

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.77.94.007

УДК 622.88; 62-623.1

© Е. А. Салтымаков, М. А. Таюрский, 2024

Е. А. САЛТЫМАКОВ

ведущий инженер
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово,
e-mail: easaltymakov@yandex.ru

М. А. ТАЮРСКИЙ

ведущий инженер
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: voutling@mail.ru

ОЦЕНКА УГРОЖАЕМЫХ И ОПАСНЫХ ЗОН ПО ВЫХОДУ МЕТАНА НА ПОВЕРХНОСТЬ

Обсуждаются результаты сопоставительного анализа методов измерения содержания газов в почвенном воздухе. Показана сходимости результатов отбора и исследования проб при механизированном, забивном и ручном забуривании. Обоснован и опробован метод определения угрожаемых и опасных зон по выходу метана на поверхность. Выполнена оценка опасности исследованного участка на основе исследования проб воздуха. Представлена модель пространственного распределения содержания углекислого газа. Предложенный подход может быть использован для снижения ресурсов времени при отборе проб воздуха для последующего определения состава газов.

Ключевые слова: ЛИКВИДАЦИЯ ШАХТ, МЕТАН, УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ, ОТБОР ПРОБ, ПРИЗЕМНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ, ИНДИКАТОРНЫЕ ГАЗЫ, УТИЛИЗАЦИЯ, ПОЧВЕННЫЙ ВОЗДУХ, УГРОЖАЕМЫЙ УЧАСТОК.

Ликвидация шахт влечет за собой изменение антропогенного воздействия на окружающую среду с появлением новых неблагоприятных процессов и явлений [1]. После закрытия шахты в атмосферу продолжают выделяться шахтные газы, интенсивность выделений которых зависит от различных факторов: газообильность шахты, объемы выработанного пространства, сезонность, этапы ликвидации шахты, природная газоносность вмещающих пород и угля [2–3]. Зачастую в границах горного отвода ликвидированных шахт на дневной поверхности располагается жилой массив, спроектированный и построенный без специальных мер защиты от проникновения газов в помещения домов и сооружений [4–6].

Для оценки угрожаемых и опасных зон по выходу метана на поверхность существует методика отбора проб в почвенном воздухе, погружение воздухозаборного устройства возможно несколькими способами: забивным типом и методом забуривания. Пробы почвенного воздуха отобраны каждым методом, проведен анализ состава проб в пределах угрожаемого участка и отнесение участка к категории по выделению метана [7–9]. Для исключения статистической ошибки в пределах каждой точки отбора проб выполнено не менее 2-х замеров газовой смеси [9–11].

Измерение содержания газов в почвенном воздухе проводится непосредственно с дневной поверхности. Воздухозаборное

устройство забивного типа (рис. 1а) погружалось в почву путем ударно-поступательного движения на глубину 0,75–1,0 м при нанесении ударов кувалдой по ударной пяте (5). После чего отводящий патрубок (3) соединялся с газоанализатором, производилась прокачка почвенного воздуха через воздухозаборное отверстие (2), показания фиксировались в полевой журнал. Далее, после фотофиксации результатов замера, воздухозаборное устройство извлекалось из почвы за рукояти (4).

Преимущество данного метода объясняется возникновением в почве легкого сотрясения, увеличивающего метановыделение из стенок шпура в полость воздухозаборника.

После определения содержания газов в почвенном воздухе для сравнительного анализа проведен отбор проб с помощью воздухозаборного устройства забурного типа (рис. 1б), представляющего собой полую штангу (8), с одного конца снабженную шнековой навивкой (6), а с другой рукоятками

для забуривания (1) в почву вращательным движением. В нижней части шнека расположено газоотборное отверстие (7), в верхней части установлен газозаборный штуцер (2), через который происходит прокачка почвенного воздуха.

Площадь горного отвода ликвидированных шахт может быть значительной и при шаге отбора проб 5–10 м, количество точек отбора превышает несколько сотен. Для повышения эффективности измерений предложен подход, заключающийся в забуривании шнека с помощью мотобура (рис. 2). Однако при работе мотобура (1) выделяются выхлопные газы, оказывающие влияние на состав газов в воздухе. Для снижения такого влияния изготовлена удлиненная выхлопная трубка (9), выведенная по направлению вверх. При этом перед выполнением измерений через газоотборный штуцер выполняется промывка шнека воздухом путем его прокачки в течение не менее чем 2 мин. на каждой точке замера.

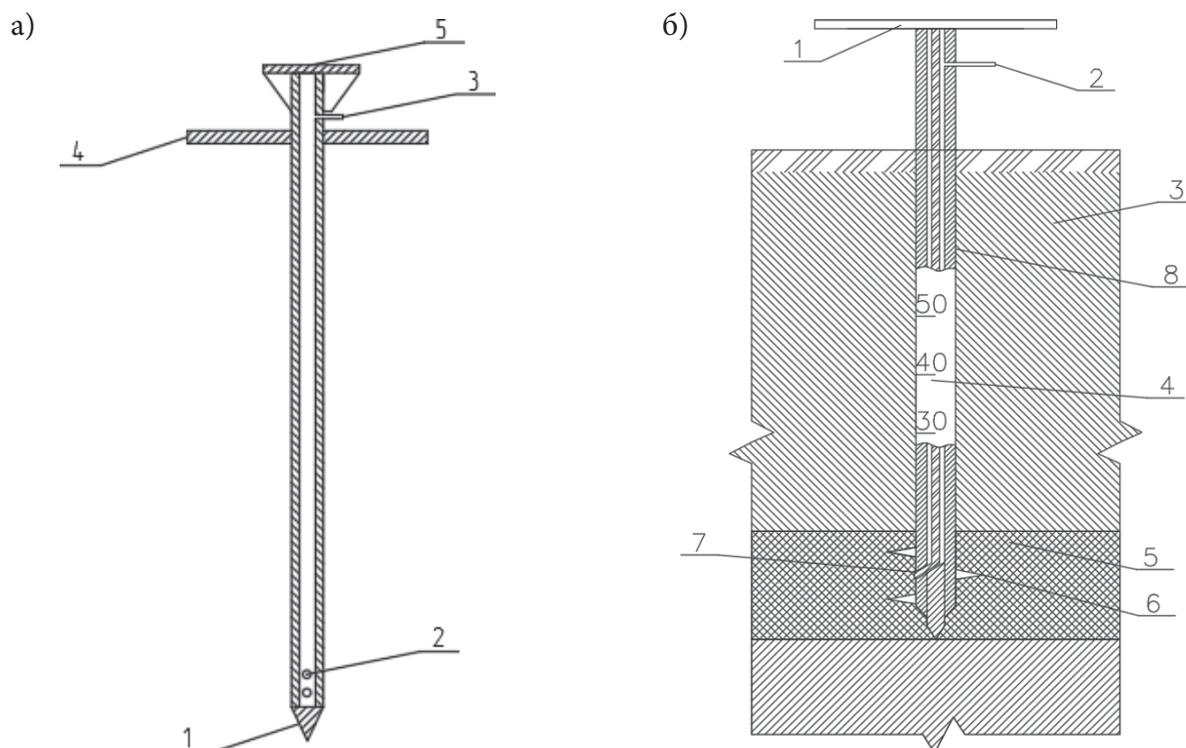


Рис. 1. Воздухозаборные устройства: а) Забивное: 1 — наконечник; 2 — воздухозаборное отверстие; 3 — отводящий патрубок; 4 — рукоять для изъятия; 5 — ударная пята.
 б) Шнековое: 1 — рукоять для забуривания; 2 — газозаборный штуцер; 3 — грунт; 4 — мерная шкала; 5 — зона с неизменным содержанием метана и углекислого газа; 6 — шнековая навивка; 7 — газоотборное отверстие; 8 — полая штанга

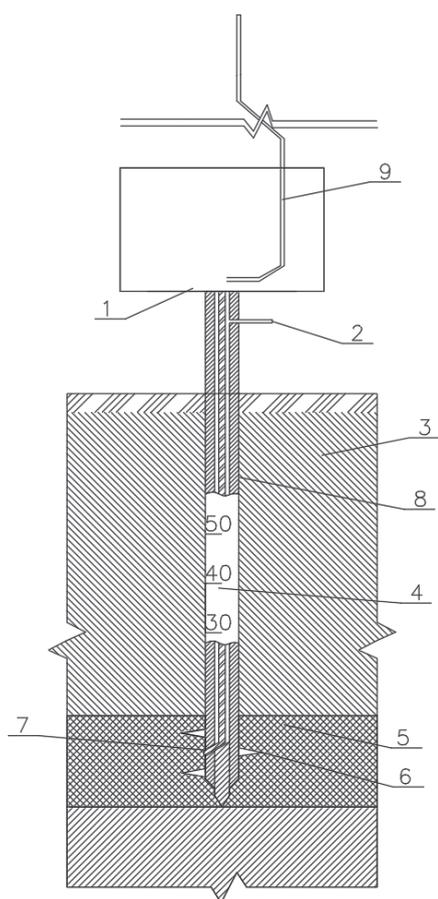


Рис. 2. Воздухозаборное устройство шнековое автоматизированное: 1 — мотобур; 2 — газозаборный штуцер; 3 — грунт; 4 — мерная шкала; 5 — зона с неизменным содержанием метана и углекислого газа; 6 — шнековая навивка; 7 — газоотборное отверстие; 8 — полая штанга, 9 — газотводное устройство, для отвода выхлопных газов

На основе анализа результатов замеров почвенного воздуха показана их сходимость при использовании различных методов отбора проб воздухозаборными устройствами. На рис. 3 представлены измеренные концентрации газа и их полиномиальная аппроксимация. Расхождение между аппроксимированными значениями концентрации CO_2 не превышает 3 %.

В условиях Ленинского геолого-экономического района выполнены исследования по определению угрожаемых и опасных зон по выходу метана на дневную поверхность на горном отводе ликвидированной шахты и измерения приземных концентраций индикаторных газов. Для отбора проб использовался мотобур. Первоначально выполнена разметка точек отбора проб почвенного воздуха с нанесением сетки точек отбора проб (рис. 4). Схема расположения мест отбора проб намечалась вкрест простирания отработанного угольного пласта — через каждые 5 м; по простиранию на застроенной территории — через 10 м, а на незастроенной — через каждые 20 м. Измерения выполнены при помощи газоанализатора в 67 точках тремя методами: забивной, забуривание вручную, забуривание при помощи мотобура. Общее количество измерений концентрации газов — более 130. Погрешность

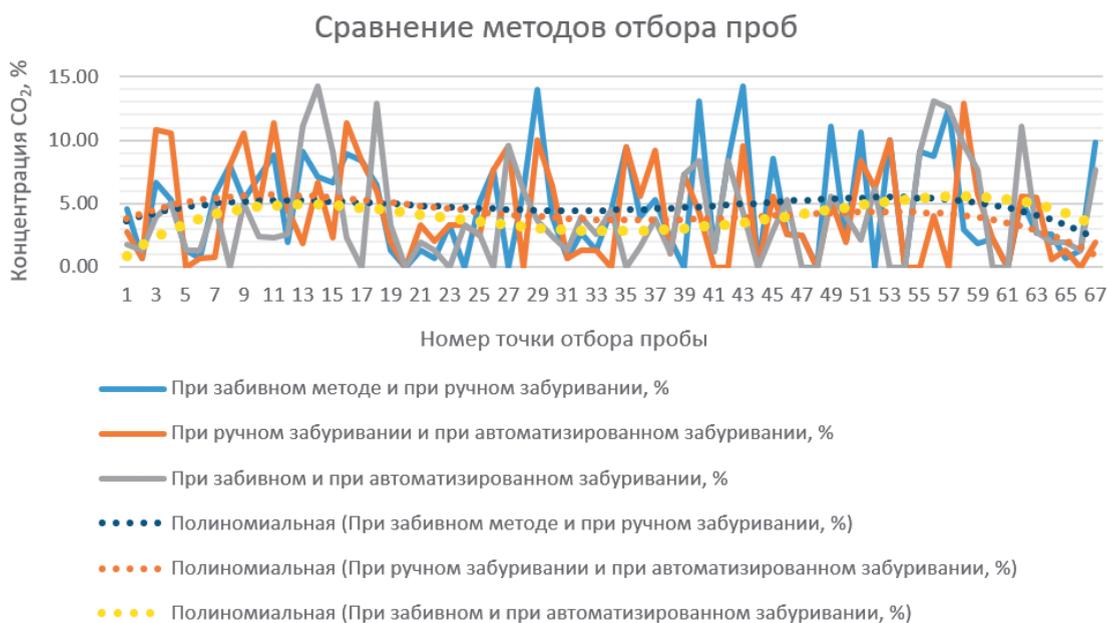


Рис. 3. График сравнения методов отбора проб, по определению содержания концентрации CO_2 , %

полученных значений соответствует погрешности измерительных приборов и составляет $\pm 0,1\%$ об. д.

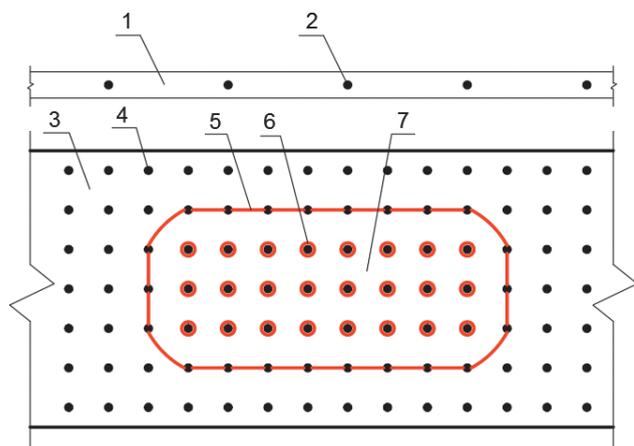


Рис. 4. Схема расположения мест отбора проб почвенного воздуха при определении участков, опасных по выделению метана на поверхность: 1 — неопасный участок; 2 — место отбора проб на неопасном участке; 3 — угрожаемая по выделению метана поверхность; 4 — место отбора проб почвенного воздуха на угрожаемом участке; 5 — граница опасного участка; 6 — места отбора проб в опасном участке; 7 — участок опасный по выделению метана

Определение фоновое содержание индикаторных газов производилось на соседнем неопасном участке (1), для чего намечалось 10 точек отбора проб (2). После отбора проб при помощи воздухозаборного устройства вычислялось среднее значение фоновое содержание газов в почвенном воздухе. Оценка опасности данного участка по выделению метана выполнялась на основе анализа проб, отобранных на угрожаемом (3) и не угрожаемом участках. При превышении концентрации метана предельно допустимого значения для зданий $0,06\%$ об. д. или концентрации углекислого газа на $0,5\%$ об. д фоновое значения в отобранных пробах часть поверхности в радиусе 5 м от места точки отбора пробы относилась к опасной по выделению метана или углекислого газа. Показано, что опасным по выделению метана является участок (7). Границы опасного участка (5) установлены по ближайшим местам отбора проб почвенного воздуха (6), в которых не

зафиксировано наличие метана, превышающего его предельно допустимой концентрации, и углекислого газа, не превышающего фоновые значения.

В процессе измерений приземных концентраций газов в установленных точках, наличие метана не выявлено. Предположительно, это связано с организацией мероприятий по извлечению и утилизации метановоздушной смеси при помощи дегазационных установок. Дополнительно выполнены измерения концентрации CO_2 , по результатам которых построена пространственная модель распределения этого газа (рис. 5).

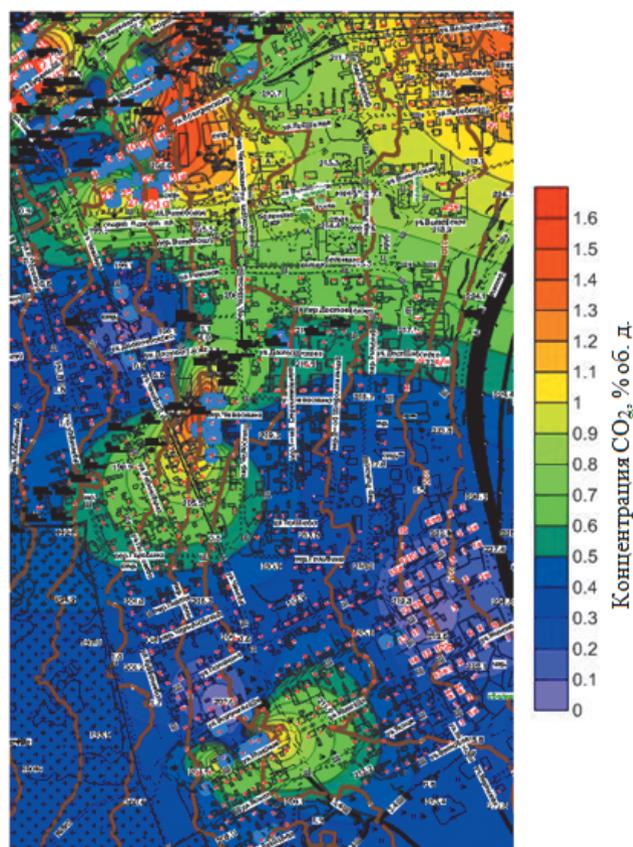


Рис. 5. Распределение значений концентрации CO_2

Установлено, что в северо-восточном направлении содержание CO_2 превышает $1,5\%$, а в южном — $0,06\%$. Вероятно, это связано с наличием изыскательских скважин в южной части участка, через которые путем естественной тяги происходит выход газов в атмосферу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход к отбору проб газов и последующим измерениям приземных концентраций почвенного воздуха позволяет сократить время на проведение оценки угрожаемых и опасных зон по выходу метана на поверхность. Применение оригинального решения по использованию удлиненной газотводящей трубки и дополнительного проветривания бурового инструмента исключает влияние выхлопных газов на анализ почвенного воздуха. Полученные результаты могут быть использованы для разработки рекомендаций по снижению интенсивности возможного газовыделения в жилые помещения домов,

попадающих в угрожаемые и опасные зоны по выходу газов на дневную поверхность.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0013 «Создание многофункциональных систем мониторинга и прогноза газодинамических явлений, контроля напряженного состояния, разработка методов их предотвращения и оценки эффективности при подземной разработке угольных месторождений 2024–2025 гг.» (рег. № 124041100071-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стариков Г. П., Юрченко В. М., Мельник Т. Н., Подрухин А. А. Массоперенос и выход на поверхность метана в геодинамически активных зонах // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2023. № 1. С. 77–83.
2. Портола В. А., Черских О. И., Протасов С. И., Серегин Е. А., Шваков И. А. Особенности проведения тепловизионной съемки для обнаружения очагов самовозгорания на угольном разрезе // *Горная промышленность*. 2023. № 1. С. 95–100.
3. Матвиенко Н. Г., Радченко С. А. Новые возможности совершенствования прогноза зон повышенного газовыделения из угольных пластов // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2016. № 6. С. 56–65.
4. Мельник Т. Н., Подрухин А. А. Модель массопереноса метана в геодинамически активных зонах // *Сборник трудов конференции «Проблемы горного дела»*. 2021. С. 240–244.
5. Денисенко В. П., Безбородов В. А. Зональность выделения шахтных газов на поверхность горных отводов закрытых угольных шахт // *Науки о земле*. 2019. № 17. С. 24–31.
6. Симонов А. М., Карнаух Н. В., Агарков А. В., Захлебин В. В. Контроль за выделением вредных газов на земную поверхность // *Респиратор*. 2021. № 1. С. 94–101.
7. Богоявленский В. И., Сизов О. С., Никонов Р. А., Богоявленский И. В. Мониторинг изменений концентрации метана в атмосфере Арктики в 2019–2021 гг. по данным спектрометра TROPOMI // *Институт проблем нефти и газа РАН*. 2022. № 3. С. 304–318.
8. Ефимов В. И., Сидоров Р. В., Митичкин С. И. Перспективы добычи и утилизация шахтного метана закрытых шахт Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса TROPOMI // *Наука и техника в газовой промышленности*. 2015. № 2. С. 12–17.
9. Яковенко А., Безбородов В. А. Опасность выделения газов на поверхность из закрытых шахт, её прогноз и предотвращение // *Инновационные перспективы Донбасса*. 2015. № 2. С. 31–35.
10. Симонов А. М., Карнаух Н. В., Захлебин В. В., Агарков А. В. О мониторинге и контроле за выделением вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения подразделениями горноспасательной службы при ликвидации и консервации угольных шахт // *Пожарная и технологическая безопасность: проблемы и пути совершенствования*. 2021. № 2. С. 323–332.
11. Симонов А. М., Карнаух Н. В., Агарков А. В. Мониторинг газовой обстановки на горных отводах шахт, в зданиях и сооружениях // *Респиратор*. 2021. № 4. С. 65–76.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.77.94.007

UDC 622.88; 62-623.1

© E. A. Saltymakov, M. A. Tayurskiy, 2024

E. A. SALTYSMAKOV

Lead Engineer

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: easaltymakov@yandex.ru

M. A. TAYURSKIY

Lead Engineer

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: voutling@mail.ru

ASSESSMENT OF THREATENED AND DANGEROUS AREAS BY METHANE RELEASE TO THE SURFACE

The results of a comparative analysis of methods for measuring the content of gases in soil air are discussed. The convergence of the results of sampling and examination of samples with mechanized, scoring and manual drilling is shown. A method for determining threatened and dangerous zones by methane release to the surface has been substantiated and tested. The hazard assessment of the investigated area was performed based on the study of air samples. A model of the spatial distribution of carbon dioxide content is presented. The proposed approach can be used to reduce time resources when sampling air for subsequent determination of the composition of gases.

Keywords: MINE LIQUIDATION, METHANE, CARBON DIOXIDE, SAMPLING, SURFACE CONCENTRATIONS, INDICATOR GASES, UTILIZATION, SOIL AIR, THREATENED AREA.

REFERENCES

1. Starikov G. P., Yurchenko V. M., Melnik T. N., Petrukhin A. A. Mass transfer and methane release to the surface in geodynamically active zones // Fundamental and applied issues of mining sciences [Fundamentalnyye i prikladnyye voprosy gornykh nauk]. 2023. No. 1. P. 77–83. [In Russ.].
2. Portola V. A., Cherskikh O. I., Protasov S. I., Seregin E. A., Shmakov I. A. Features of thermal imaging to detect spontaneous combustion foci in a coal mine // Mining Industry [Gornaya promyshlennost]. 2023. No. 1. P. 95–100. [In Russ.].
3. Matvienko N. G., Radchenko S. A. New opportunities for improving the forecast of zones of increased gas emission from coal seams // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal) [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)]. 2016. No. 6. P. 56–65. [In Russ.].
4. Melnik T. N., Podrukhin A. A. Model of methane mass transfer in geodynamically active zones // Proceedings of the conference «Problems of mining» [Sbornik trudov konferentsii «Problemy gornogo dela»]. 2021. P. 240–244. [In Russ.].
5. Denisenko V. P., Bezborodov V. A. Zonality of mine gases release to the surface of mining outlets of closed coal mines // Sciences of the Earth [Nauki o zemle]. 2019. No. 17. P. 24–31. [In Russ.].
6. Simonov A. M., Karnaukh N. V., Agarkov A. V., Zakhlebin V. V. Control over the release of harmful gases to the Earth's surface // Respirator [Respirator]. 2021. No. 1. P. 94–101. [In Russ.].

7. Bogoyavlensky V. I., Sizov O. S., Nikonov R. A., Bogoyavlensky I. V. Monitoring of changes in methane concentration in the Arctic atmosphere in 2019–2021 according to the TROPOMI spectrometer // Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences [Institut problem nefti i gaza RAN]. 2022. No. 3. P. 304–318. [In Russ.].

8. Efimov V. I., Sidorov R. V., Mitichkin S. I. Prospects of mining and utilization of coal mine methane from closed mines of Prokopyevsko-Kiselevsky deposit of Kuzbass TROPOMI // Science and technology in the gas industry [Nauka i tekhnika v gazovoy promyshlennosti]. 2015. No. 2. P. 12–17. [In Russ.].

9. Yakovenko A., Bezborodov V. A. The danger of gas release to the surface from closed mines, its forecast and prevention // Innovative prospects of Donbass [Innovatsionnyye perspektivy Donbassa]. 2015. No. 2. P. 31–35. [In Russ.].

10. Simonov A. M., Karnaukh N. V., Zakhlebin V. V., Agarkov A. V. On monitoring and control of the release of harmful gases to the Earth's surface, into buildings and structures by units of the mining rescue service during the liquidation and conservation of coal mines // Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement [Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost: problemy i puti sovershenstvovaniya]. 2021. No. 2. P. 323–332. [In Russ.].

11. Simonov A. M., Karnaukh N. V., Agarkov A. V. Monitoring of the gas situation in the mining branches of mines, in buildings and structures // Respirator. 2021. No. 4. P. 65–76. [In Russ.].