

Б.А. Борзаковский, В.Н. Аптуков, Л.О. Тенисон

О ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ НОВЫХ ПРОВАЛОВ НА ЗАТОПЛЕННОМ РУДНИКЕ БКПРУ-1*

На калийных рудниках ОАО «Уралкалий» произошли четыре провала: один на БКПРУ-3 и три на БКПРУ-1. По оценке максимальный объем карстовой полости в соляных породах на руднике БКПРУ-3 1,1 тыс./м³, максимальный на руднике БКПРУ-1 (провал № 3) 515 тыс./м³. Форма карстовых полостей и провалов – неправильные усеченные конусы. Диаметры меньших оснований конусов 32–60 м. Провалы на БКПРУ-3 и № 1 на БКПРУ-1 образовались из-за прорыва вод в рудник, а провалы № 2 и № 3 на БКПРУ-1 спустя 2–3 года после полного затопления рудника. Представлен анализ двух версий образования провалов № 2 и № 3. По одной из них провалы образовались из-за выщелачивания MgCl₂ из обрушившихся слоев в свиты карналлитовых пластов, мощность которых 30–35 м. При выщелачивании образуются пустоты, объем которых составляет около 43% от руды. Расчет баланса объема пустот, в которые кроме пустот выщелачивания входит объем камер в контуре провала и объем от растворения солей при затоплении, показал, что этот объем значительно меньше объема нерастворимых пород провала и объема обрушившихся солей. Из этого следует, что при выщелачивании MgCl₂ из карналлита возможно только образование мульды. Вторая версия заключается в том, что кроме выщелачивания карналлита в период затопления рудника в районе провалов № 1 и № 3 произошло нарушение сплошности водозащитной толщи, и поступающая пресная вода растворила каменную соль. Анализ горнотехнических условий и расчеты устойчивости целиков и потолочин показали, что произошло нарушение сплошности. Расчеты растворимости солей и притока пресных вод подтвердили, что времени для поступления необходимого объема пресных вод и растворения солей вполне достаточно в период от нарушения сплошности водозащитной тощи до затопления рудника. По результатам исследований установлено, что на участках затопленного рудника БКПРУ-1, где наблюдаются ускоренные оседания, провалы, вызванные выщелачиванием MgCl₂, не ожидаются. Однако конечные оседания могут превысить 14 м.

Ключевые слова: провал, карстовая полость, растворение, выщелачивание, породы солевые, нерастворимые, затопление рудника, устойчивость целиков, устойчивость кровли.

В октябре 2006 г. на руднике Первого Березниковского калийного производственного рудоуправления (БКПРУ-1) произошел прорыв воды, и началось затопление рудника. Рудник полностью затопило в декабре 2008 г. При затоплении рудника в июле 2007 г. образовался провал № 1. Затем через 2 года образовался провал № 2, а спустя год провал

№ 3. Образованию провалов № 2 и № 3 предшествовали ускоренные оседания земной поверхности.

На руднике отрабатывалось три пласта: верхний карналлитовый пласт В и нижние сильвинитовые пласты АБ и КрII. В местах, где пласт В замещен сильвинитом Вс, отрабатывались пласты АБ и Вс. На значительной площади шахтного поля находятся: жилая

* Работа выполнена по гранту, представленному институтом ОАО «Галургия».

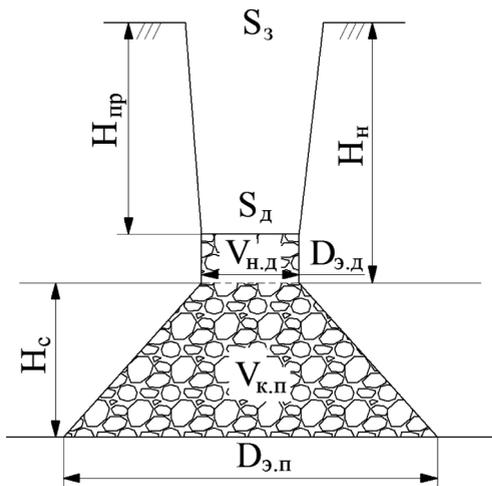


Рис. 1. Расчетная схема для определения объема провала и карстовой полости

застройка, промышленные здания и сооружения.

После затопления на шахтном поле появилось несколько зон с ускоренными оседаниями. Эти зоны находятся в местах, где отрабатывались пласты АБ, В и Вс. Над этими зонами находится также жилая застройка и промышленные объекты. В этой ситуации возникает вопрос о возможности появления новых провалов на шахтном поле рудника БКПРУ-1 и необходимость в этой связи разработки мероприятий о минимализации последствий, связанных с образованием провалов.

Известно, что провал образуется в том случае, если объем образовавшейся карстовой полости больше объема разрыхленных пород в его контуре, а свод провала неустойчив под давлением налегающих пород.

Для решения вопроса о возможности возникновения новых провалов на руднике БКПРУ-1 произведен анализ параметров образовавшихся провалов и карстовых полостей. Расчетная схема провала и карстовой полости на момент образования провала приведена на рис. 1.

В общем случае провал и карстовая полость представляет собой два усеченных неправильных конуса, соединенных неправильным цилиндром. После образования провала удается определить только сечение провала на уровне земной поверхности, ввиду постоянного обрушения его кромки. При стабилизации процесса обрушения провала № 2 и № 3 на БКПРУ-1 удалось определить контуры дна провала и его сечения. Для остальных провалов сечение дна провала принято приближенным.

Объем карстовой полости, м³:

$$V_{к.п.} = (V_{пр} + V_{н.д} \cdot (k_p - 1)) \cdot k_p, \quad (1)$$

где $V_{пр}$ – объем нерастворимых пород в целике, м³; $V_{н.д.}$ – объем нерастворимых пород в донной части провала, м³; k_p – коэффициент разрыхления пород донной части провала.

$$V_{пр} = H_{пр} \cdot (S_з + S_д + \sqrt{S_з \cdot S_д}) \cdot 3^{-1}, \quad (2)$$

где $S_з$, $S_д$ – площадь сечения провала соответственно на уровне земной поверхности и дна, м²; $H_{пр}$ – глубина провала, м.

$$V_{н.д.} = S_д \cdot (H_н - H_с), \quad (3)$$

где $H_н$, $H_с$ – толщина слоя соответственно нерастворимых и соляных пород, м.

Данные о провалах приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что провал образуется при наличии карстовой полости объемом не менее 500 тыс. м³. Эквивалентный диаметр свода карстовой полости около 32–60 м.

Следует отметить, что карстовые полости под провалом на БКПРУ-3 и провалом № 1 на БКПРУ-1 образовались при растворении солей во время затопления рудников, а карстовые полости под провалами № 2 и № 3 на БКПРУ-1 после затопления рудника и, следовательно, процесс их образования иной. Ниже рассмотрены две

Таблица 1

Параметры провалов

Параметр	Провал			
	БКПРУ-3	БКПРУ-1 № 1	БКПРУ-1 № 2'	БКПРУ-1 № 3''
Отметки земной поверхности, м	170	112	112	112
Отметки верха соляной залежи, м	-126	-50	-25	-25
Отметки пласта Кр II, м	-244	-162	-135	-135
Площадь сечения на земной поверхности, м ²	3340	2908	6240	11 530
Площадь сечения дна провала, м ²	3370	2908	2860	805
Глубина провала, м	130	90	97	100
Мощность соляной залежи, м	118	129	110	110
Объем нерастворимых пород в целике, м ³	988 640	420 500	544 000	378
Объем карстовой полости, м ³	1 150 320	535 050	649 000	515 000
Эквивалентный диаметр дна провала, м	65,2	60,8	60	32
Эквивалентный диаметр нижнего основания карстовой полости, м	152	83	–	–
Угол обрушения карстовой полости, град	70	85	–	45–82
* по состоянию на май 2011 года ** по состоянию на сентябрь 2012 года				

версии образования карстовых полостей.

По одной из них карстовая полость образовалась в основном в результате выщелачивания $MgCl_2$ из карналлитовой руды, свита пластов которой общей мощностью 35 м залегают выше сильвинитовых пластов. Ввиду того, что карстовая полость образовалась после затопления рудника, то согласно этой версии дополнительного растворения солей $NaCl$ и KCl , кроме происшедшего во время затопления, не происходит. Выщелачивание $MgCl_2$ из карналлитовой руды производится раствором $NaCl+KCl$. При выщелачивании эти соли замешаются $MgCl_2$, соли $NaCl$ и KCl остаются, и кроме этого из раствора часть $NaCl$ и KCl выпадает в осадок. Расчеты показывают, что при среднем содержании в руде 23% $MgCl_2$ для выщелачивания 1 м³ карналлитовой руды требуется 0,693 л воды, при этом образуется 0,438 м³ пустоты

и 0,562 м³ солей $NaCl$ и KCl или 1 м³ насыщенного раствора $NaCl+KCl$ производит выщелачивание 1,25 м³ карналлита.

Выпавшие соли находятся в разрыхленном состоянии, поэтому их объем составляет 0,787 м³, а объем пустоты от выщелачивания для размещения обрушенных пород составит 0,213 м³. В объем карстовой полости также входят объемы пустот от добычи руды и объем образованный от растворения солей $NaCl$ и KCl при затоплении рудника.

Так как пласты карналлитовой руды разделяются пластами каменной соли, а сверху расположена покровная каменная соль, то часть объема карстовой полости до образования провала заполняется породами, оставшимися после выщелачивания $MgCl_2$, и обрушенной каменной солью.

В качестве примера проведен расчет баланса объемов карстовой поло-

Таблица 2

Объемы карстовой полости и обрушенных пород

Диаметры, м		Объем полости, тыс. м ³			Объем разрыхленных пород, тыс. м ³			Баланс	
свода	нижнего основания	общий	от добычных работ и растворения	от выщелачивания	общий	солевых	нерастворимых	тыс. м ³	%
Угол обрушения 55, град									
50	201,2	1499	63	171	2089	1440	649	-590	-0,91
60	211,2	1721	70	193	2319	1670	649	-598	-0,92
70	221,2	1959	77	215	2567	1918	649	-608	-0,94
Угол обрушения 45, град									
50	266	2447	110	290	2957	2308	649	-510	-0,78
60	276	2723	119	317	3240	2591	649	-517	-0,80
70	286	3017	128	346		2893	649	-525	0,81
Угол обрушения 40, град									
50	307,4	3176	147	381	3624	2975	649	-448	0,69
60	317,4	3488	157	412	3942	3293	649	-454	0,70
70	327,4	3816	167	44	4280	3631	649	-464	0,71

сти и обрушивших пород для провала № 2 рудника БКПРУ-1.

Расчет проведен для нескольких вариантов форм карстовой полости, отличающихся диаметром верхнего свода полости и углом обрушения пород. Во всех вариантах объем провала и, следовательно, объем нерастворимых пород в карстовой полости примем одинаковым. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что в пределах контура карстовой полости объемов пустот от выщелачивания карналлита, добычных работ и выщелачивания целиков при затоплении рудника недостаточно для размещения нерастворимых пород кровли и обрушившихся солей.

Дефицит объема по отношению к объему разрыхленных нерастворимых пород составляет 90% при угле обру-

шения 55 градусов и 69% при угле обрушения 40 градусов.

Из этого следует, что вероятность возникновения провала в затопленном руднике БКПРУ-1 при условии образования дополнительных пустот только от выщелачивания $MgCl_2$ из карналлитовой руды мала, а возможно образование мульды.

По второй версии карстовая полость под провалами № 2 и № 3 образовалась в результате выщелачивания карналлита и поступления пресных вод в этом районе во время затопления рудника через провал № 1.

Проведена оценка возможности этой версии как по условиям нарушения сплошности ВЗГ, так и необходимого объема пресной воды и растворения солей в указанный период.

Горнотехнические условия в районе провалов № 2 и № 3 следующие.

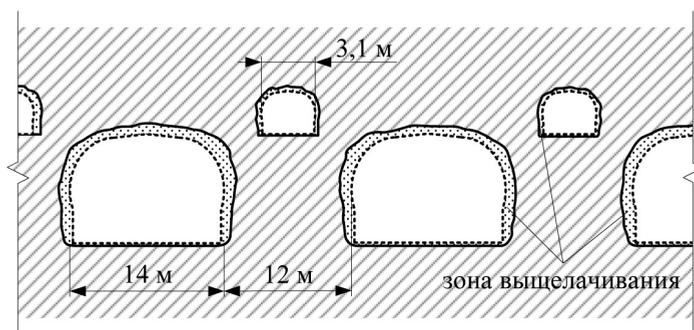


Рис. 2. Схема выщелачивания камер

В 1958–1990 гг. отработаны сильвинитовые пласты АБ+Вс и АБ, ширина камер 14 м, целиков 12 м, высота камер АБ+Вс 10 м. По методике [1] определено начало перехода деформации целиков в активную стадию, это ожидается в 2014 г.

Для производства закладки камер в некоторых целиках на уровне кровли были проведены разрезные выработки, из-за чего в верхней части ширина целиков уменьшалась с 12 м до 4,5 м. При затоплении этого района, которое произошло в январе 2008 г., ширина целиков уменьшилась примерно на 1 м и составила соответственно 11 и 3,5 м (рис. 2).

Расчеты устойчивости, проведенные по методике [1], показали, что целики шириной 3,5 м через 85–90 суток разрушаются, образуется широкий пролет, нагрузка на целики у края пролета увеличивается, эти целики разрушаются, образуется еще больший пролет, высота свода обрушения увеличивается. Ввиду того, что выше пласта Вс расположена свита карналлитовых пластов, прочность которых в 1,5–2 раза меньше прочности каменной соли, процесс сводообразования протекает интенсивно и достигает покровной каменной соли (ПКС).

Интенсивному сводообразованию способствует и то обстоятельство, что обрушенные породы состоят в основном из карналлита, из которого выще-

лачивается $MgCl_2$, образуя пустоту, что исключает подпор свода обрушенными породами.

Расчет ПКС, толщина которой 15–20 м, на изгиб под давлением столба налегающих пород показывает, что при пролете свода 50–60 м происходит разрушение ПКС по контуру свода. Время разрушения ПКС от момента затопления выработок около 150 суток.

После разрушения ПКС поступающие пресные воды растворяют каменную соль и сильвинит, содержащийся в карналлите, и $MgCl_2$, который мог остаться после его выщелачивания раствором $NaCl+KCl$.

Приток пресной воды, необходимый для образования карстовых полостей за счет растворения каменной соли, тыс. м³:

$$V_B = \frac{k_V \cdot \Sigma V_{к.п.} \cdot \rho_c}{\beta_c}, \quad (4)$$

где k_V – коэффициент объема карстовой полости от растворения каменной соли; $\Sigma V_{к.п.}$ – общий объем карстовых полостей провалов № 2 и № 3, м³; ρ_c – плотность каменной соли, т/м³; β_c – масса каменной соли растворенной в 1 м³ воды, т/м³.

При $k_V = 0,91$ (см. табл. 2), $\Sigma V_{к.п.} = 1164$ тыс. м³ (см. табл. 1), $\rho_c = 2,16$ и $\beta_c = 0,35$ т/м³ [2]; $V_B = 6542$ тыс. м³.

Возможное время притока пресной воды в район провалов № 2 и № 3 определено по датам начала по-

ступления пресных вод (июнь 2008 г.) и окончания затопления рудника (декабрь 2008 г.), что составляет 170–180 суток.

Полагая, что приток в этом районе такой же, как и в начальный период в районе провала № 1, то за это время в рудник может поступить около 9500 тыс. м³ воды, что в 1,4 раза меньше необходимого. Таким образом, в район провалов № 2 и № 3 до затопления рудника возможно поступление воды в объемах, необходимых для образования карстовых полостей.

Определим время, необходимое для растворения такой массы солей. Время определено с учетом того, что происходило растворение кусков каменной соли.

Средний размер кусков, при которых произойдет их полное растворение за период поступления пресных вод, находим следующим образом. По известной скорости растворимости находим площадь кусков соли, с которыми контактирует вода, м²:

$$S = \frac{M}{k_p \cdot (\beta_n - \beta_{ис}) \cdot T \cdot 24}, \quad (5)$$

где M – масса растворенной соли, т; k_p – коэффициент скорости растворения; $\beta_n, \beta_{ис}$ – содержание солей соответственно в насыщенном и исходном растворе, т/м³; T – количество суток.

Принимая форму кусков соли в виде куба, получим длину его ребра, м:

$$a = 6 \cdot \frac{V}{S}, \quad (6)$$

где V – общий объем кусков, м³.

Откуда:

$$a = \frac{6 \cdot V \cdot k_p \cdot (\beta_n - \beta_{ис}) \cdot T \cdot 24}{M}, \text{ м}$$

Подставляя значения $M = V \cdot \rho_c$, где ρ_c – плотность каменной соли:

$$a = 6 \cdot k_p \cdot (\beta_n - \beta_{ис}) \cdot T \cdot 24 \cdot \rho_c^{-1}, \text{ м} \quad (7)$$

Значение a определим считая, что растворение производится в растворе, со степенью насыщения около 50%, при $k_p = 0,03$ [3]; $\beta_n = 0,32$ т/м³; $\beta_{ис} = 0,16$ т/м³; $= 180$ суток; $a = 57,6$ м.

В действительности куски обрушенной соли значительно меньше, поэтому времени на растворение соли от момента нарушения сплошности ВЗТ до окончания затопления рудника достаточно.

По мере растворения солей в карстовую полость постепенно обрушались нерастворимые породы.

Рассмотрены две схемы возможного их разрушения: в результате изгиба или сдвига по цилиндрической поверхности.

На основании данных испытаний образцов из скважины № 5310, расположенной вблизи провала № 2, были сформированы обобщенные слои, близкие по номенклатуре и прочности (рис. 3, пунктиром показаны начальные значения влажности пород, %).

Оценка времени устойчивого состояния верхних нерастворимых слоев проведена на основе методики [1] для изгиба слоев под действием собственного веса без пригрузки. Отметим сильную зависимость времени устойчивого состояния от ширины предполагаемого пролета: для $a = 55$ м, $T = 765$ суток; для $a = 50$ м, $T = 75$ суток.

Как и для случая изгиба, оценка прочности при сдвиге проведена с учетом влияния влажности на уменьшение прочности мергеля [4]. Показано, что потеря устойчивости и разрушение по цилиндрической поверхности вышележащих нерастворимых пород может произойти только при достижении ими достаточной влажности. В этом варианте начало образования трещин сдвига происходит от границы слоя-моста, постепенно развиваясь вверх, вплоть до земной поверхности.

Проведем оценку оседаний от вышелачивания карналлитовых пластов.

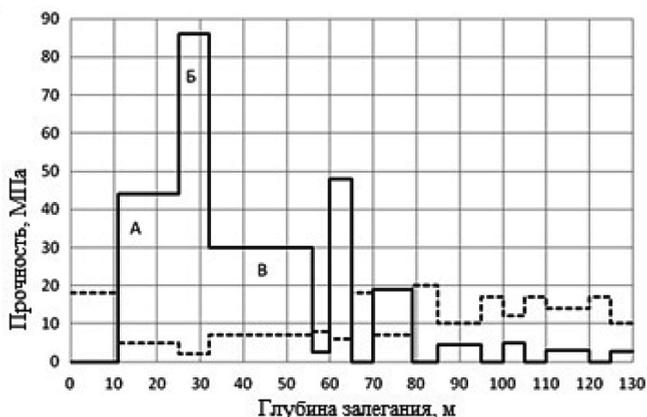


Рис. 3. Прочность нерастворимых пород по глубине провала № 2 на руднике БКПРУ-1 (А – известняк глинистый средней прочности; Б – известняк глинистый прочный; В – известняк средней прочности)

Максимальные конечные оседания посередине провала составят:

$$\eta = 0,9 \cdot \Sigma m_k \cdot (1 - A_k + A_k \cdot B), \text{ м} \quad (8)$$

где Σm_k – суммарная мощность свиты карналлитовых пластов, м; A_k – степень заполнения пространства солями после выщелачивания; B – коэффициент усадки.

При $\Sigma m_k = 35$ м; $A_k = 0,787$; $B = 0,3$; $\eta = 14,1$ м.

Следует отметить, что время процесса оседаний, вызванных выщелачиванием карналлита на различных участках шахтного поля, будет зависеть от следующего. Объем выщелачивания ограничен объемом раствора, в котором происходит контактирование карналлита с раствором. Выше сказано, что 1 м³ раствора NaCl+KCl может произвести выщелачивание 1,25 м³ карналлита. Дальнейшее выщелачивание возможно в том случае, если образованный раствор, насыщенный MgCl₂, вытечет под действием гравитации и заменится раствором NaCl+KCl. Замещение растворов происходит через слой солей, остающихся после выщелачивания MgCl₂. Скорость замещения определяется коэффициентом фильтрации массива солей. Вначале выщелачива-

ние уменьшает ширину целиков, что вызывает ускорение оседаний. Через некоторое время под весом обрушившихся пород и воздействием горного давления соли сжимаются, коэффициент фильтрации уменьшается, скорость оседаний уменьшается.

Так на шахтном поле рудника БКПРУ-1 в местах, где отработан карналлит или произошло обрушение кровли с обнажением карналлита, отмечаются различные величины оседаний и их скорости. Например, между провалом № 2 и № 3 оседания достигают 7,5 м, скорость оседаний 170 мм/мес. Над горными работами на панелях ПП1 и ПП3 оседания 4,1 и 3,94 м, скорость оседаний 75 и 150 мм/мес. На 11 восточной панели оседания 3,7 м, скорость оседаний 30–40 мм/мес.

Следует отметить, что приведенные выше значения оседаний многократно превышают расчетные конечные оседания от добычных работ.

Выводы

1. Анализ параметров карстовых полостей показал, что минимальный объем карстовой полости, при которой происходит провал, составляет 515 тыс. м³, а минимальный диаметр провала 32 м.

2. Анализ горнотехнических условий в районе провалов № 2 и № 3 на руднике БКПРУ-1, расчеты устойчивости целиков в районе этих провалов, расчеты возникновения притока пресной воды и растворения солей показали, что образованию провалов предшествовало нарушение сплошности водозащитной толщи в этом районе,

произошедшее за год до окончания затопления рудника.

3. На участках затопленного рудника БКПРУ-1, где наблюдаются ускоренные оседания, провалы, вызванные выщелачиванием $MgCl_2$, не ожидаются, однако конечные оседания могут составить несколько больше 14 м.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Борзаковский Борис Александрович¹ – кандидат технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: Rusakov.Mihail@gallurgy.ru,
Аптуков Валерий Нагимович¹ – доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: Aptukov.Valery@gallurgy.ru,
Тенисон Людмила Олеговна – кандидат технических наук, зав. лабораторией, ОАО «Галургия», Березниковский филиал, 618400, Пермский край, г. Березники, e-mail: Tenison.Lyudmila@gallurgy.ru,
¹ ОАО «Галургия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по расчету устойчивых пролетов очистных выработок на калийных месторождениях. ВНИИГ. – Л., 1982.

2. Физико-химические свойства галургических растворов и солей: справ. ОАО «ВНИИГ». – СПб: Химия, 1997.

3. Фурман А.А., Бельды М.П., Соколов И.А. Поваренная соль. Производство

и применение в химической промышленности. – М.: Химия, 1989.

4. Ломакин И.С., Евсеев А.В. Экспериментальное и численное исследование влияния подстилающего слоя мергеля на несущую способность междукамерных целиков // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2010. – Вып. 2 – С. 143–151. **ГИАБ**

UDC 622.831

ON POSSIBILITY OF NEW SINK HOLES IN THE FLOODED MINE BEREZNIKI 1

Borzakovskiy B.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher, e-mail: Rusakov.Mihail@gallurgy.ru,
Aptukov V.N.¹, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, e-mail: Aptukov.Valery@gallurgy.ru,
Tenison L.O., Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory, e-mail: Tenison.Lyudmila@gallurgy.ru,
«Galurgia» OJSC, Berezniki branch, 618400, Perm krai, Berezniki, Russia,
¹ «Galurgia» OJSC, 614002, Perm, Russia.

Four sink holes occurred in potash mines of «Uralkali» OJSC: one in Berezniki 3 and three in Berezniki 1. Estimated maximum volume of cavern in salt rocks in Berezniki 3 mine is 1.1 thous./m³, in Berezniki 1 mine (sink hole № 3) – 515 thous./m³. Shape of the caverns and sink holes – irregularly truncated cones. Diameters of smaller cone bases are 32–60 m. Sink holes in Berezniki 3 and № 1 in Berezniki 1 arose due to flooding the mine, and sink holes № 2 and № 3 in Berezniki 1 arose 2–3 years after full flood of the mine.

The article presents an analysis of two versions for arising the sink holes № 2 and № 3. According to one of them the sink holes arose due to $MgCl_2$ leaching from fallen layers into carnallite seams strata, thickness of which accounts for 30–35 m. By leaching voids are formed, volume of which makes up to about 43% of ore.

Estimation of voids volume balance, which except for leaching voids include chambers volume in sink hole contour and volume of salt solution by flooding, has shown that this volume is much less than the volume of insoluble rocks of the sink hole and the volume of the fallen salts. It follows that by leaching $MgCl_2$ of carnallite only downfold formation is possible.

The second version consists in that except for carnallite leaching during the mine flood in the area of the sink holes № 1 and № 3 discontinuity of water proof formation occurred, and flowing fresh water solved rock salt. Analysis of mining and technical conditions and estimations of pillar and cap pillar stability have shown that discontinuity occurred. Estimations of salt solubility and fresh water flow have confirmed that it is quite enough time for inflow of necessary volume of fresh water and salt solution in the period since discontinuity of water proof formation till the mine flood.

By the study results it has been specified that the sink holes caused by $MgCl_2$ leaching are not expected in the sites of the flooded mine Berezniki 1 where fast subsidence is observable. Although final subsidence can exceed 14 metres.

Key words: sink hole, cavern, solution, leaching, salt rocks, insoluble, mine flooding, pillar stability, roof stability.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was supported by the Galurgy Institute.

REFERENCES

1. *Rekomendatsii po raschetu ustoychivyykh proletov ochistnykh vyrabotok na kaliynykh mestorozhdeniyakh*. VNIIG (Recommendations on estimation of sustainable spans of stopes in potash deposits. VNIIG), Leningrad, 1982.
2. *Fiziko-khimicheskie svoystva galurgicheskikh rastvorov i soley: spravochnik* (Physical and chemical properties of chemical solutions and salts: guide), Saint-Petersburg, Khimiya, 1997.
3. Furman A.A., Bel'dy M.P., Sokolov I.A. *Povarennaya sol'*. *Proizvodstvo i primeneniye v khimicheskoy promyshlennosti* (Sodium chloride. Production and application in chemical industry), Moscow, Khimiya, 1989.
4. Lomakin I.S., Evseev A.V. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*. 2010, issue 2, pp. 143–151.



РИСУЕТ НАТАЛЬЯ МОЙСЕЕВА



Зачем этому Льву образование? Ему нужно что-нибудь посушественнее