

Таким образом, на основе разработанной модели появляется возможность анализа процессов нестационарного массопереноса, происходящих в шахтных системах водоснабжения и водоотлива рудников, с учетом произвольной топологии и состояния сети трубопроводов, влияния запорно-регулирующих устройств, а также изменения параметров водопотребления. При этом многопараметрическое моделирование гидравлических процессов позволит повысить качество разработки технических решений при проектировании шахтных систем трубопроводов, являющихся неотъемлемой частью технологии и безопасности ведения горных работ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ
в рамках государственного задания
(проекты № 122030100425-6 и № 124020500030-7).*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калинин Н.Б., Калинина М.Н. К вопросу о формировании рациональных требований к программно-аварийно-вентиляционному комплексу (для мониторинга, текущего и перспективного моделирования состояния технологических сетей шахт) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – №. 6. – С. 70-73.
2. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах. – М.: Энергоиздат, 1981. – 247 с.: ил.
3. Sam Ani H.M.V., Khayatzaheh A. Transient flow in pipe networks // Journal of Hydraulic Research. – 2002. – V. 40, №. 5. – С. 637-644. – DOI: 10.1080/00221680209499908.
4. Раинкина Л.Н. Определение коэффициента гидравлического трения: метод. указания к выполнению лаб. работы / УГТУ. – Ухта, 2000. – 25 с.
5. Левин Л.Ю., Семин М.А., Зайцев А.В. Разработка математических методов прогнозирования микроклиматических условий в сети горных выработок произвольной топологии // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 154-161.
6. Круглов Ю.В., Левин Л.Ю., Зайцев А.В. Моделирование переходных процессов в вентиляционных сетях подземных рудников // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2011. – № 5. – С. 101-109.

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2024.1.14

ГАЗОНОСНОСТЬ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛЯНОГО ПОРОДНОГО МАССИВА I КАЛИЙНОГО ГОРИЗОНТА ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В УСЛОВИЯХ РУДНИКА I РУ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Н.А. Литвиновская
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье представлены подробные результаты исследования газоносности и газодинамических характеристик свободного газа соляных пород I калийного горизонта при подработке и надработке горными выработками в различных горнотехнических ситуациях.

Ключевые слова: газоносность, свободные газы, газодинамические характеристики, подработка, надработка, сильвинит, каменная соль, I калийный горизонт.

Введение

Истощение рудной базы I РУ ПАО «Беларускалий» привело к необходимости отработки верхнего сильвинитового пласта I калийного горизонта (рис. 1).

Пласты	Слой	Литоология	Мощность, м	Химический состав, %			
				KCl	NaCl	MgCl ₂	H ₂ O
			1,14	3,37	97,02	0,08	6,92
			0,24	4,13	84,5	0,12	5,34
Верхний сильвинитовый пласт	5		0,28	41,52	56,12	0,04	1,16
	4-5		0,473	8,56	78,94	0,16	2,69
	4		0,645	19,68	16,23	0,08	2,67
	3-4		0,20	7,77	87,80	0,08	2,71
3		0,32	11,29	19,66	1,02	63,84	
Средний глинисто-галитовый пласт	2-3		0,34	41,1	54,4	0,13	2,99
			0,665	6,99	84,55	0,15	5,69
			0,32	2,60	38,87	0,69	11,06
			0,515	3,37	80,27	0,24	11,46
	0,14	2,86	19,39	0,80	61,64		
	0,12	4,92	68,77	0,35	21,74		
Нижний сильвинитовый пласт	2		0,15	38,94	53,79	0,12	4,92
	1-2		0,235	1,47	90,73	0,07	6,04
	1		0,35	7,60	1,98	0,93	70,44
			0,63	44,91	49,93	0,08	3,60
			0,715	1,11	87,75	0,17	7,64

Рис. 1. Геологическое строение I калийного горизонта на шахтном поле 1 РУ

При этом практически сразу же при проведении вскрывающих выработок по породам I калийного горизонта столкнулись с внезапными разрушениями пород почвы, сопровождающимися газовыделениями [1-3]. При изучении этого явления было установлено, что оно имеет техногенную природу. Очаги газодинамических явлений сформировались вследствие неравномерной подработки I калийного горизонта горными работами на II и III калийных горизонтах. Помимо этого, в ходе исследования были установлены наиболее газоносные слои пород и зоны, опасные по газодинамическим явлениям из пород почвы горных выработок [2-4]. Так наиболее газоносными оказались глинистый слой в Среднем глинисто-галитовом пласте, мощный глинистый слой в Нижнем калийном пласте и глинистый слой в подстилающей каменной соли. Давления свободного газа в очагах ГДЯ, сформированных в этих слоях, было достаточно для развития газодинамического явления при расположении кровли подготовительных выработок даже на 0,2 м выше кровли 5-го сильвинитового слоя.

На данный момент запасы Верхнего калийного пласта отработаны, и на предприятии принято решение вовлекать в отработку запасы Нижнего калийного пласта. Для этого подготовительные горные выработки проходятся по Среднему глинисто-галитовому и Нижнему калийному пластам. Привязка кровли подготовительных выработок в слое 2-3. Междупластье между подготовительными выработками и газоносным глинистым прослоем в подстилающей каменной соли составило всего 1,3 м.

При этом выработки проводятся в породах как подработанных горными работами на II и III калийных горизонтах, так и надработанных горными работами на Верхнем калийном пласте. Следует заметить, что опережающая надработка пластов является эффективным региональным методом предотвращения ГДЯ [5, 6]. Однако горнотехническая ситуация, которая сложилась на I калийном горизонте при двойном техногенном воздействии (подработке Вторым и Третьим калийными пластами и надработке Верхним сильвинитовым пластом I калийного горизонта) до настоящего времени не имеет аналогов при отработке калийных пластов и вопрос газодинамической опасности пород почвы горных выработок остается открытым. Следует также отметить, что эффект надработки в слоистых соляных породах имеет свои специфические особенности, обусловленные практически нулевой газопроницаемостью соляных пород нормально к напластованию [7-12]. В связи с этим возникла необходимость дополнительных исследований газоносности и газодинамических характеристик пород почвы проводимых подготовительных горных выработок при подготовке к отработке Нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта.

Методика проведения исследований

Выработки северного направления пройдены в породах, надработанных лавой № 15 (рис. 2). Лава № 15 отработывала запасы верхнего сильвинитового слоя I калийного горизонта. Мощность междупластья составляет 1,2 м.

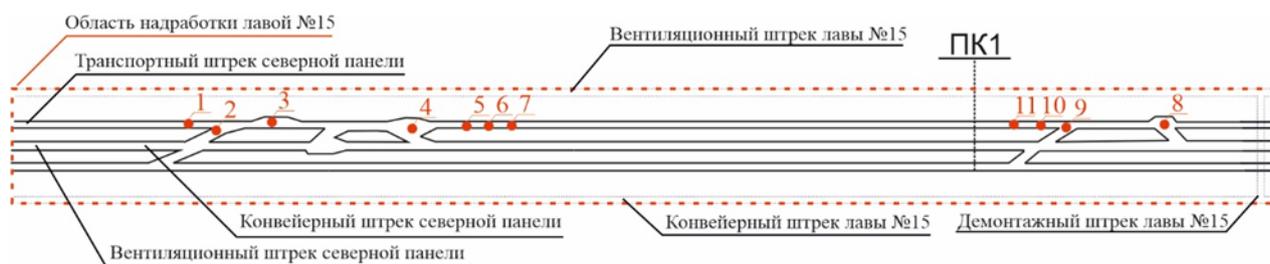


Рис. 2. Расположение исследовательских шпуров и скважин в транспортном штреке северного направления

Исследовательские шпур и скважины бурились в породы почвы транспортного штрека северной панели. Шпур и скважины № 1, 5, 6, 7, 10 и 11 пробурены в выработке шириной 3,0 м. Исследовательские скважины № 2, 3, 4, 8, 9, пробурены в выработке шириной от 4,5 м до 13 м с целью исследования влияния величины пролета выработки на возможность формирования приконтактных скоплений свободного газа в породах почвы.

Группа исследовательских шпуров и скважин № 1-7 бурилась практически по центру выработанного пространства лавы № 15 для исследования влияния надрабтки на газоносность и газодинамические характеристики надрабтанных пород почвы.

Группа шпуров и скважин № 8-11 бурилась вблизи границы зоны надрабтки горными работами на Верхнем сильвинитовом пласте и целика у демонтированного штрека лавы № 15 для исследования влияния на газоносность границ целик-лава. Таким образом, исследования проведены в различных горнотехнических условиях надрабтки. Всего было выполнено более 80 измерений.

Результаты исследований

Различные условия надрабтки не оказали существенного влияния на величину газоносности и газодинамических характеристик. Граница целик-лава не является более опасной по газодинамическим явлениям из пород почвы подготовительных горных выработок. Величина пролета выработки оказалась более значимым фактором, чем граница фронта остановки горных работ. Результаты исследований газоносности и газодинамических характеристик приведены в таблице.

Таблица

Результаты исследования газоносности и газодинамических характеристик пород почвы подготовительных выработок I калийного горизонта в условиях подрабки и надрабтки

Глубина скважины, м	Пролет 3,0 м			Пролет более 3,0 м		
	Газоносность, м ³ /м ³	Давление, МПа	Нач. ск. газовыделения, л/мин	Газоносность, м ³ /м ³	Давление, МПа	Нач. ск. газовыделения, л/мин
0,5-1,0	0,17	0,191	0,15	0,13	0,190	0,04
1,0-1,5	0,13	0,190	0,08	0,13	0,190	0,05
1,5-2,0	0,18	0,191	0,13	0,12	0,190	0,04
2,0-2,5	0,14	0,190	0,09	0,13	0,190	0,07
2,5-3,0	0,15	0,190	0,11	0,14	0,190	0,07
3,0-3,5	0,13	0,190	0,08	0,14	0,190	0,09
3,5-4,0	0,17	0,190	0,13	0,67	0,197	0,35
4,0-4,5	0,13	0,190	0,13	0,52	0,207	0,63
4,5-5,0	0,33	0,193	0,35	3,42	0,275	4,34

Следует отметить, что в скважине № 3 на глубине 4,5-5,0 м произошло интенсивное газовыделение, не позволившее провести исследование газоносности и газодинамических характеристик, в таблице приведены результаты без этих данных.

Как видно из таблицы, до глубины 3,5 м от почвы подготовительной горной выработки существенных значений газоносности и газодинамических характеристик не наблюдается вне зависимости от пролета выработки. По всей видимости, до 3,5 м наблюдается защитный эффект надработки.

При пролете выработки 3,0 м почти на всех глубинах исследований значения газоносности и газодинамических характеристик остаются фоновыми. Лишь на глубине 4,5-5,0 м отмечено некоторое, но не существенное увеличение показателей газоносности, давления свободного газа и начальной скорости газовыделения. В тоже время на сопряжениях выработок и в местах расширений, где пролет превышает 3,0 м, на глубине 3,5 м и более показатели газоносности и газодинамических характеристик существенные, достигающие максимальных значений на глубине 4,5-5,0 м. Видимо на этих глубинах эффект от надработки сказывается меньше и практически полностью нивелируется эффектом разгрузки и последующих расслоений по глинистым слоям и прослойкам пород почвы при проведении широких выработок (сопряжений и технологических расширений). В этом случае приконтактный свободный газ скапливается в раскрывшихся расслоениях под подготовительными выработками с пролетом более 3,0 м.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Газоносность и газодинамические характеристики верхней части пород почвы, включающей два слоя глины, ранее считавшихся опасными по газодинамическим явлениям из почвы подготовительных горных выработок, незначительны. По всей видимости, надработка лавами способствует расслоению пород и снижению давления свободного газа.
2. Максимальные значения газоносности и газодинамических характеристик характерны для контакта с глинистым слоем, залегающим в 5 м от почвы подготовительных горных выработок северной панели. По всей видимости, влияние надработки на этой глубине уже не сказывается.
3. Пролет выработки оказывает существенное влияние на газоносность и газодинамические характеристики пород почвы I калийного горизонта. В местах сопряжения двух выработок, камерах разворота создаются условия для миграции свободного газа по расслоившимся контактам к центру сопряжений выработок. При этом в камерах разворота, где пролет выработки составляет около 13 м, из исследовательских скважин наблюдались интенсивные газовыделения с начальной скоростью более 25 л/мин.
4. Надработка Верхним силвинитовым пластом I калийного горизонта Нижнего силвинитового пласта в целом оказывает защитное воздействие на породы почвы подготовительных горных выработок. Однако при этом в надработанных породах почвы горных выработок на сопряжениях, технологических расширениях и в камерах разворота в породах почвы на глубине 4,5 м и более формируются приконтактные скопления свободных газов, обусловленные миграцией свободных газов из окружающего массива в образующиеся расслоения по глинистым слоям и прослойкам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Береснев С.П., Сенюк В.В., Гончар В.И., Андрейко С.С., Литвиновская Н.А. Исследование механизма формирования опасных по газодинамическим явлениям зон в породах калийного горизонта // Горн. журн. – 2010. – № 8. – С.31-33.
2. 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.

3. Литвиновская Н.А. Определение параметров мелкошпурового и глубокого профилактического бурения дегазационных шпуров в почву подготовительных горных выработок I калийного горизонта Старобинского месторождения // Вестн. ПНИПУ: Геология, нефтегазовое и горное дело. – 2011. – № 1. – С. 128-135.
4. Литвиновская Н.А. Прогноз и предотвращение газодинамических явлений из почвы подготовительных горных выработок в условиях подработки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 4. – С. 180-185.
5. Петухов И.М., Линьков А.М., Сидоров В.С., Фельдман А.А. Теория защитных пластов. – М.: Недра, 1976. – 223 с. ил.
6. Южанин И.А., Коптиков В.П., Евдокимова В.П. Решение задач защитной разработки пластов методами математической статистики // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 1. – С. 332-335.
7. Некрасов С.В. Геомеханический анализ состояния пород почвы с газовым очагом в выработанном пространстве длинного очистного забоя / Некрасов С.В. // Проблемы комплексного мониторинга на месторождениях полезных ископаемых: сб. докл.: материалы науч. сес. ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2001 г. – Пермь, 2002. – С. 175-177.
8. Некрасов С.В. Трехмерный геомеханический анализ пород почвы длинного очистного забоя на основе непрямого метода граничных элементов // Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов: материалы междунар. конф. и науч. сес. ГИ УрО РАН. – Пермь, 2003. – С. 228-231.
9. Некрасов С.В. Математическое моделирование геомеханических процессов при наработке лавами выбросоопасного 12 глинисто-мергелистого горизонта в условиях Старобинского месторождения калийных солей / С.В. Некрасов // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы науч. сес. ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2003 г. – Пермь, 2004. – С. 266-269.
10. Андрейко С.С., Некрасов С.В. Математическое моделирование геомеханических процессов при слоевой отработке лавами в условиях Старобинского месторождения // Горное Эхо. – 2005. – № 1 (19). – С. 10-16.
11. Некрасов С.В. Геомеханическое обоснование механизма газодинамических разрушений пород почвы сопряжения лава-штрек в рудниках Старобинского месторождения / С.В. Некрасов // Проблемы рудничной аэрологии и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых: сб. докл. науч.-техн. конф., посвящ. 75-летию профессора И.И. Медведева / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2004. – С. 56-59.
12. Андрейко С.С., Некрасов С.В. Трехмерный геомеханический анализ условий развития газодинамических явлений из почвы сопряжения лава-штрек в рудниках Старобинского месторождения на основе непрямого метода граничных элементов // Геомеханика в горном деле: докл. междунар. конф. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2005. – С. 320-327.

УДК 622.363.2

DOI:10.7242/echo.2024.1.15

АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН С ПОВЕРХНОСТИ НА ВЕРХНЕКАМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Т.А. Лялина

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: в процессе выполненных работ проведён анализ геологических условий газопроявлений при бурении геологоразведочных скважин на Верхнекамском месторождении, проведена оценка содержания KCl и $MgCl_2$ для каждого зафиксированного газовыделения по каждому пласту. Большинство газовыделений, а именно 381 из 410, произошли из пластов сильвинито-карналлитовой зоны смешанного состава. Так, 351 газовыделение произошло при $0,78 \leq KCl/MgCl_2 \leq 1,3$ и 30 при $1,38 \leq KCl/MgCl_2 \leq 4$. Остальные 29 произошли для $KCl/MgCl_2 \geq 7,8$. Для сильвинитовой зоны газовыделения наблюдались в пласте Б смешанного и сильвинитового составов для $KCl/MgCl_2 \geq 0,7$. Была построена гистограмма распределения количества газовыделений из поверхностных скважин в зависимости от отношения $KCl/MgCl_2$ для сильвинито-карналлитовой зоны пластов смешанного состава. Количество газовыделений