ngs.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

Studies were carried out to determine the causes of periodic fires on the territory of former sludge sump in Kuzbass. Using various methods for evaluating rock mass and core drilling samples, the origination factors of exogenous and endogenous fires at different time periods were determined.

Sludge sump, endogenous and exogenous fire, samples, hole drilling

Исследование возникновения экзогенного или эндогенного пожара проводилось в Беловском городском округе Кемеровской области центральной части Кузнецкого угольного бассейна в глиняном карьере, который использован в дальнейшем как шламовый гидроотвал (шламоотстойник № 1). В 60-е годы прошлого века обогатительная фабрика “Чертинская” сливала в него шлам по трубе диаметром 200 – 300 мм и он был заполнен примерно за 5 лет. Глубина забоя (карьера), приспособленного под шламовый гидроотвал, составляла не менее 15 м.

Для обнаружения очагов пожара были пробурены колонковые скважины №№ 1 – 22 и отобраны пробы из поверхностного слоя шламоотстойника и прилегающей территории, которые относятся к категории “не склонных к самовозгоранию”, при этом инкубационный период самовозгорания проб колебался от 187 до 598 сут. В скважинах обнаружены пробы с содержанием шлама и частиц угля. Качественный анализ элементного состава пород (материала) по их объему и влиянию суммарного объема пор на склонность пород к окислению по колонковым скважинам с разных глубин шламоотстойника показал, что пробы — слабопористые и не содержат химических соединений, способных к самовозгоранию.

Проведенные исследования колонковых проб по скважинам выявили возможный экзогенный характер возгорания за счет наземного возгорания бытового и строительного мусора, сухой травы и т. п. в весенне-летний периоды (май – июнь), при этом в пробах по скважинам состав включал негорючий насыпной грунт, почвенно-растительный слой и суглинок без примесей. Все

взятые пробы относятся к категории “не склонных к самовозгоранию”, не содержат химических соединений, способных к самовозгоранию, являются слабопористыми, слабоводопроницаемыми и при длительном нахождении на открытой поверхности в естественных условиях и в почве в целом исключается эндогенный процесс горения.

На территории шламоотстойника также происходило периодическое возгорание бытового и строительного мусора, однако в колонковых скважинах №№ 18, 20–22 в составе проб обнаружено содержание продуктов шлама и угольной крошки, которые от низового пожара периодически возгорались (тлели) под землей на некоторых глубинах, куда дополнительно поступал кислород (рис. 1).

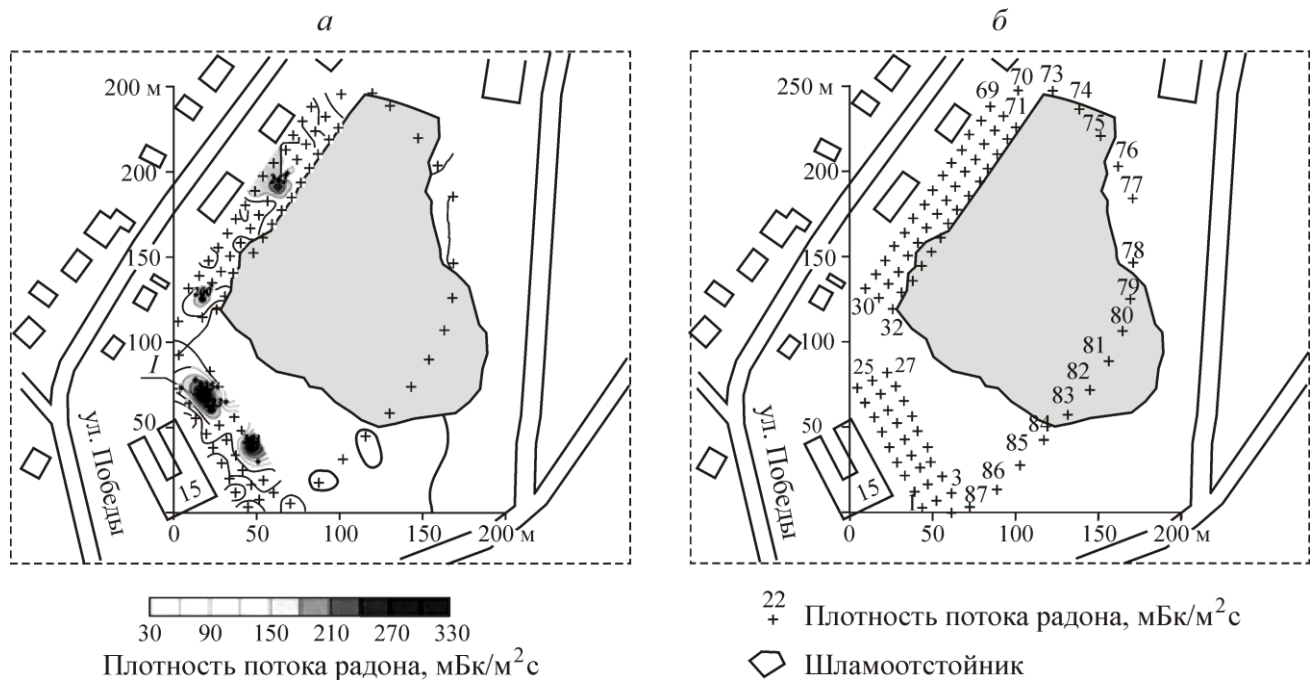


Рис. 1. Поверхностная радоновая (а) и пирометрическая (б) съемка на территории бывшего шламоотстойника

С целью определения границ распространения возгорания проведена тепловая съемка, отобраны пробы воздуха у очага пожара. Кроме того, проверено состояние атмосферы на наличие превышения ПДК вредных химических факторов в воздухе на придомовых территориях, в погребах, подполах по ул. Победы, а также здания школы № 5. Установлено, что вредных газов не имеется. Очаг пожара полностью локализован путем засыпки глиной объемом 9 тыс. м³ силами ООО “ММК-Уголь”.

На забученной поверхности шламоотстойника признаков очагов подземного возгорания не обнаружено, полевая растительность и культурные насаждения не имели следов воздействия высоких температур почвенного слоя. Источники возгорания могли быть внешние (сжигание мусора, разведение костров, открытый огонь неизвестного происхождения, горячая печная зола и т. п.) и/или внутренние (самовозгорание шлама), т. е. возгорание могло носить как эндогенный, так и экзогенный характер.

Результаты экспресс-анализа и лабораторных исследований проб воздуха, отобранных в верхнем почвенном слое территории шламоотстойника, школы № 5, площадей, прилегающих к школе, а также придомовые территории домов по ул. Победы, показали, что в пробах воздуха СО и Н₂ отсутствуют; количество СО₂, О₂ соответствует предельно допустимым концентрациям в атмосферном воздухе городских и сельских поселений [Инструкция о порядке контроля за выделением газов на земную поверхность при ликвидации (консервации) шахт (РД 05-313-99),

утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 11.10.1999 № 33]. Температура, зафиксированная в точках замера на исследуемой поверхности, колебалась от 18.4 до 25.6°C при наружной температуре воздуха 22°C. Таким образом, результаты исследования позволяли сделать вывод об отсутствии в данный момент подземных очагов горения.

Для определения степени инкубационного периода самовозгорания шлама следует давать оценку по пробам керна, отобранного из скважин при их бурении. Кроме того, проведена поверхностная радоновая и пирометрическая (тепловая) съемки на территории бывшего шламоотстойника с целью выявления аномалий повышенного выделения радона и областей нагревания почвы вокруг шламотстойника (рис. 1б) [6]. Результаты замеров показали, что минимальная плотность потока радона с земной поверхности составляла около 22 мБк/м²с. Над обследуемой поверхностью обнаружена область повышенного выделения радона с поверхности от 120 до 325 мБк/м², зафиксированная в 20 м от школы. Выявлены единичные зоны повышенного выделения радона с плотностью потока 303 мБк/м²с в 30 м от школы № 5, 242 мБк/м²с — вдоль домов по ул. Победы. Температура почвы в пределах сетки точек измерения колебалась в диапазоне 0.8–0.1°C.

На основании изложенного следует, что на обследованном участке земной поверхности на территории бывшего шламоотстойника получены значения плотности потока радона с поверхности. Обнаружены несколько аномалий повышенного выделения радона. Тепловая съемка не показала наличие областей с повышенной температурой поверхности.

С учетом анализа и ранее выполненных работ, а также следов эндогенного и экзогенного возгорания разработана схема расположения колонковых скважин (рис. 2). При обосновании их глубины особенно учитывались зоны повышенного содержания плотности потока радона и частично температуры, так как тепловая съемка не показала наличия областей с повышенной температурой поверхности. На приведенной схеме со стороны школы № 5 на разных расстояниях — 20, 30, 50 м и более (скважины 1–8) от жилых домов №№ 3, 5 и 9 по ул. Победы и на краю шламоотстойника (скважины 9–17) глубина скважин составила 2 м каждая, внутри шламоотстойника (скважины 18–22) — более 15 м.

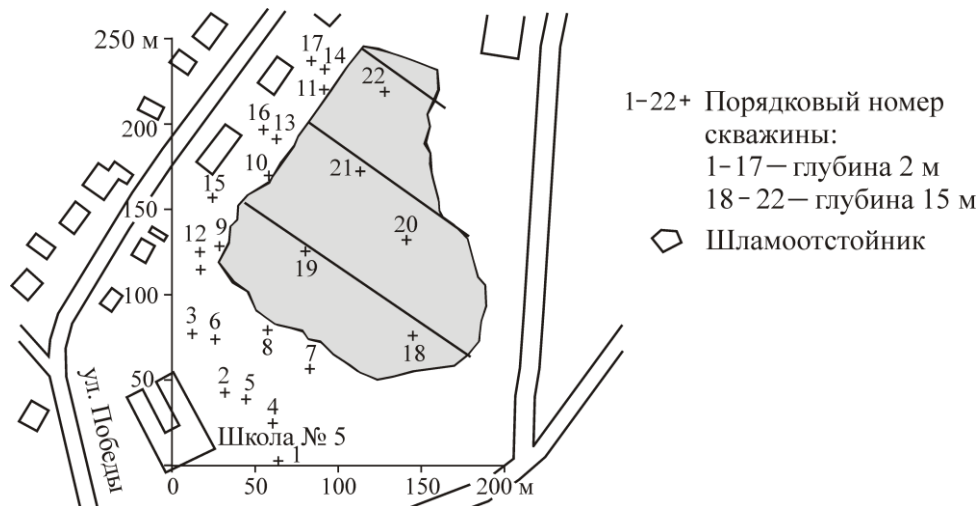


Рис. 2. Схема расположения колонковых скважин

В Институте горного дела СО РАН совместно с ООО «НИИГД» проведены расчеты склонности к самовозгоранию и длительности инкубационного периода самовозгорания образцов пород, отобранных из поверхностного слоя бывшего шламоотстойника и прилегающей территории около школы № 5 и домов по ул. Победы. Длительность инкубационного периода самовозгорания угля, согласно «Инструкции по определению инкубационного периода самовозгорания угля», вычислялась по формуле:

$$\tau_{\text{инк}} = \frac{C(T_{\text{к}} - T_0) + 0.6jW + q_d X}{24\alpha U^{0.45} C_0 q_0} \text{ сут}, \quad (1)$$

где C — теплоемкость угля, кал/(г·К); $T_{\text{к}}$ — критическая температура самовозгорания угля, °С; T_0 — начальная температура угля, °С; j — теплота испарения воды, кал/г; W — начальная влажность угля, доли ед.; q_d — удельная теплота десорбции метана, кал/мл; X — природная газоносность угля, мл/г; U — константа скорости сорбции кислорода углем, мл/(г·ч); C_0 — концентрация кислорода на входе в угольное скопление, доли ед.; q_0 — удельная теплота сорбции кислорода воздуха углем, кал/мл.

Полученные пробы пород размельчали в лаборатории до фракции 1–3 м, помещали в герметично закрываемые сорбционные сосуды, где они выдерживались при температуре 23–25 °С. Через 24 ч из них отбирались пробы газа для вычисления концентрации кислорода. Константы скорости сорбции кислорода находили по формуле:

$$U = -\frac{V}{M\tau} \ln \frac{C_A(1-C_0)}{C_0(1-C_A)}, \quad (2)$$

где V — объем воздуха, находящийся в соприкосновении с углем, см³; M — масса пробы угля, г; τ — время контакта воздуха с углем, ч; C_0 — начальная концентрация кислорода в сосуде, доли ед.; C_A — концентрация кислорода через время τ , доли ед.

Через 24, 72 и 120 ч результаты расчета константы скорости сорбции кислорода углем суммируются и определяется значение средней константы. В зависимости от инкубационного периода самовозгорания в соответствии с “Инструкцией по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля” уголь считается склонным к самовозгоранию при инкубационном периоде самовозгорания менее 80 сут включительно и не склонным — более 80 сут.

Одновременно с кислородом в пробах отбираемого газа определялись концентрации оксида углерода и водорода. Необходимо отметить, что в скважинах 20–22 имеются пробы с большим содержанием угля и высокой активностью по отношению к кислороду. Так, в скважине 20 повышенная активность образцов начинается с глубины 4 м и достигает максимума на глубине 7 м, на глубине 8 м активность падает до фонового уровня. В скважине 21 активная углесодержащая проба находится на глубине 2 м, в скважине 22 — 4 м. Длительный инкубационный период самовозгорания активных проб обусловлен большим содержанием влаги (более 20 %). Таким образом установлено, что все исследованные по скважинам пробы относятся к категории “не склонных к самовозгоранию”, так как инкубационный период составляет более 80 сут.

Для проб проведено исследование элементного состава горных пород (весовой %). методом волнодисперсионной спектроскопии на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N. Фрагменты породы загружались в кювету, вакуумировались и заливались эпоксидной смолой “Struers” SpeciFix-40 Kit. После застывания смолы образцы шлифовались и полировались алмазными суспензиями “Struers” DP-Suspension P на шлифовально-полировальном аппарате “Struers” RotoPol-35. Изучение аншлифов образцов выполнялось на электронном микроскопе “Hitachi-3400N” с приставкой для волнодисперсионного анализа INCA WAVE 500 “Oxford Instruments” (рис. 3). Обработка результатов анализа осуществлялась с помощью программного обеспечения “INCA”. Измерения фиксировались на трех случайно выбранных участках, далее результаты осреднялись. Для определения концентраций элементов использовались стандарты MAC MicroAnalysis Consultants Limited.

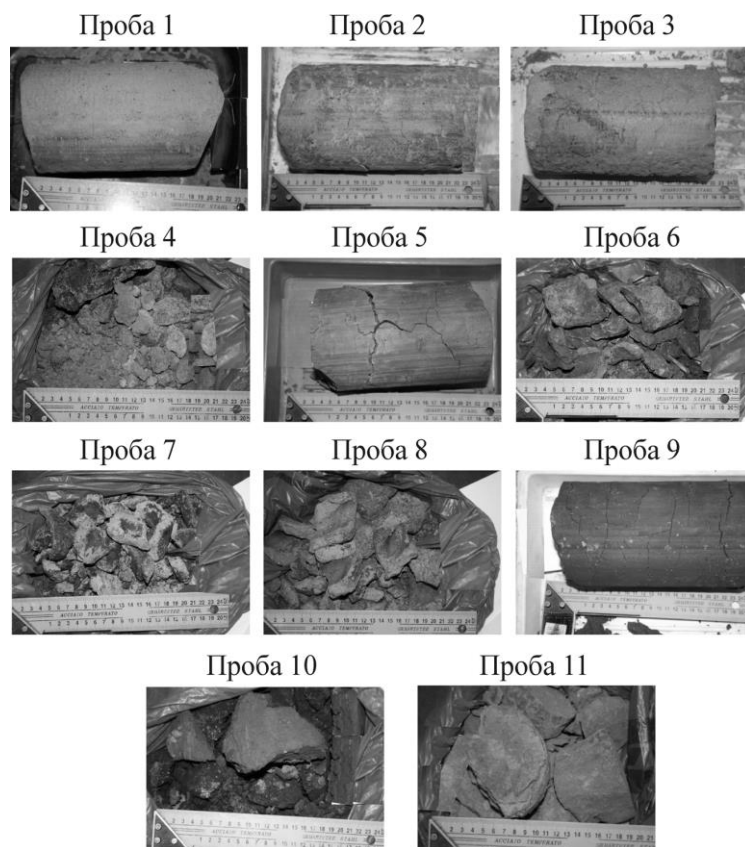


Рис. 3. Фотографии пород проб № 1 – 11 (С-1, С-4, С-7, С-9, С-12, С-13, С-14, С-17, С-19, С-19)

На основании анализа элементного состава горных пород проб № 1-11 (С-1, С-4, С-7, С-9, С-12, С-13, С-14, С-17, С-19, С-19, С-19) и проб № 1 – 11 (С-1, С-4, С-7, С-9, С-12, С-13, С-14, С-17, С-19, С-19, С-19) сделаны вывод о том, что указанные пробы не содержат химических соединений, способных к самовозгоранию. В ходе лабораторных исследований выявлено, что пористость проб № 1 – 11 составила 6 – 10%. Согласно ГОСТ 25100-2011 (Грунты. Классификация) породы являются слабопористыми, их коэффициент водопроницаемости составляет 0.1 – 0.3, породы слабоводопроницаемые. Суммарный объем пор, проницаемость и элементный состав на склонность этих пород к окислению показали, что они не способны к самовозгоранию.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования проб колонкового бурения скважин показали, что на территории в районе школы № 5 и около жилых домов №№ 3, 5 и 9 по ул. Победы в весенне-летний (май – июнь) периоды происходили наземные возгорания в связи с тем, что в пробах присутствовали негорючие материалы, а именно насыпной грунт, почвенно-растительный слой и суглинок без примесей, характер возгорания относится к экзогенному “не склонному к самовозгоранию”. На территории шламоотстойника наблюдались периодические эндогенные самовозгорания, в результате чего в районе колонковых скважин (№№ 18, 20–22), выявлены продукты шлама и угольной крошки, которые возгорались (тлели) от низового пожара на определенных глубинах, куда поступал кислород.

Контроль за предотвращением возможных экзогенных и эндогенных пожаров на территории шламоотстойника, школы № 5 и жилых домов №№ 3, 5, 9 по ул. Победы включает измерение температуры почвы и выделения опасных для жизни и здоровья людей газов не реже одного раза в год. В случае появления в шламоотстойнике пламени, свечения с выделением дыма (пара) и др. следует незамедлительно (оперативно) провести повторные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Report** on research “Study of coal seams” (scientific adviser. Golik AS), Kemerovo, JSC “NIIIGD”, 2017, 32 pp. [Отчет по НИР “Исследование выходов угольных пластов”. — Кемерово: АО “НИИГД”, 2017. — 32 с.]
2. **Lindenau N. I., Mayevskaya V. M. et al.** Catalog of USSR coals prone to spontaneous combustion, Moscow, Nedra, 1982, 416 pp. [Линденау Н. И., Маевская В. М. и др. Каталог углей СССР, склонных к самовозгоранию. — М.: Недра, 1982. — 416 с.]
3. **Grekov S. P., Orlikova, V. P., and Any A. A.** Determination of the propensity of coals for spontaneous combustion, Mine Rescue, 2014, 88–100 pp. [Греков С. П., Орликова, В. П., Всякий А. А. Определение склонности углей к самовозгоранию. — Горноспасательное дело, 2014. — 88–100 с.]
4. **Zubareva V. A. and Belyak A. L.** Investigation of the process of coal spontaneous combustion at the Razraz-za Oktyabrsky facilities — XIII International Scientific and Practical Conference “Safety of the life of enterprises in industrialized regions” November 26-27, 2019.
5. **Research** report “To establish the causes of fire, to develop measures for localization and elimination of the detected fire sources of the sludge trap array, eliminating the possibility of a relapse of the fire at the moment and to establish the danger of life for people living in houses no. 3, 5, 9 Victory Street” (scientific director. Golik AS), Kemerovo: NIIIGD JSC, 2018, 15 pp. [Отчет по НИР “Установить причины возгорания, разработать мероприятия по локализации и ликвидации обнаруженных очагов возгорания массива шламоотстойника, исключая возможность рецидива возгорания на текущий момент и установить опасность жизнедеятельности для людей, проживающих в домах № 3, 5, 9 по улице Победы”. — Кемерово: АО “НИИГД”, 2018. — 15 с.]
6. **Report** on the conduct of surface radon and pyrometric (thermal) surveys on the territory of the former sludge trap in the city of Belovo in the vicinity of Victory Street and school number 5, conducted from 11/08/2018 to 11/09/2018. FSUE “VGCh”, Novokuznetsk paramilitary mine rescue team (branch) EMERCOM of Russia, Novokuznetsk, 2018. [Отчет о проведении поверхностной радоновой и пирометрической (тепловой) съемки на территории бывшего шламоотстойника в г. Белово в районе улицы Победы и школы № 5, проведенной с 08.11.2018 по 09.11.2018. ФГУП “ВГЧ” Новокузнецкий военизированный горноспасательный отряд (филиал) МЧС России. — Новокузнецк, 2018.]
7. **Research** report “To investigate the state of the territory of the former sludge trap at the moment and establish the danger of life for people living in houses no. 3, 5, 9 on Victory Street, students and staff of school no. 5”, Kemerovo: NIIIGD JSC, 2018, 18 pp. [Отчет по НИР “Исследовать состояние территории бывшего шламоотстойника на текущий момент и установить опасность жизнедеятельности для людей, проживающих в домах № 3, 5, 9 по улице Победы, учащихся и персонала школы № 5” — Кемерово: АО “НИИГД”, 2018. — 18 с.]
8. **GN 2.1.6.3492-17.** Maximum allowable concentrations (MPC) of pollutants in the air of urban and rural settlements, approved. Resolution of the Chief Sanitary Doctor of the Russian Federation of December 22, 2017, no. 165 (as amended on May 31, 2018, no. 37). [ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений, утв. постановлением главного санитарного врача РФ от 22.12.2017, № 165 (в ред. от 31.05.2018 № 37).]