

16. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород: справ. пособие / [М.М. Протодяконов, Р.И. Тедер, Е.И. Ильницкая и др.] под ред. Н.В. Мельникова. – М.: Недра, 1981. – 190 с.: ил.
17. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / [сост. М.М. Протодяконов, Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер и др.; под ред. Н.В. Мельникова]. – М.: Недра, 1975. – 279 с.
18. Новик Г.Я., Ржевский В.В. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1984. – 359 с.
19. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых: (Петрофизика). Справ. геофизика / под ред. Н.Б. Дортман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, – 1984. – 455 с.: ил.
20. Открытые горные работы: справочник / Трубецкой К.Н. и др. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.

УДК 622.831.322

DOI:10.7242/echo.2022.3.11

## **ОЦЕНКА ГАЗОНОСНОСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД ПО КЕРНОВОМУ МАТЕРИАЛУ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН ВОСТОЧНО-ТАЛИЦКОГО УЧАСТКА ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ**

О.В. Иванов

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация.** Лабораторные исследования по оценке газоносности пород по связанным газам образцов керна из геологоразведочных скважин, пробуренных в пределах Восточно-Талицкого участка, проводились методом сухой механической дезинтеграции при постоянном контроле температуры и давления в размольном стакане, а также с применением хроматографического анализа компонентного состава выделившихся из пород связанных газов. Представлены предварительные результаты по двум геологоразведочным скважинам.

**Ключевые слова:** калийно-магниевые соли, каменная соль, газоносность пород, связанные газы, размол, геологоразведочные скважины, компонентный состав, газовый хроматограф.

### **Введение**

При ведении геологоразведочных работ на Восточно-Талицком участке Верхнекамского месторождения калийных солей необходима предварительная оценка газоносности соляных пород. Настоящие исследования основываются на результатах определения газоносности соляных пород по связанным газам, которая, как известно, составляет порядка 10% от полной газоносности. При вскрытии и подготовке данного участка на основе проведенных исследований возможна корректировка объемов и параметров профилактических мероприятий для предотвращения газодинамических явлений.

### **Методика проведения исследований**

Комплекс оборудования для определения газоносности горных пород по связанным газам состоит из щековой дробилки ВВ 51, планетарной шаровой мельницы РМ 100 и контрольно-измерительной системы РМ GrindControl компании Retsch. Порядок работы следующий [1-2]. Образцы пород размером 35 мм с помощью щековой дробилки ВВ 51 размалываются до 10 мм. 300 мл подготовленного материала вместе с двадцатью мелющими шарами из нержавеющей стали диаметром 20 мм загружается в размольный стакан планетарной шаровой мельницы РМ 100, на который герметично устанавливается специальная крышка с системой РМGrindControl. Размол образцов породы происходит в заданном режиме: устанавливается скорость вращения и длительность измельчения. При этом данные о давлении и температуре в размольном стакане передаются системой РМGrindControl на персо-

нальный компьютер. По формуле объединенного газового закона с учетом термического коэффициента и полученным в процессе размола значениям давления и температуры рассчитывается объем выделившегося из породы газа. Соотношение объема выделившегося газа к объему породы является газоносностью пород по связанным газам [3-8].

По окончании процесса размола через клапан из размольного стакана с помощью пробоотборника 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 31371.7-2008 «Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности». 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 Центра коллективного пользования «Исследование свойств геоматериалов» при ПНИПУ. Экспериментальные лабораторные исследования газоносности по связанным газам соляных пород проводились на образцах, отобранных из керна геологоразведочных скважин № 3ВТ и № 4ВТ Восточно-Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийных солей.

По представленной выше методике определения газоносности пород по связанным газам способом сухой механической дезинтеграции экспериментальные лабораторные исследования проведены на 14 образцах соляных пород пластов А, А-КрI, КрI, КрI-КрII, КрII, КрII-КрIII, КрIII и ПдКС. В таблице 1 представлены результаты определения газоносности по связанным газам по скважинам.

Таблица 1

Газоносность пород по связанным газам по скважинам

№	Скважина	Кол-во образцов	Газоносность, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>		
			Мин.	Макс.	Средняя
1	3ВТ	6	0,021	0,053	0,038
2	4ВТ	8	0,015	0,054	0,034
	Всего	14	0,015	0,054	0,036

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 скважинам.

**Таблица 2**

Средний компонентный состав связанных газов по скважинам (об. %)

№	Скважина	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
1	3ВТ	1,72	1,046	0,214	0,169	0,124	0,136	0,075	96,27	0,24
2	4ВТ	1,06	0,575	0,156	0,076	0,091	0,091	0,050	97,71	0,20
	Всего	1,37	0,80	0,183	0,119	0,106	0,112	0,062	97,04	0,22

Как видно из таблиц 1 и 2, максимальное значение газоносности пород по связанным газам в керне скважин практически одинакова и не превышает составляет 0,054 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, средний компонентный состав связанных газов в породах керна обеих скважин также практически одинаков.

Результаты количественной оценки газоносности соляных пород по связанным газам представлены в таблице 3.

**Таблица 3**

Газоносность соляных пород по связанным газам  
по пластам и междупластиям

№	Пласт	Порода	Газоносность, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
1	А	Сильвинит	0,043
2	А-КрI	Каменная соль	0,036
3	КрI	Мергель	0,043
4	КрII-КрI	Каменная соль	0,022
5	КрII	Сильвинит	0,042
6	КрIII-КрII	Каменная соль с глинистыми прослоями	0,023
7	КрIIIа	Сильвинит с глинистыми прослоями	0,048
8	КрIIIв- КрIIIб	Каменная соль	0,032
9	ПдКС	Каменная соль	0,038

На рисунке 1 представлена диаграмма распределения газоносности пород по пластам и междупластиям на Восточно-Талицком участке.

Как видно из рисунка 1 и таблицы 3, газоносность соляных пород по связанным газам в скважинах № 3ВТ и № 4ВТ Восточно-Талицкого участка изменяется от 0,032 до 0,048 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, при среднем значении 0,036 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Максимальное значение газоносности пород по связанным газам зафиксировано в сильвинитовом пласте КрIIIа, которое составляет 0,048 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Минимальное зна-

чение –  $0,022 \text{ м}^3/\text{м}^3$  отмечено в галитовых породах междупластия КрII-КрI. В целом в галитовых породах газоносность по связанным газам практически в два раза ниже, чем в сильвинитовых. В породах подстилающей каменной соли также наблюдается газоносность по связанным газам со значениями, близкими к средним по разрезу.

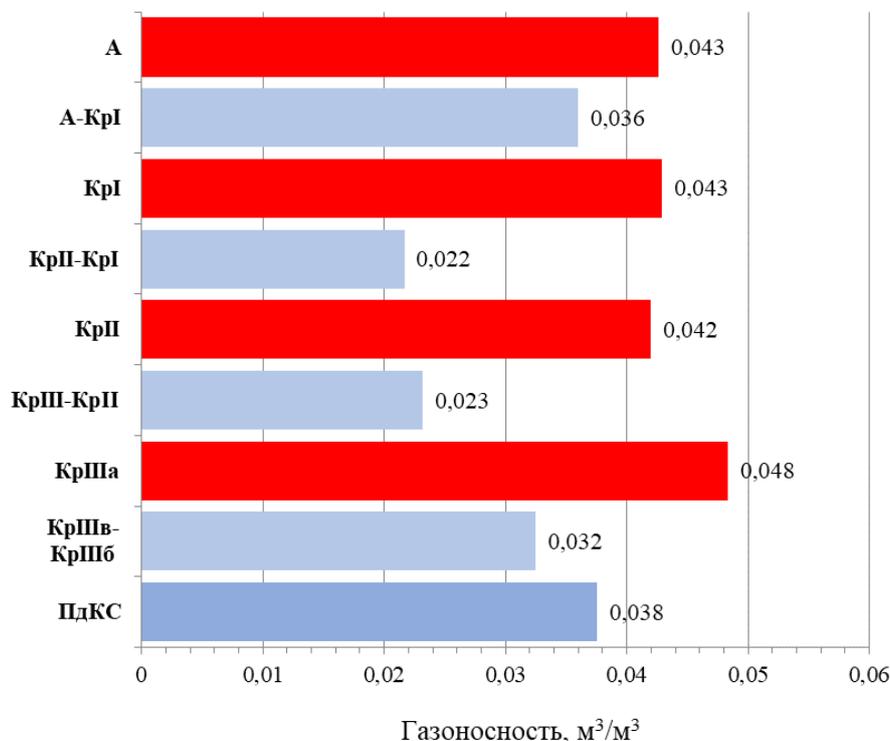


Рис. 1. Диаграмма распределения газоносности по пластам и междупластиям на Восточно-Талицком участке

Ниже в таблице 4 представлен средний по пластам и междупластиям компонентный состав связанных газов в скважинах № 3ВТ и № 4ВТ Восточно-Талицкого участка.

Таблица 4  
Компонентный состав связанных газов по пластам и междупластиям

№	Пласт	Содержание, % по объему								
		$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_3\text{H}_8$	$i\text{C}_4\text{H}_{10}$	$n\text{C}_4\text{H}_{10}$	$i\text{C}_5\text{H}_{12}$	$n\text{C}_5\text{H}_{12}$	$\text{N}_2$	$\text{CO}_2$
1	А	1,92	1,927	0,369	0,158	0,246	0,298	0,169	94,47	0,45
2	А-КрI	2,17	1,021	0,254	0,203	0,126	0,136	0,088	95,81	0,19
3	КрI	1,89	0,815	0,196	0,107	0,077	0,072	0,040	96,54	0,26
4	КрII-КрI	0,63	0,453	0,085	0,048	0,036	0,025	0,009	98,59	0,12
5	КрII	1,36	1,297	0,181	0,070	0,108	0,116	0,068	96,63	0,17
6	КрIII-КрII	0,89	0,398	0,113	0,062	0,055	0,053	0,028	98,24	0,16
7	КрIIIа	0,52	0,356	0,094	0,030	0,066	0,049	0,041	98,67	0,17
8	КрIIIв-КрIIIб	1,96	0,410	0,215	0,206	0,159	0,127	0,050	96,74	0,13
9	ПдКС	0,65	0,165	0,075	0,101	0,044	0,057	0,018	98,67	0,23

Распределение по пластам и междупластиям метана (CH<sub>4</sub>) и суммарного содержания углеводородных газов метанового ряда (C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub>) в составе связанных газов в скважинах № 3ВТ и № 4ВТ Восточно-Талицкого участка представлено на рисунках 2 и 3, соответственно.

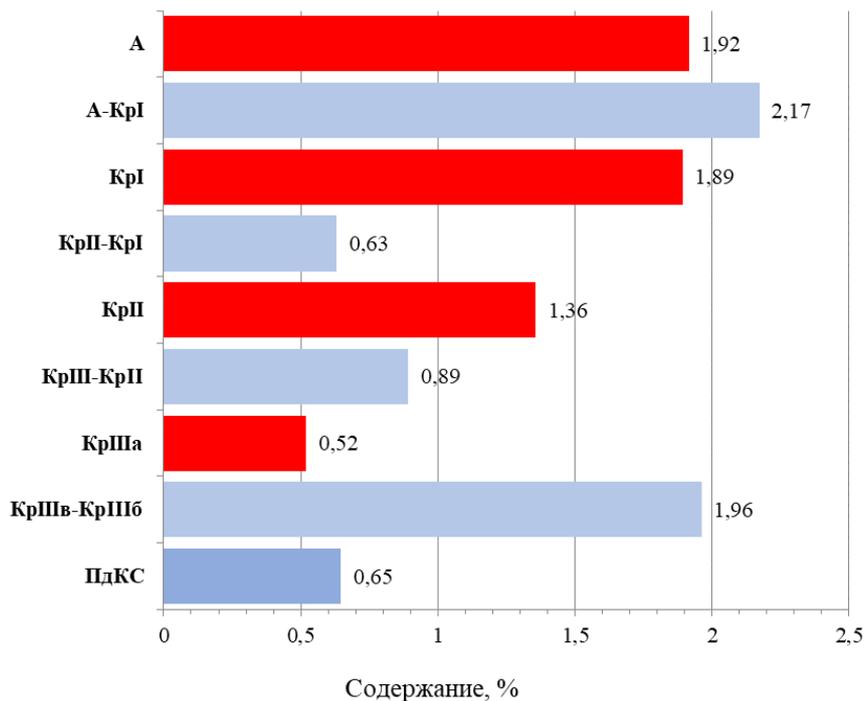


Рис. 2. Диаграмма распределения метана по пластам и междупластиям на Восточно-Талицком участке

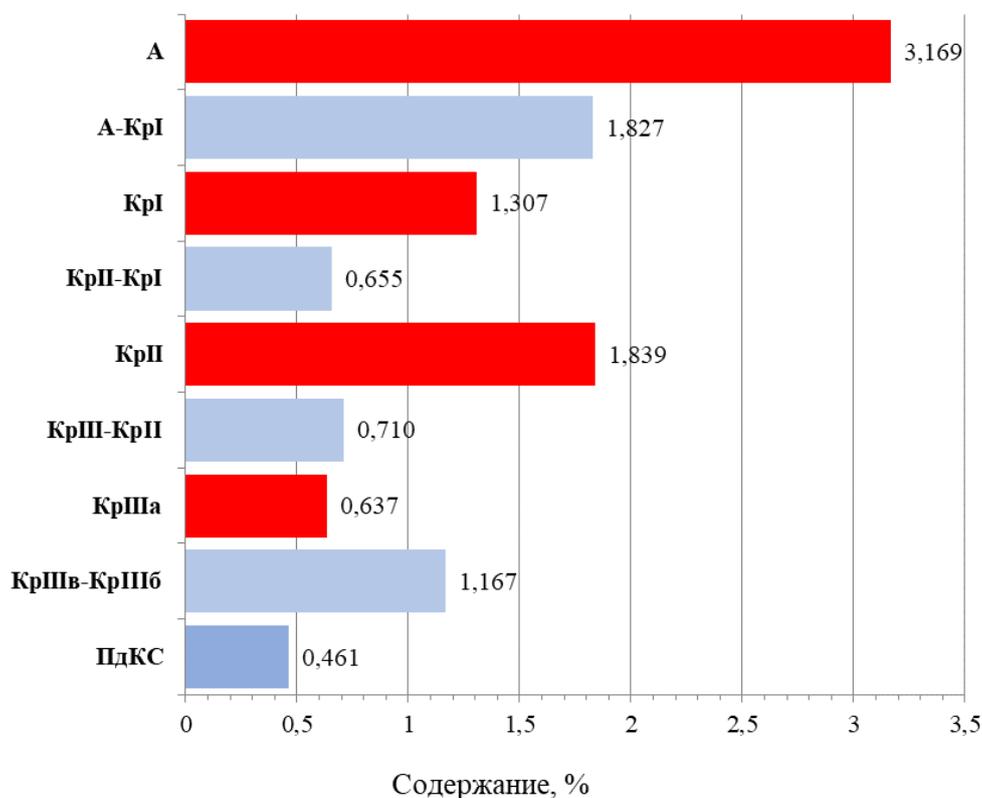


Рис. 3. Диаграмма распределения суммарного содержания углеводородных газов метанового ряда (C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub>) по пластам и междупластиям на Восточно-Талицком участке

Как видно из табл.4 и рисунков 2 и 3, связанные газы в соляных породах Восточно-Талицкого участка по своему составу метаново-азотные. Содержание метана в составе связанных газов колеблется от 0,42 до 4,34% при среднем значении 1,33%. В целом по разрезу наблюдается снижение содержания метана от пласта А до ПдКС. Однако в породах КрШв- КрШб отмечено повышенное содержание метана до 1,96%.

Суммарное содержание углеводородных газов метанового ряда ( $C_2-C_5$ ) также снижается вниз по разрезу от пласта А (3,169%) до ПдКС (0,461%), в среднем составляя 1,308%.

На рисунке 4 представлена диаграмма компонентного состава связанных газов в породах Восточно-Талицкого участка.

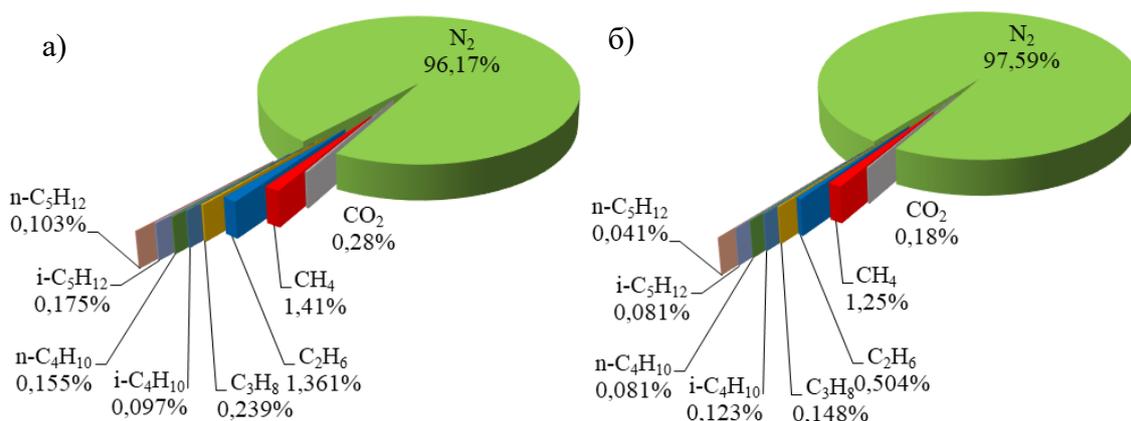


Рис. 4. Диаграмма компонентного состава связанных газов в породах из скважин № 3ВТ и № 4ВТ Восточно-Талицкого участка: а – сильвинит; б – каменная соль

### Заключение

В ходе исследований по оценке газоносности пород по связанным газам в скважинах, пробуренных в пределах Восточно-Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийных солей получены следующие результаты: газоносность сильвинитовых пород по связанным газам пластов А, КрII и КрIIIа по связанным газам изменяется от  $0,034 \text{ м}^3/\text{м}^3$  до  $0,054 \text{ м}^3/\text{м}^3$  при среднем значении  $0,044 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ; газоносность каменной соли междупластий по связанным газам изменяется от  $0,015 \text{ м}^3/\text{м}^3$  до  $0,053 \text{ м}^3/\text{м}^3$  при среднем значении  $0,031 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . При ведении горных работ по вскрытию и подготовке участка необходима корректировка объемов и параметров профилактических мероприятий для предотвращения газодинамических явлений.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-45-596017 «Геохимическая и геодинамическая эволюция газовой фазы месторождений калийных солей как основа безопасного недропользования»*

### 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. Лаптев Б.В. Предотвращение газодинамических явлений в калийных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 142 с.: ил.
6. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: Генезис, прогноз и управление / под. ред. В.Я. Прушака. – Минск: Выш. шк., 2000. – 335 с.: ил.
7. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогнозирования и способы предотвращения: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во. ПГТУ, 2007. – 208 с.
8. Андрейко С.С., Иванов О.В., Литвиновская Н.А. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений из почвы при проходке подготовительных выработок в подработанном массиве соляных пород. – Пермь: изд-во ПНИПУ, 2015. – 159 с.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2022.3.12

## **ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭВАКУАЦИИ ГОРНОРАБОЧИХ ЧЕРЕЗ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СТВОЛЫ ВО ВРЕМЯ РЕВЕРСИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СТРУИ В ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА НА ГЛУБОКОМ РУДНИКЕ**

Н.А. Князев, Д.С. Кормщиков  
*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В работе описываются результаты исследований и разработки мероприятий, позволяющих обеспечить безопасные условия эвакуации людей при реверсировании воздушной струи в холодное время года на глубоком руднике. Направленность мероприятий заключается в исключении негативного влияния холодного воздуха на здоровье и самочувствие людей за счет применения технических и организационных мероприятий.

**Ключевые слова:** реверсивный режим проветривания, глубокий рудник, вентиляционный ствол, компенсирующие мероприятия, моделирование, рудничная вентиляция, эвакуация горнорабочих.

### **Введение**

Для горных предприятий подземные пожары являются наиболее характерным типом аварии, приводящим к нарушению производственного процесса, существенным экономическим издержкам и возникновению риска для людей, ввиду чего данный вид аварии занимает ключевое значение при разработке планов ликвидации аварий на рудниках и шахтах, относящихся к опасным производственным объектам.

Так как подземные пожары сопровождаются стремительным распространением продуктов горения по горным выработкам, при разработке ПЛА осуществляется выбор наиболее безопасного (аварийного) режима проветривания. В зависимости от предполагаемого места возникновения пожара предусматриваются следующие аварийные режимы проветривания:

- нормальный – тот режим, который существовал до аварии;
- реверсивный – режим с опрокидыванием воздушной струи.

В случае возникновения пожара в стволах и главных выработках, по которым осуществляется подача свежего воздуха в рудник, предусматривается реверсирование воздушной струи с целью предотвращения задымления значительной части подземного пространства, при этом эвакуация людей осуществляется через вентиляционные стволы. Возникновение подобной аварийной ситуации в холодный период года может привести к подаче в рудник воздуха отрицатель-