

## АКТУАЛИЗАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗА ЗОН, ОПАСНЫХ ПО ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ, В УСЛОВИЯХ ГРЕМЯЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

В.О. Лядов

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В статье представлены подробные результаты разработки карт регионального прогноза газодинамических явлений в пределах Гремячинского месторождения калийных солей на основе линейного дискриминантного анализа актуальных геологоразведочных данных. Анализ производился на основе следующих процентных показателей: суммарного содержания нерастворимого остатка и сульфата кальция, содержания хлорида калия и содержания хлорида магния. Особенностью проведенного анализа было его разделение на западную и восточную часть в пределах шахтного поля, что имеет обоснование в статистических и геологических различиях рассматриваемых участков. Полученная результирующая эффективность алгоритма классификации составила 96,6 % и 91,9 % для западной и восточной частей шахтного поля соответственно. Построенные на основе полученных решающих правил прогнозные карты зон, опасных по газодинамическим явлениям, показали высокую адекватность. Полученный алгоритм может быть использован при региональном прогнозировании газодинамических явлений в пределах шахтного поля рассматриваемого рудника.

**Ключевые слова:** газодинамические явления, региональный прогноз, задача классификации, Гремячинское месторождение, дискриминантный анализ, сильвинит, каменная соль.

### Введение

Рост интенсивности разработки месторождений калийных солей, ввиду соответствующего наращивания объемов потребления калийных удобрений, обостряет известные проблемы и ставит новые задачи в технологических процессах отработки калийных пластов. Практически неминуемой проблемой при высокой интенсивности отработки на калийных рудниках являются газодинамические явления (ГДЯ) в виде внезапных выбросов пород, газа, а также явлений комбинированного типа. В число месторождений, где наблюдаются возникновения газодинамических явлений, входит и Гремячинское месторождение калийных солей [1]. Рассматриваемое месторождение характерно своими сложными горно-геологическими условиями, среди которых интенсивная и неравномерная складчатость оказывает значимое влияние на характер проявления газодинамических явлений [2]. Расположение мест возникновения ГДЯ в пределах шахтного поля представлено на рисунке 1.

Наблюдаемое преобладание в возникновении ГДЯ в западной части по сравнению с восточной частью шахтного поля может быть объяснено повышенной интенсивностью складчатости промышленного пласта на западном крыле шахтного поля.

Первичная модель регионального прогноза газодинамических явлений, разработанная на этапе проходки горных выработок в околоствольном дворе, базировалась лишь на двух критериях в силу малого количества располагаемой геологической информации [3]. Зоны, опасные по ГДЯ, приурочивались к участкам развития антиклинальных складок, с которыми могут быть связаны области увеличения мощности промышленного сильвинитового пласта и карналлит-галитового слоя в 1,5 и более раза, а также к зонам отсутствия в пласте калийно-магниевых солей сильвинитового слоя при условии залегания в почве промышленного сильвинитового пласта карналлит-галитового слоя. Первичная карта прогноза зон, опасных по ГДЯ представлена на рисунке 2.

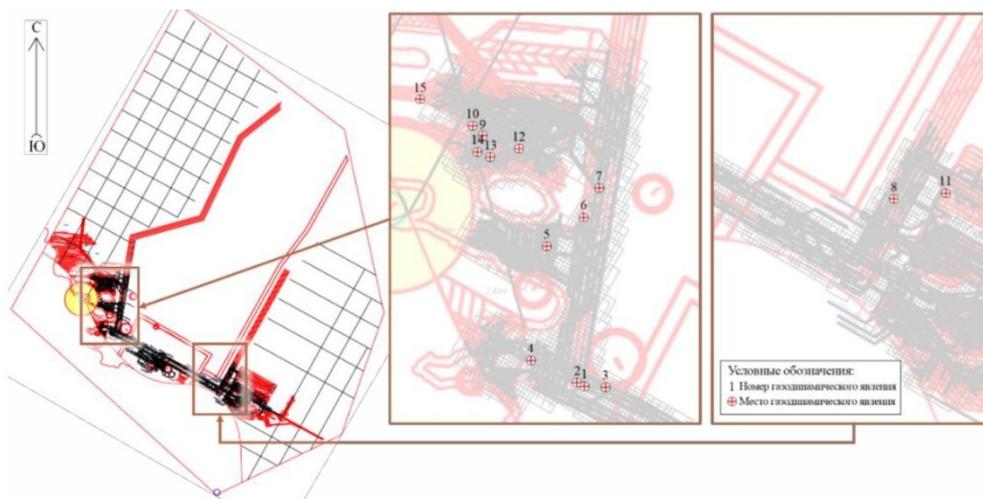


Рис. 1. Места расположения произошедших газодинамических явлений в пределах шахтного поля

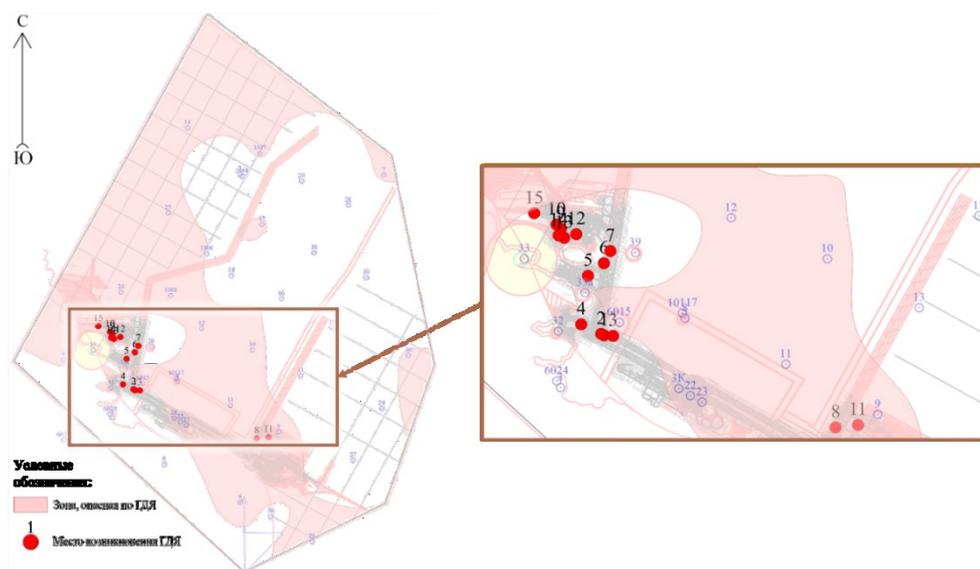


Рис. 2. Первичная прогнозная карта зон, опасных по ГДЯ, в пределах шахтного поля

Фактические данные по произошедшим газодинамическим явлениям указывают на низкую точность полученного прогноза, из общего числа произошедших газодинамических явлений лишь 26,6 % попадают в опасные зоны. Важными факторами, повлиявшими в данном случае на точность полученного прогноза, является значительная геологическая неоднородность, заключающаяся в больших колебаниях мощности слоев промышленного пласта и большие расстояния между точками данных (геологоразведочными скважинами), по которым производилась интерполяция.

В свою очередь, актуальные данные эксплуатационной разведки в достаточном объеме позволяют провести на их основе более глубокий статистический анализ для получения адекватной модели регионального прогноза зон, опасных по газодинамическим явлениям.

### Методика проведения статистического анализа

Анализ данных производился на основе следующих горно-геологических параметров: суммарного содержания нерастворимого остатка и сульфата кальция, содержания хлорида калия и содержания хлорида магния. Общее количество наблюдений составило 123 точки, 51 в западной и 72 в восточной частях шахтного поля. Диаграммы размаха представлени-

ных параметров приведены на рисунке 3. Важным фактом является высокое качество (отсутствие выбросов) выборки данных, определившее метод последующей классификации данных посредством линейного дискриминантного анализа, имеющим положительный опыт применения в решении аналогичных задач [4-6]. Сущность линейного дискриминантного анализа в рамках решения данной задачи классификации заключается в поиске линейной комбинации признаков, разделяющей исследуемые данные по классам.

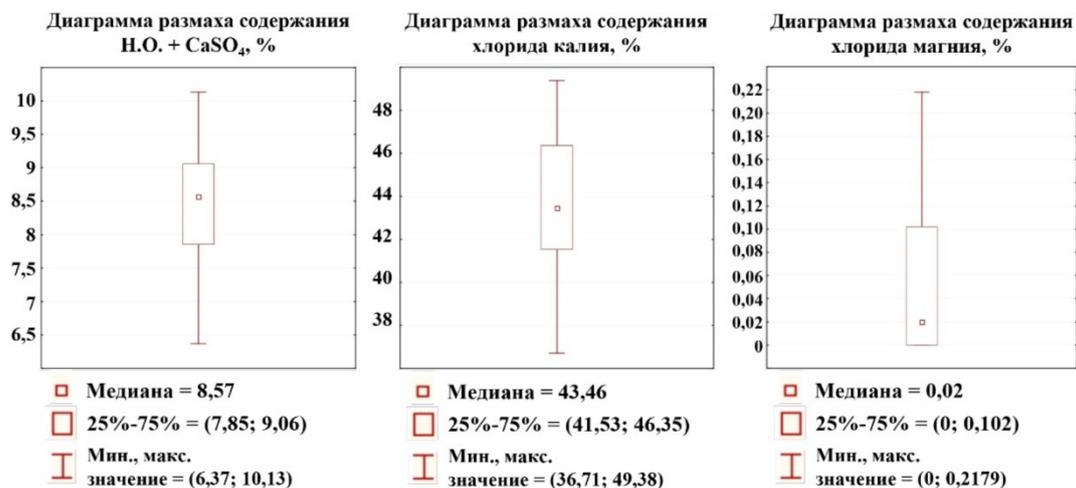


Рис. 3. Диаграммы размаха горно-геологических параметров, использованных в анализе

Скопления точек наблюдений в пределах юго-западной и юго-восточной частей шахтного поля, а также различия в складчатости между западной и восточной частями послужили предпосылками к применению раздельного анализа данных в восточной и западной частях шахтного поля, что в результате показало большую эффективность в сравнении с дискриминантным анализом с одной общей выборкой данных. Расположение точек данных в пределах шахтного поля с раздельным отнесением точек к западной и восточной частям шахтного поля приведено на рисунке 4.

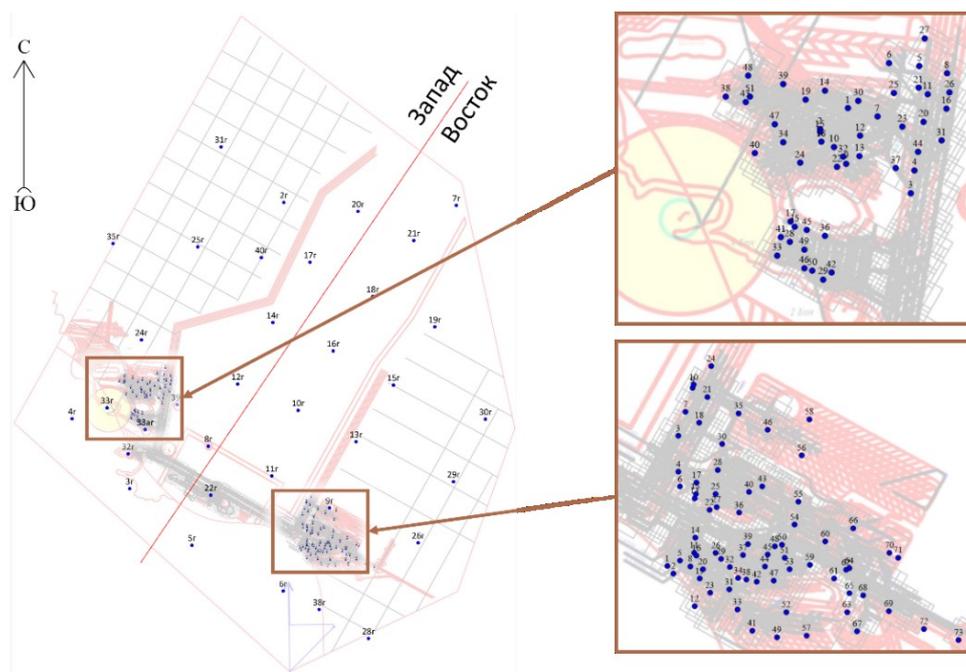


Рис. 4. Разделенные области точек наблюдений в пределах шахтного поля

Данные 35 поверхностных геологоразведочных скважин были использованы для экстраполяции полученных в областях скопления данных эксплуатационной разведки правил определения зон, опасных по ГДЯ, на всю площадь шахтного поля.

### Результаты проведенного анализа данных

Полученные в результате проведения анализа линейные дискриминантные функции (ЛДФ) с представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результирующие линейные дискриминантные функции

Часть шахтного поля	Линейная дискриминантная функция	Эффективность классификации (скользящий экзаме- н), %
Запад	$Fp = 0,388 \times X_1 - 0,596 \times X_2 - 1,662 \times X_3 - 11,491 \geq 0$	96,6
Восток	$Fp = 0,04 \times X_1 - 0,235 \times X_2 - 8,384 \times X_3 - 1,117 \geq 0$	91,9

$X_1$  – содержание KCl в породах продуктивного пласта, %;  
 $X_2$  – содержание (НО+CaSO<sub>4</sub>) в породах продуктивного пласта, %;  
 $X_3$  – содержание MgCl<sub>2</sub> в породах продуктивного пласта, %.

Полученные результирующие линейные дискриминантные функции показали высокую эффективность классификации, что позволило получить высокую адекватность построенных в пределах юго-западной и юго-восточной частей шахтного поля прогнозных карт расположения зон, опасных по газодинамическим явлениям, представленных на рисунке 5. Отсутствие данных прогноза в районах точек 1, 2, 3, 4 и 6 связано с отсутствием данных бороздового опробования в области этих точек. Все остальные точки произошедших ГДЯ попали в опасные зоны, за исключением точки 12, что может быть связано с резким перепадом показателей в области данной точки. Однако, данный недостаток успешно нивелируется после экстраполяции полученных решающих правил на всю площадь шахтного поля. Результирующая прогнозная карта зон, опасных по ГДЯ, в пределах шахтного поля представлена на рисунке 6.

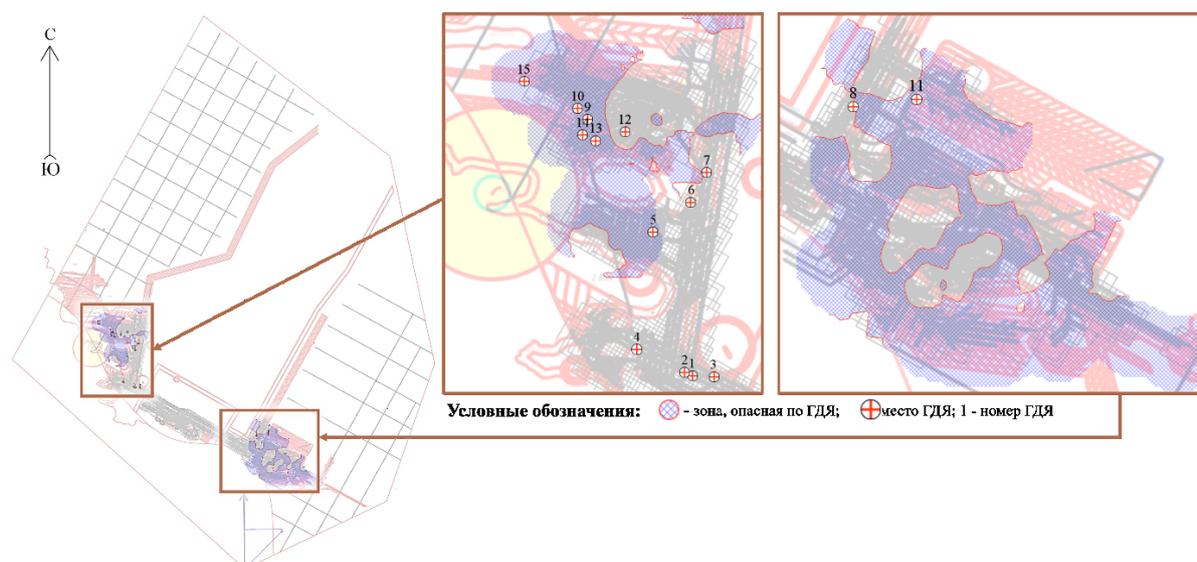


Рис. 5. Карта зон, опасных по газодинамическим явлениям, в пределах юго-западной и юго-восточной частей шахтного поля

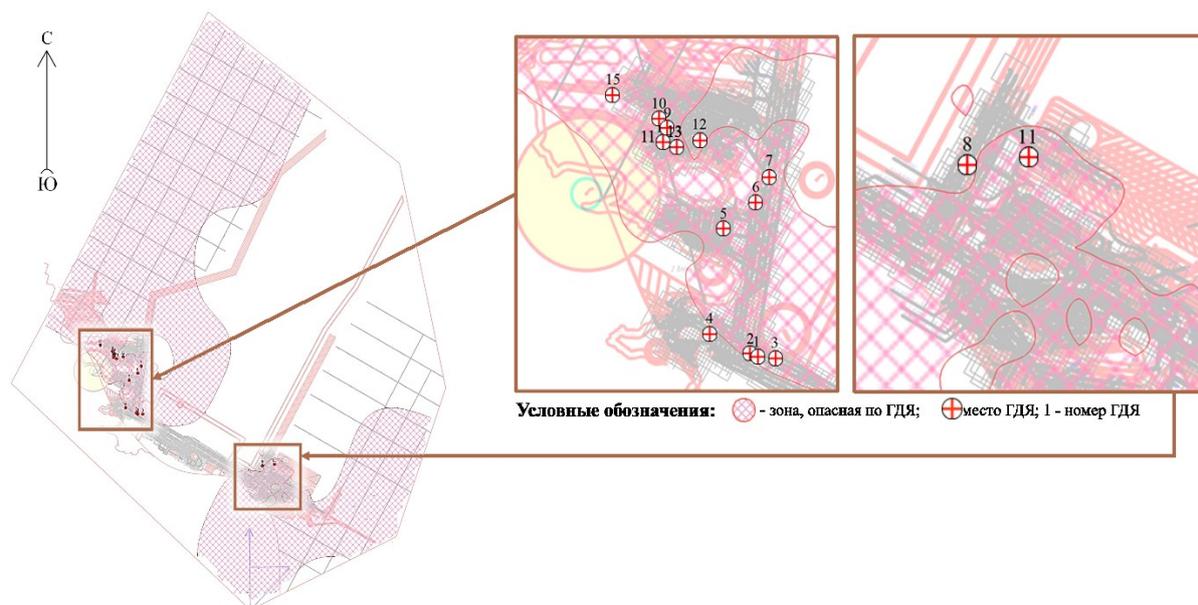


Рис. 6. Результирующая карта зон, опасных по газодинамическим явлениям, в пределах всего шахтного поля

Полученная после экстраполяции с использованием данных поверхностных геолого-разведочных скважин прогнозная карта зон, опасных по газодинамическим явлениям показала высокую адекватность, поскольку явные выбросы точек происходивших газодинамических явлений не наблюдаются, а точки 8 и 12 являются приграничными.

### Выводы

Эффективный алгоритм классификации был разработан при раздельном дискриминантном анализе западной и восточной частей шахтного поля, что также имеет обоснование в геологических и статистических различиях рассматриваемых участков. Полученная результирующая эффективность составила 96,6 % и 91,9 % для западной и восточной частей шахтного поля соответственно, что позволило построить прогнозные карты зон, опасных по ГДЯ, обладающие высокой адекватностью.

Дальнейшим развитием модели, помимо постоянного дополнения вновь полученных геологоразведочных данных, предусмотрено введение дополнительных геологических показателей, наиболее перспективным из которых является показатель складчатости.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР 124020500030-7).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрейко С.С., Нестерова С.Ю. Природа внезапных разрушений приконтурной части массива при проходке подготовительных выработок в руднике Гремячинского горно-обогатительного комбината // Недропользование. – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 144-150. – DOI: 10.15593/2712-8008/2022.3.6.
2. Андрейко С.С., Лядов В.О., Папулов А.С., Абашин В.И. Анализ геологических условий проявления газодинамических явлений Гремячинского ГОКа // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2024. – №. 1. – С. 465-474.
3. Специальные мероприятия по ведению горных работ в условиях газового режима на Гремячинском месторождении калийных солей / ГИ УрО РАН, ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий». – Пермь; Котельниково, 2022. – 88 с.
4. Мартюшев Д.А., Пономарева И.Н., Шен В. Адаптация результатов гидродинамических исследований скважин при неустановившихся режимах // Записки Горного института. – 2023. – Т. 264, № 1. – С. 919-925.

5. Иванов О.В., Нестерова С.Ю., Лядов В.О., Лукьянец Е.В. Региональное прогнозирование опасных по газодинамическим явлениям зон в условиях шахтного поля рудника Талицкого ГОКа // Горный журнал. – 2023 – № 11. – С. 84-88. – DOI: 10.17580/gzh.2023.11.14.
6. Кузнецова Е.А., Галкин В.И. Использование вероятностно-статистических методов для анализа глубоководных отложений Верхнепечорской впадины // Недропользование. – 2023. – Т. 23, №. 1. – С. 11-17. – DOI: 10.15593/2712-8008/2023.1.2.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2024.2.13

## НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПОЛНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ ДОБЫЧИ РУДЫ ИЗ ПРОТЯЖЕННЫХ ТУПИКОВЫХ КАМЕР БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ

Е.В. Накаряков

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В работе представлены результаты натуральных исследований рудничной атмосферы при полном технологическом цикле добычи руды из протяженных тупиковых камер большого сечения. Технологический цикл включает ведение взрывных работ, проветривание после взрывных работ и отгрузку руды погрузочно-доставочной машиной. В процессе ведения взрывных работ формируется застойная зона в камерном пространстве, где происходит скопление газов. Запертый газ постепенно выносится на рабочее место машиниста погрузочно-доставочной машины. Показано, что при ведении работ по добыче руды буровзрывным способом в условиях тупиковых камер большого сечения необходим предварительный расчет объема выделяющихся газов и автоматический контроль выноса газов в рабочую зону горнорабочего, осуществляющего отгрузку руды.

**Ключевые слова:** рудничная вентиляция, тупиковая выработка, ядовитые газы, взрывные работы, двигатель внутреннего сгорания.

### Введение

Добыча полезных ископаемых высокой крепости традиционно производится с помощью буровзрывных работ. При ведении взрывных работ образуются ядовитые газы, которые представляют большую опасность для горнорабочих. При детонации взрывчатого вещества образуются следующие газы [1,2]: оксиды азота NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, оксид углерода CO и сернистый ангидрид SO<sub>2</sub>. При отработке краевых запасов рудных тел на рудниках Талнаха (Красноярский край, РФ) применяется камерная система разработки с закладкой отработанного пространства. Добыча руды производится в тупиковых камерах, проветриваемых нагнетательным способом с помощью вентиляторов местного проветривания. Величина поперечного сечения камерного пространства достигает 120 м<sup>2</sup>, длина – до 30 м.

Камерное пространство формируется взрывными работами обратным порядком в кровлю заранее проведенной нарезной выработки. При этом после взрыва формируется навал руды, который отделяет камерное пространство от зоны активного проветривания (рисунок 1).

На рисунке 1 показаны два разнопроветриваемых объема тупиковой камеры: первый – до навала руды, проветриваемый активной струей воздуха, выходящего из вентиляционного трубопровода; второй – за навалом руды, проветриваемый за счет турбулентной диффузии.

Существует вероятность «запирания» облака ядовитых газов в пространстве за навалом руды и впоследствии с постепенной отгрузкой руды его выноса в нарезную выработку. В нарезной выработке расположено рабочее место машиниста погрузочно-доставочной машины. Таким образом, контроль выноса газов в процессе ведения работ является неотъемлемой задачей обеспечения безопасности горнорабочих.