

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
Министерства науки и образования РФ (рег. номер НИОКТР 122012000396-6).*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красноштейн А.Е., Файнбург Г.З. Диффузионно-сетевые методы расчета проветривания шахт и рудников / УрО РАН. – Екатеринбург, 1992. – 244 с.: ил.
2. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Аэрология калийных рудников / УрО АН СССР. – Свердловск, 1990. – 251 с.: ил.
3. Мохирев Н.Н., Радько В.В. Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. – М.: Недра, 2007. – 324 с.: ил
4. Зайцев А.В. Научные основы расчета и управления тепловым режимом подземных рудников: дис. ... д.т.н.; 25.00.20: защищена 23.05.19 / Зайцев Артем Вячеславович. – Пермь, 2019. – 247 с.
5. Шалимов А.В. Теоретические основы прогнозирования, профилактики и борьбы с аварийными нарушениями проветривания рудников: дис. ... д.т.н.; 25.00.20 / Шалимов Андрей Владимирович. – Пермь, 2012. – 329 с.
6. Казаков Б.П., Гришин Е.Л., Трушкова Н.А. Исследование устойчивости совместной работы подземных вентиляторов в калийном руднике при применении рециркуляции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 2. – С. 108-119. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-108-119.
7. Зайцев А.В., Трушкова Н.А. Исследование рециркуляционного проветривания при наличии источника газовой выделенности в рабочей зоне и внутренних утечек воздуха // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 3. – С. 34-46. – DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_34.

УДК 622.831.322

DOI:10.7242/echo.2023.2.16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОНОСНОСТИ ПО СВЯЗАННЫМ ГАЗАМ ПОРОД НА УЧАСТКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. Иванов

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Представлены первые результаты количественной и качественной оценки газоносности по связанным газам калийно-магниевых солей и вмещающих пород в пределах Западно-Перелюбского, Восточно-Перелюбского, Западно-Целинного, Восточно-Целинного и Западно-Иванихинского, Центрально-Иванихинского лицензионных участков, расположенных в Саратовской области. Лабораторные исследования газоносности по связанным газам проводились на специальной лабораторной установке методом сухой механической дезинтеграции, заключающемся в измельчении породы определенной массы до частиц размерами в несколько микрон с постоянным контролем температуры и давления в процессе размала и последующим хроматографическим анализом компонентного состава выделившихся газов.

Ключевые слова: лицензионные участки, калийно-магниевые соли, вмещающие породы, газодинамические явления, газоносность пород, связанные газы, компонентный состав, газовый хроматограф.

Введение

Газоносность пород включает в себя газоносность по свободным и газоносность по связанным газам. Многочисленными исследованиями по изучению газоносности соляных пород доказано, что газоносность пород по связанным газам составляет 10% от полной газоносности. Повышенная газоносность пород по связанным газам приводит к ослаблению физико-механических свойств пород и повышению вероятности возникно-

вения газодинамических явлений. Газоносность пород по связанным газам в пределах Западно-Перелюбского, Восточно-Перелюбского, Западно-Целинного, Восточно-Целинного и Западно-Иванихинского, Центрально-Иванихинского лицензионных участков в настоящее время не изучена. В этой связи изучение газоносности пород по связанным газам в пределах данных участков является актуальной задачей. С целью определения доли связанного газа в составе полной газоносности необходимо получить количественную оценку газоносности по связанным газам калийно-магниевых солей и вмещающих пород для возможной последующей корректировки объемов и параметров профилактических мероприятий при вскрытии и подготовке новых лицензионных участков.

Методика проведения исследований

Комплекс оборудования для определения газоносности горных пород по связанным газам работает в следующем порядке [1-2]. Образцы пород вручную разрушают до размера 35 мм. Затем с помощью щековой дробилки ВВ 51 образцы породы размалываются до установленного размера (5-10 мм). Из размолотого материала отсеивается необходимая фракция. Заданный объем (100-300 мл) подготовленного материала загружается вместе с 20 мелющими шарами из нержавеющей стали диаметром 20 мм в размольный стакан планетарной шаровой мельницы РМ 100, на который герметично устанавливается специальная крышка с системой РМGrind-Control. Выбирается требуемый режим работы мельницы – скорость вращения, длительность измельчения и реверс. В процессе измельчения системой РМGrind-Control на персональный компьютер передаются данные давления и температуры в размольном стакане.

Подставляя известные и полученные в процессе размола значения давления и температуры в выражение объединенного газового закона с учетом термического коэффициента, рассчитывается объем выделившегося из породы газа. Соотношение объема выделившегося газа к объему породы является газоносностью пород по связанным газам [3-11].

После окончания размола с помощью пробоотборника через клапан из размольного стакана отбирается проба выделившегося из породы газа для анализа его компонентного состава. Анализ компонентного состава связанных газов, отобранных из горных пород, проводится в соответствии с ГОСТ 31371.6-2008 (ИСО 6974-6:2002) «Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности» Часть 6 «Определение водорода, гелия, кислорода, азота, диоксида углерода и углеводородов С1-С8 с использованием трех капиллярных колонок». Для проведения анализа компонентного состава газов используются современные газовые хроматографы 450-GC компании «Varian, Inc». Данные хроматографы предназначены для определения состава проб веществ и материалов при выполнении различных исследований и работ в области химии, нефтехимии, анализе природного газа, аналитическом контроле и экологических исследованиях. Данный тип хроматографов имеет сертификат об утверждении типа средств измерений под № 25231, зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 16499-06 и допущен к применению в Российской Федерации. Для определения компонентного состава газов в отобранных пробах используется метод абсолютной калибровки. Объемную долю компонентов газа вычисляют сравнением площадей, соответствующих компонентов на хроматограммах испытуемого газа и градуировочной газовой смеси, записанных при одинаковых условиях испытания.

Результаты исследований

Исследования проводились на оборудовании ЦКП «Центр исследования свойств геоматериалов» ПНИПУ. Экспериментальные лабораторные исследования газоносности по связанным газам калийно-магниевых солей и вмещающих пород проводились на образцах, отобранных из керна поисково-оценочных скважин Западно-Перелюбского, Восточно-Перелюбского, Западно-Целинного, Восточно-Целинного, Западно-Иванихинского и Центрально-Иванихинского лицензионных участков.

По представленной выше методике определения газоносности пород по связанным газам способом сухой механической дезинтеграции экспериментальные лабораторные исследования проведены на 118 образцах пород. В таблице 1 представлены результаты определения газоносности по связанным газам по участкам.

Таблица 1

Газоносность пород по связанным газам
по лицензионным участкам

№	Лицензионный участок	Кол-во образцов	Газоносность, м ³ /м ³		
			Мин.	Макс.	Средняя
1	Западно-Перелюбский	36	0,032	0,084	0,054
		12	0,037	0,073	0,055
2	Восточно-Перелюбский	27	0,042	0,080	0,057
		21	0,040	0,088	0,060
3	Западно-Иванихинский	27	0,043	0,114	0,077
4	Центрально-Иванихинский	31	0,043	0,143	0,079
5	Восточно-Целинный	29	0,048	0,118	0,082
6	Западно-Целинный	31	0,039	0,118	0,077
	Всего	214	0,032	0,143	0,068

После окончания размола образцов с помощью пробоотборника через клапан из размольного стакана отбирались пробы выделившегося из породы газа, компонентный состав которого анализировался на газовом хроматографе. В таблице 2 представлен средний компонентный состав связанных газов по лицензионным участкам.

Как видно из таблиц 1, 2, максимальная средняя газоносность пород по связанным газам в пределах исследуемых участков практически одинаковая и изменяется от 0,073 до 0,143 м³/м³. Средняя газоносность пород по связанным газам также изменяется в малом диапазоне от 0,054 до 0,082 м³/м³, при среднем значении 0,068 м³/м³.

В компонентном составе связанных газов в породах участков содержание метана изменяется от 6,84% (Западно-Целинный участок) до 25,02% (Восточно-Перелюбский участок) при среднем значении 10,18%.

Как видно из таблицы 1, по компонентному составу связанные газы в соляных породах метаново-азотные. Сильвинитовые и карналлитовые породы на всех участках отличаются более высоким содержанием метана. В таблице 3 представлены значения содержания метана (СН₄), суммарного содержания углеводородов метанового ряда (С₂-С₅) и азота (N₂) по породам и участкам.

Как видно из приведенных таблиц, наибольшее содержание метана зафиксировано в карналлитовых породах Восточно-Перелюбского участка. Также достаточно высоким содержанием метана в составе связанных газов обладают сильвин-карналлитовая и галит-сильвиновая породы Восточно-Целинного участка, 19,53% и 18,94%, соответ-

ственно. В составе связанных газов в образцах каменной соли и полигалитовой породы содержание метана не превышает 5%, за исключением каменной соли Западно-Иванихинского участка, которое составляет 7,33%.

Таблица 2

Компонентный состав связанных газов
по лицензионным участкам (об. %)

№	Участок	CH ₄	H ₂	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i- C ₄ H ₁₀ 0	n- C ₄ H ₁₀	i- C ₅ H ₁₂ 2	n- C ₅ H ₁₂	N ₂	CO ₂
1	Западно-Перелюбский	13,10	3,37	0,672	0,180	0,050	0,103	0,068	0,052	82,27	0,13
		1,54	0,00	0,221	0,146	0,077	0,114	0,132	0,073	97,56	0,13
2	Восточно-Перелюбский	2,96	0,26	0,295	0,208	0,099	0,162	0,169	0,112	95,59	0,15
		25,02	6,19	0,946	0,147	0,017	0,090	0,025	0,051	67,37	0,14
3	Западно-Иванихинский	11,83	0,00	0,649	0,281	0,043	0,221	0,076	0,156	86,56	0,19
4	Центрально-Иванихинский	11,71	0,00	0,723	0,206	0,035	0,139	0,077	0,094	86,81	0,20
5	Восточно-Целинный	8,43	0,00	0,556	0,361	0,066	0,312	0,134	0,257	89,71	0,17
6	Западно-Целинный	6,84	0,00	0,352	0,135	0,031	0,115	0,053	0,090	92,22	0,16
	Среднее	10,18	1,23	0,552	0,208	0,052	0,157	0,092	0,111	87,26	0,16

Суммарное содержание углеводородов метанового ряда (C₂-C₅) в компонентном составе связанных газов колеблется от 0,484% (карналлит, Западно-Целинный участок) до 2,339% (сильвинит, Западно-Иванихинский участок), при среднем значении 1,227%.

Содержание азота в компонентном составе связанных газов соляных пород колеблется от 52,29% (карналлит, Восточно-Перелюбский участок) до 97,84% (каменная соль, Западно-Целинный участок), при среднем значении 86,95%.

На рисунках 1-4 представлены диаграммы распределения средних значений содержания метана, суммарного содержания углеводородов метанового ряда и содержания азота в составе связанных газов в породах по лицензионным участкам.

Как видно из представленных выше диаграмм, в целом по всем участкам среднее содержание метана в компонентном составе связанных газов изменяется в зависимости от типа пород. Так, в каменной соли и полигалитовой породе отмечается низкое содержание метана в компонентном составе связанных газов – до 7,33% в каменной соли Западно-Иванихинского участка и до 4,3% в полигалитовой породе Восточно-Целинного участка. Также низкое содержание метана зафиксировано в карналлит-галитовой породе Центрально-Иванихинского участка, из трех образцов которой содержание метана колеблется от 1,71% до 2,86%, в среднем составляя 2,25%. В данной породе отмечаются невысокие значения суммарного содержания углеводородов метанового ряда, от 0,348% до 0,975% при среднем – 0,593%.

Таблица 3

Качественный состав связанных газов в породах (об. %)

№	Порода	Содержание метана	Сумма углеводородов	Содержание азота
Западно-Перелюбский участок				
1	Каменная соль	3,81	1,063	94,95
2	Сильвинит	8,36	0,757	90,76
3	Карналлит	34,00	1,070	64,83
Восточно-Перелюбский участок				
1	Каменная соль	1,89	1,067	96,89
2	Сильвинит	20,30	0,826	78,36
3	Карналлит	39,32	1,274	52,29
Западно-Иванихинский участок				
1	Каменная соль	7,33	2,222	90,24
2	Сильвинит	15,80	2,339	81,65
3	Карналлит	19,53	0,922	79,39
4	Полигалитовая порода	3,50	1,226	95,06
Центрально-Иванихинский участок				
1	Каменная соль	2,41	1,022	96,38
2	Сильвинит	14,26	2,180	83,31
3	Карналлит	25,56	1,467	72,76
4	Сильвин-карналлитовая порода	2,67	1,154	96,07
5	Карналлит-галитовая порода	2,25	0,593	96,96
6	Полигалитовая порода	3,61	1,005	95,19
Восточно-Целинный участок				
1	Каменная соль	4,94	0,766	94,10
2	Галит-сильвиновая порода	18,94	2,178	78,77
3	Сильвинит	9,32	1,437	89,09
4	Карналлит-сильвиновая порода	19,53	1,491	78,83
5	Карналлит	17,65	0,916	81,22
6	Галит-полигалитовая порода	4,30	2,089	93,44
Западно-Целинный участок				
1	Сильвин-карналлитовая порода	1,23	1,174	97,40
2	Каменная соль	1,43	0,585	97,84
3	Сильвинит	12,01	0,901	86,90
4	Карналлит	10,72	0,484	88,66
5	Полигалитовая порода	2,49	0,933	96,40

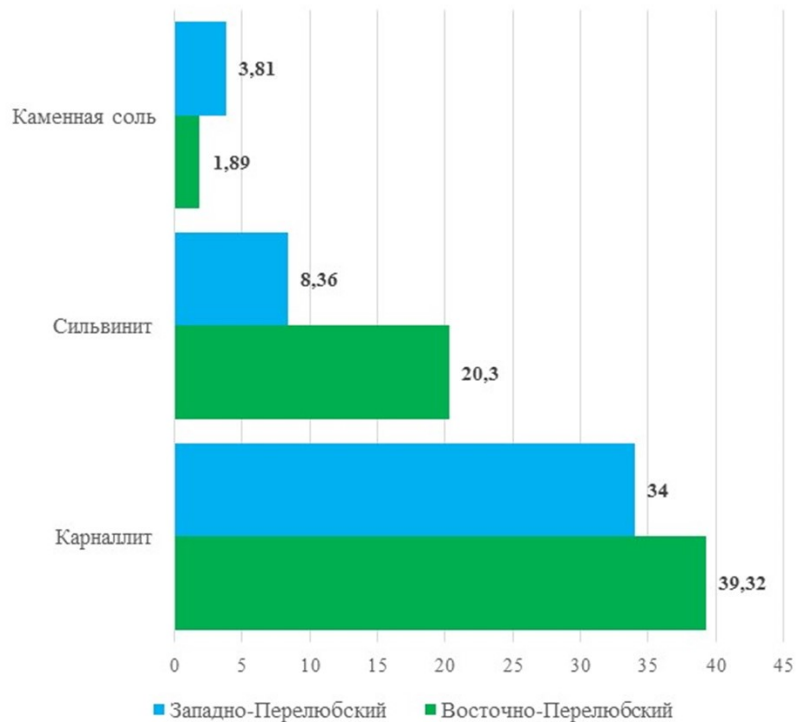


Рис. 1. Диаграмма распределения суммарного содержания горючих газов (CH_4+H_2) в компонентном составе связанных газов в образцах пород на Западно- и Восточно-Перелюбских лицензионных участках

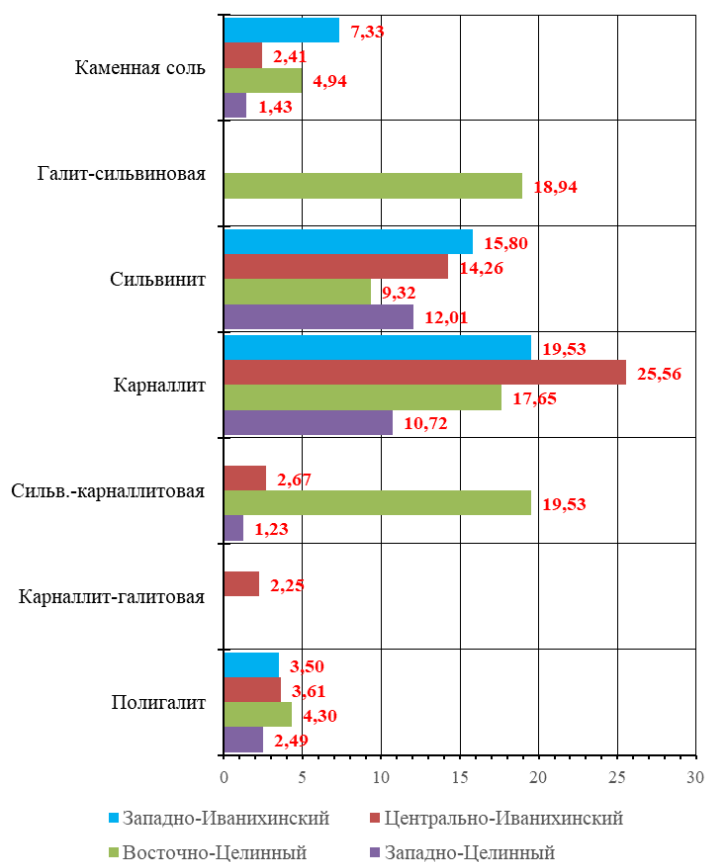


Рис. 2. Диаграмма распределения содержания метана (CH_4) в компонентном составе связанных газов в породах на Иванихинских и Целинных лицензионных участках

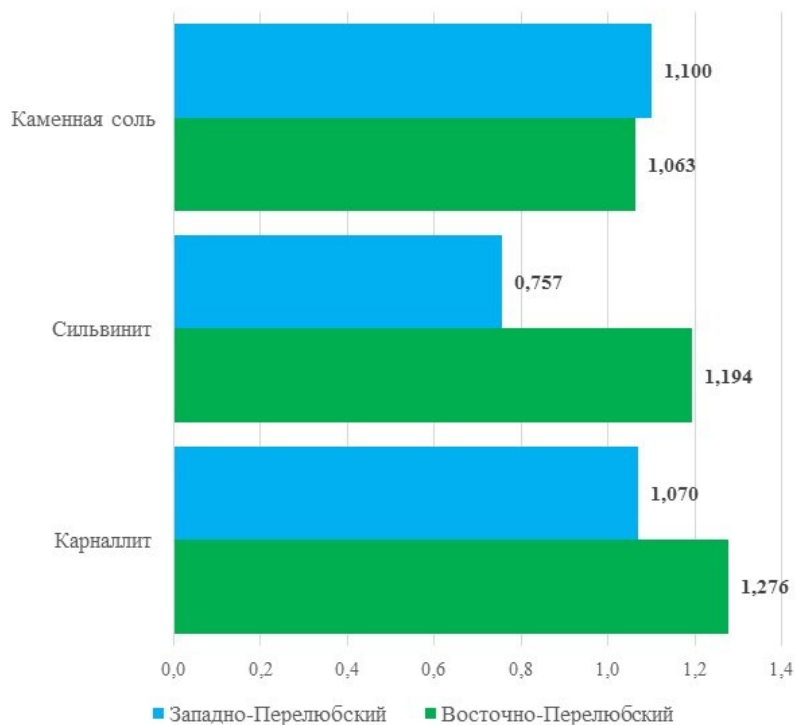


Рис. 3. Диаграмма распределения суммарного содержания углеводородов метанового ряда (C₂-C₅) в компонентном составе связанных газов в образцах пород на Западно- и Восточно-Перелубских лицензионных участках

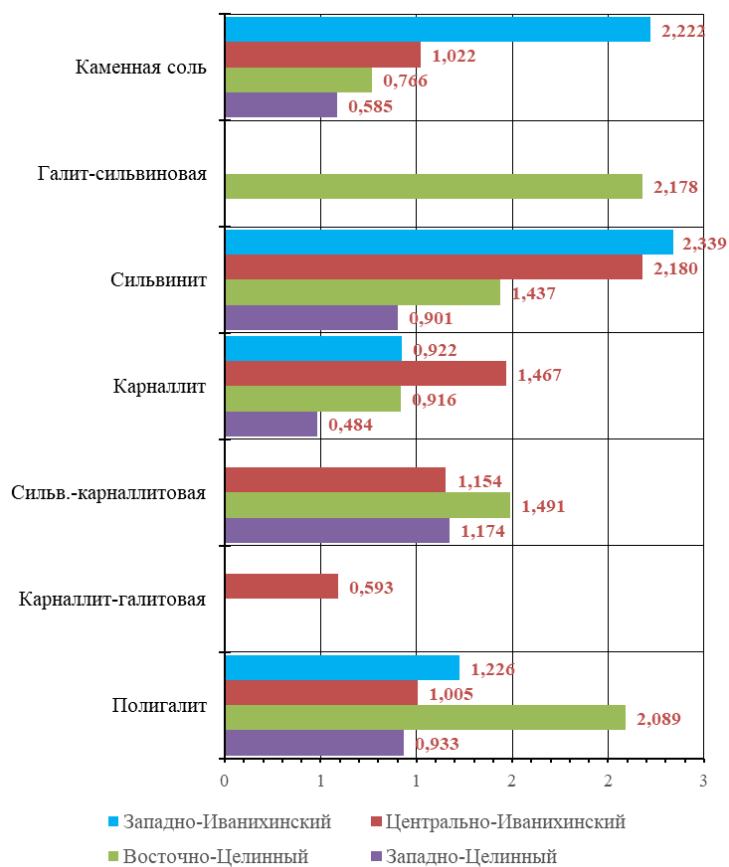


Рис. 4. Диаграмма распределения суммарного содержания углеводородов метанового ряда (C₂-C₅) в компонентном составе связанных газов в породах на Иванихинских и Целинных лицензионных участках

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ,
проект № 20-45-596017 р_НОЦ_Пермский край

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов О.В. Научно-учебный измерительный комплекс для изучения газоносности горных пород по связанным газам // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 10 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2012. – С. 223-225.
2. Инструкция по эксплуатации планетарных шаровых мельниц тип РМ100/РМ200. Retsch GmbH & Co. КГ, Наан, Germany, Doc.Nr. D 98.540/640.9999. –2004. –32 с.
3. Медведев И.И., Полянина Г.Д. Газовыделения на калийных рудниках. – М.: Недра, 1974. – 163 с.
4. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Травникова Л.Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. – Пермь: Тип. Купца Тарасова, 2008. – 412 с.: ил., табл.
5. Барях А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К. Газодинамическое обрушение кровли при разработке месторождений солей // Записки Горного института. – 2020. – Т. 246. – С. 601-609. – DOI: 10.31897/PMI.2020.6.1.
6. Andreyko S.S., Lyalina T.A. Rockburst from floors // Soils and Rocks. – 2019. – V. 42, № 1. – P. 77-82. DOI: 10.28927/SR.421077.
7. Litvinovskaya N.A., Andreiko S.S. Modeling sudden failure of floor of underground excavations in under- mined salt rock mass // Eurasian mining. – 2015. – № 2 (24). – P. 15-17.
8. Береснев С.П., Сенюк В.В., Гончар В.И., Андрейко С.С., Литвиновская Н.А. Исследование меха- низма формирования опасных по газодинамическим явлениям зон в породах калийного горизонта // Горн. журн. – 2010. – № 8. – С.31-33.
9. Андрейко С.С., Лукьянец Е.В., Литвиновская Н.А., Нестеров Е.А., Бобров Д.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А. Параметры профилактической дегазации пород почвы горных выработок при слоевой отработке третьего калийного пласта на рудниках ОАО «Беларуськалий» // Вестн. ПНИПУ: Геология. Нефтегазо- вое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 280-290. – DOI: 10.15593/2224-9923/2017.3.9.
10. Андрейко С.С., Бобров Д.А., Нестеров Е.А., Лукьянец Е.В. Оценка газоносности и газодинамиче- ских характеристик пород соляных и глинисто-карбонатных пачек на шахтном поле рудника второ- го рудоуправления ОАО «Беларуськалий» // Недропользование. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 270-279. – DOI:10.15593/2712-8008/2020.3.7.
11. Andreiko S.S. Statistical criteria and estimation results for regularities of gas-dynamic phenomenon distri- bution in potash deposits // Journal of Mining Science. – 2003. – V. 39, № 4. – P. 354-363.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2023.2.17

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ТЕХНИКИ С ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ

Е.Г. Кузьминых, Л.Ю. Левин, С.В. Мальцев
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В данной статье рассмотрен состав рудничной атмосферы при работе техники с двигателями внутреннего сгорания. Приведены результаты исследования распространения ядовитых продуктов выхлопных газов в вентиляционной сети рудника в условия проветривания разрабатываемых горизонтов, а также преобразования монооксида азота до диоксида в рудничных условиях по тракту движения воздуха.

Ключевые слова: рудник, система вентиляции, техника с ДВС, выхлопные газы, оксиды азота, разрабатываемое месторождение.

Введение

Отработка месторождений полезных ископаемых сопровождается различными тех- нологическими процессами, обеспечивающими извлечение полезного ископаемого из