

УДК 622.251

*д.т.н. Полозов Ю. А.,
к.т.н., д.э.н. Бизянов Е. Е.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, uarolozov@mail.ru),
Лазебник А. Ю.
(АФГТ ЛНУ им. В. Даля, г. Антрацит, ЛНР)*

ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННОЙ КАТАСТРОФЫ В РАЙОНЕ ПРОВАЛА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА КАЛИЙНОМ РУДНИКЕ

В статье приведен опыт проектирования защитных мероприятий по локализации техногенной катастрофы на калийном руднике Второго соликамского рудоуправления (СКРУ-2) ПАО «Уралкалий», связанных с разрушением межкамерных целиков, вызвавшим проседание земной поверхности и образование провальной воронки. Даны научно обоснованные технические решения по стабилизации грунтов и проницаемых горных пород путем формирования противодиффузионной завесы вокруг зоны проседания и провала земной поверхности с целью обеспечения безопасной работы калийного рудника и снижения притоков ненасыщенных рассолов и пресных вод к подземным выработкам.

Ключевые слова: *провалы и проседания земной поверхности, стабилизация горного массива, противодиффузионная завеса, тампонажные скважины, глиноцементный раствор.*

Калийный рудник № 2 (СКРУ-2) ПАО «Уралкалий» в г. Соликамске Пермской области является одним из ведущих мировых производителей и экспортеров хлористого калия для производства калийных удобрений. Поэтому безаварийная работа рудника имеет большое социально-экономическое значение для региона.

При отработке северо-восточных панелей СВП-1 и СВП-2 горизонта –143 м 05 января 1995 г. произошло массовое разрушение междукамерных целиков, сопровождавшееся землетрясением. На площади 950×750 м были раздавлены поддерживающие целики, а на земной поверхности образовалась мульда оседания глубиной от 1,5 м до 4,5 м. Водозащитная толща была нарушена. Приток ненасыщенных рассолов составлял 130 м³/час. Образование мульды было вызвано сдвижением горных пород в результате обрушения соляных пород в кровле очистных камер I–II СВП (пласт АБ, гор. –143) (рис. 1).

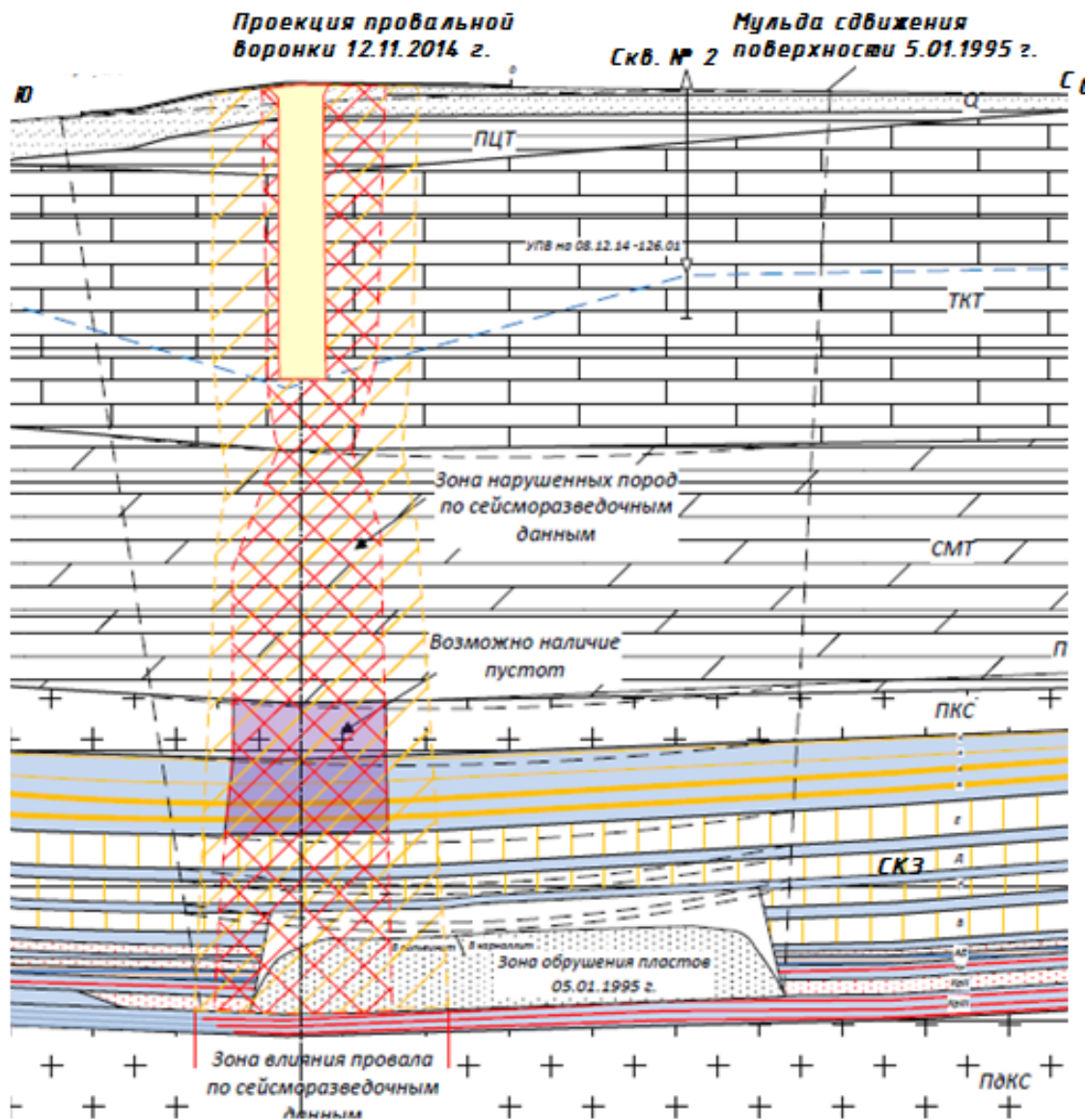
В сентябре 2014 г. зафиксировано новое проявление сейсмической активности на уровне продуктивных пластов в районе

мульдообразования. 18 ноября 2014 г. на дневной поверхности образовалась провальная воронка в районе юго-восточного контура зоны обрушения горных пород кровли вышеуказанных панелей глубиной 71,8 м и объемом свыше 135000 м³. Размеры провала: на уровне земной поверхности — 54–83 м, в коренных породах — 25×54 м.

В этих крайне сложных горно-геологических условиях повысить надежность защиты горных работ на горизонтах продуктивной толщи от поступления пресных подземных вод возможно при выполнении следующих мероприятий:

- создание искусственной водонепроницаемой преграды в виде противодиффузионной завесы вокруг аварийного участка, исключающей приток пресных вод из терригенно-карбонатной толщи в зону обрушения продуктивных пластов нижележащей соленосной толщи;

- понижение уровня подземных вод вокруг аварийного участка с помощью специальных водопонижающих и дренирующих систем (дренажные скважины, горные выработки).



ПЦТ — пестроцветная толща; ТКТ — терригенно-карбонатная толща;
 СМТ — соляно-мергельная толща; ПКС — покрывные пласты каменной соли;
 СКЗ — сальвинито-карналитовая зона (пласты К, И, З, Ж, Е, Д, Г)

Рисунок 1 Схема мульдообразования на поверхности земли и провальная воронка над зоной отработанных северо-восточных панелей №№ СВП-1 и СВП-2 горизонта –143 м

В связи с этим целью настоящей работы явилась разработка технических решений по сооружению противофильтрационной завесы вокруг провала.

Объект исследования — горные выработки и массив калийного рудника СКРУ-2.

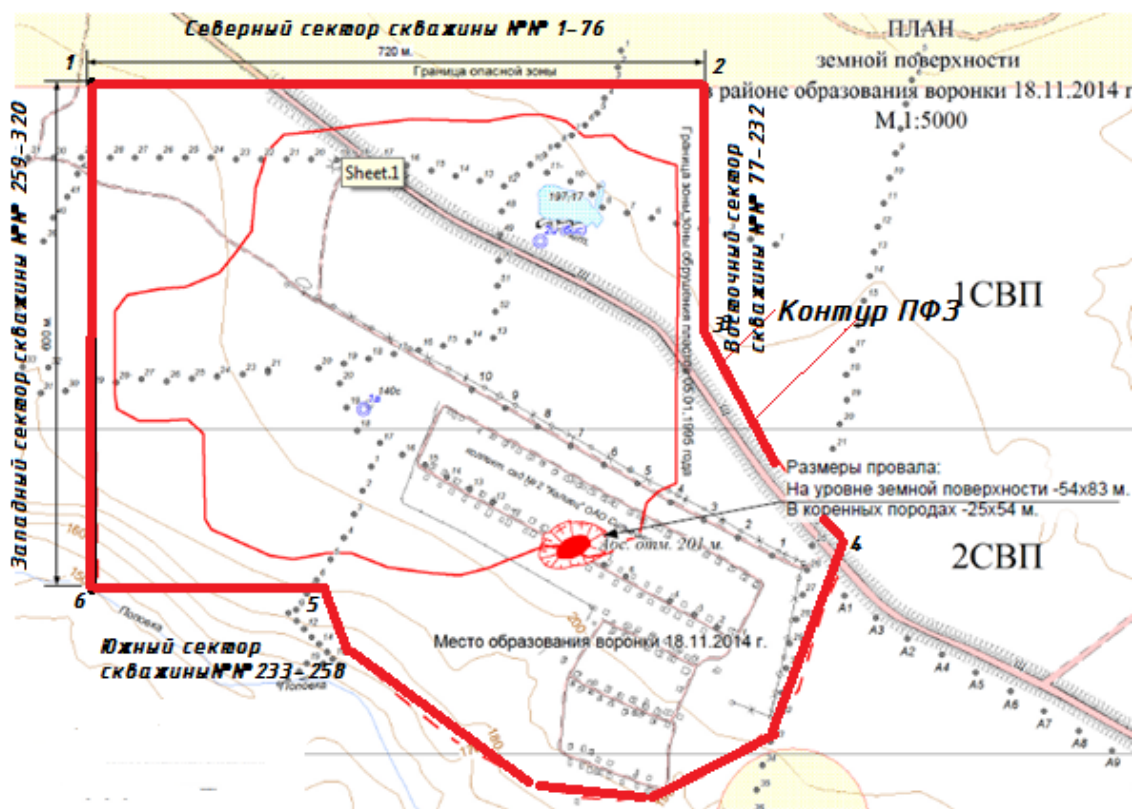
Предмет исследования — ликвидация провала и стабилизация грунтов в зоне сдвига пород.

Задача исследования: на основании анализа горно-геологических и гидрогеологических условий Соликамского месторождения калийных солей, в т. ч. аварийного участка обрушения пластов северо-восточной панели СВП-1 и СВП-2 горизонта –143 м шахтного поля СКРУ-2, основная задача заключается в снижении объемов поступления слабоминерализованных и пресных вод в

подземные горные выработки продуктивной толщи в зоне нарушенных пород в месте образования провала на поле СКРУ-2, что может быть достигнуто сооружением противофильтрационной завесы в водоносных трещиноватых породах терригенно-карбонатной толщи на глубину контакта с породами соляно-мергельной толщи.

Постановку замкнутой противофильтрационной завесы (ПФЗ) глубиной

150–170 м и общей протяженностью порядка 3150–3200 м, как показано на рисунке 2, и располагаемой по контуру границы опасной зоны можно осуществить путем нагнетания глиноцементных растворов через пробуренные тампонажные скважины в потенциально опасные водопроницаемые горизонты терригенно-карбонатной толщи (ТКТ) и в зону контакта ТКТ и соляно-мергельной толщи (СМТ).



1–2 — Северный сектор ПФЗ; 2–3–4 — Восточный сектор ПФЗ;
4–5 — Южный радиальный сектор ПФЗ; 5–6 — Южный горизонтальный сектор ПФЗ;
6–1 — Западный сектор ПФЗ

Рисунок 2 План земной поверхности в районе опасной зоны сдвижения горных пород и противофильтрационной завесы вокруг нее

Исходными предпосылками выбора местоположения противофильтрационной завесы (ПФЗ) являются:

– наличие зоны оседания поверхности земли и сдвижения породы в результате обрушения пластов 05 января 1995 г. района северо-восточных панелей №№ СВП-1 и СВП-2 горизонта –143 м.;

– наличие провала земли с образованием воронки 18 ноября 2014 г. на границе зоны обрушения пластов 05 января 1995 г.;

– установление 300-метровой зоны полного запрета доступа вокруг контура провала с южной и юго-восточной сторон и вокруг зоны обрушения пластов 05 января 1995 г. с северной, восточной и западной сторон;

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

– наличие кольца водопонижающих скважин, расположенных по периметру опасной зоны вокруг провала, образовавшегося 18 ноября 2014 г.

Учитывая вышеперечисленные факторы, противодиффузионную завесу предусматривается разместить с внешнего контура за границами опасной зоны на удалении 10 м от нее. При этом тампонажные скважины должны находиться внутри кольца водопонижающих скважин, как показано на рисунке 3. При производстве тампонажных работ и до их окончания сохраняется вся система водопонижения с водопонижающими скважинами.

Замкнутую противодиффузионную завесу предусматривается расположить по всему периметру опасной зоны, имеющему протяженность порядка 3150 м. Расстояние от тампонажных скважин до границы опасной зоны принимаем равным не

менее 10 м, что должно быть достаточным для размещения бурового оборудования. Тампонажное оборудование может быть размещено на более удаленном расстоянии от запретной зоны. Учитывая большую протяженность проектируемой ПФЗ, для удобства пользования она разделена на следующие участки или сектора:

1) северный сектор между точками 1–2, имеет протяженность 760 м;

2) восточный сектор между точками 2–3–4 протяженностью 560 м;

3) южный радиальный сектор между точками 4–5, расположен по радиусу 300-метровой опасной зоны вокруг провала, имеет протяженность 1000 м;

4) южный горизонтальный сектор между точками 5–6 вблизи речки Поповки и имеет протяженность 260 м;

5) западный сектор между точками 6–1 имеет протяженность 620 м.

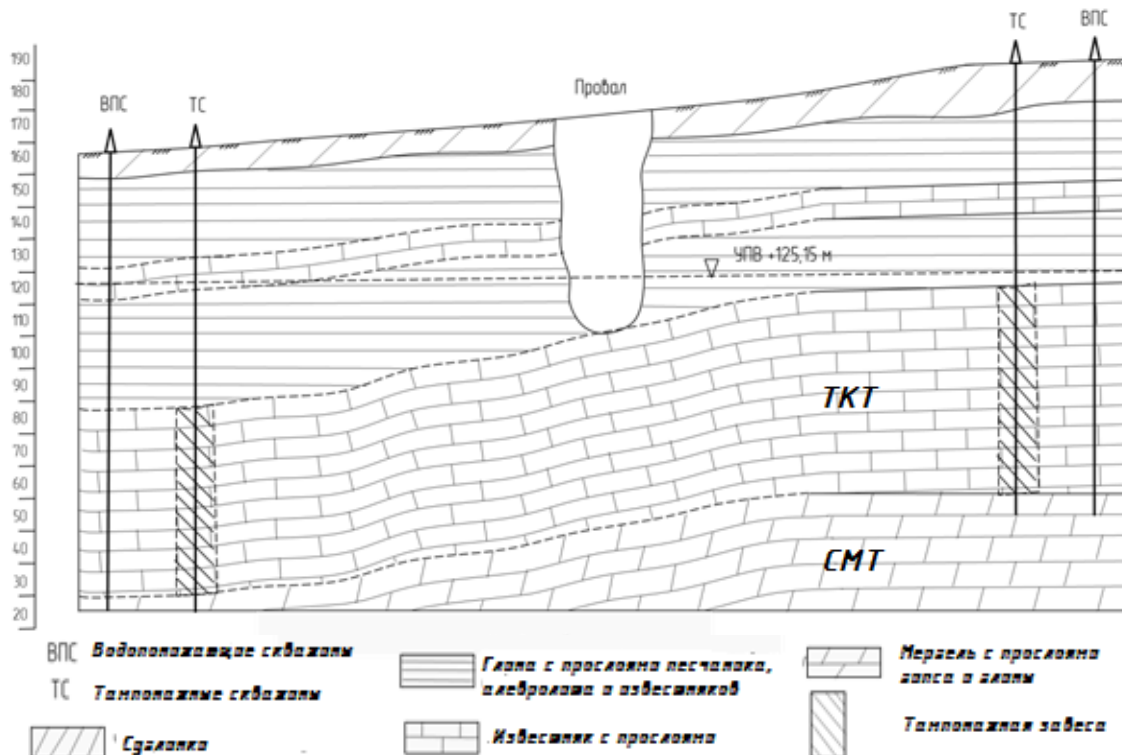


Рисунок 3 Схематический геологический разрез по оси провала с указанием тампонажных и водопонижающих скважин

Наиболее трудными участками по горно-техническим условиям являются южный сектор между точками 5–6 и прилегающий к нему участок южного сектора между точками 4–5 из-за сложности рельефа местности, наличия водозащитной зоны вокруг русла речки Поповки и подтапливаемых земель вокруг нее. Для этих участков при сооружении ПФЗ потребуются разработка специальных мероприятий, таких как устройство горизонтальных площадок на крутых склонах, отсыпка дамб, укладка железобетонных плит, и выполнения ряда других конструктивных мероприятий, требующих значительных материальных затрат.

Противофильтрационная завеса будет сооружаться в водовмещающих породах терригенно-карбонатной толщи, а также в зоне ее контакта с кровлей соляно-мергельной толщи и иметь глубину порядка 110–180 м в зависимости от гипсометрии кровли СМТ и рельефа земной поверхности. Наибольшая глубина завесы будет в южном радиальном секторе, наименьшая — в западном секторе — 110–120 м (рис. 3). Эффективность создаваемой противофильтрационной завесы будет зависеть от ее мощности. Для формирования ПФЗ с требуемыми характеристиками по проницаемости необходимо при нагнетании тампонажного раствора получить достаточные контуры распространения раствора в трещинах и карстовых каналах в каждом из проницаемых горизонтов. При этом отличительной особенностью сооружения противофильтрационных завес инъекционного типа неглубокого, до 100–200 м, заложения является необходимость ограничения давления нагнетания тампонажного раствора до величин, не превышающих давление гидроразрыва или гидрорасчленения горных пород. Превышение давления нагнетания приводит к неконтролируемому выходу раствора в соседние скважины или на земную поверхность. Это условие, требующее снижения давления нагнетания тампонажного раствора, влечет за собой уменьшение расчетных контуров распространения раствора вокруг тампонажной скважины и, следовательно, к уве-

личению количества тампонажных скважин. Учитывая этот фактор, на практике в геотехнике сооружают двух- и трехрядные ПФЗ, что резко увеличивает объемы буровых работ, сроки и стоимость строительства. Применительно к горно-геологическим условиям СКРУ-2, учитывая крайне сложную аварийную ситуацию, для защиты горных работ от подтопления предусматривается сооружение однорядной противофильтрационной завесы, но в две очереди:

– *I очередь* — бурение на заданном расстоянии L друг от друга, как показано на схеме, приведенной на рисунке 4, а и 4, б, замкнутого кольца тампонажных скважин вокруг опасной зоны и нагнетание в них глиноцементного раствора [3].

При расчетном радиусе распространения тампонажного раствора из скважины R_3 толщина ПФЗ будет составлять $M = 2R_3$.

На этом этапе в теле ПФЗ будут протампонированы все трещины и каналы с раскрытием от 1,0 мм и выше.

Расчетные контуры распространения тампонажного раствора, как видно из схемы на рисунке 4, надежно сомкнутся.

Однако расчеты контура распространения тампонажного раствора в трещинах с минимальным раскрытием 0,2 мм, являющихся границей проникновения глиноцементных растворов, показывают, что такие трещины будут протампонированы только на незначительном расстоянии r от скважины. В результате контуры распространения тампонажного раствора в трещинах 0,2 мм не смыкаются, что скажется на водозащитных свойствах и проницаемости ПФЗ в целом.

– *II очередь* — предусматривает бурение серии тампонажных скважин между ранее протампонированными тампонажными скважинами I очереди (рис. 4, б).

При этом этапе для достижения необходимых контуров распространения тампонажного раствора в трещинах с раскрытием 0,2 мм предусматривается использование глиноцементного раствора с более низкими реологическими характеристиками, чем при тампонажных работах I очереди.



Рисунок 4 Схемы формирования противофильтрационной завесы

Расчет технологических параметров противофильтрационной завесы произведен по методике комплексного метода тампонажа [2] и включает определение:

- давления гидроразрыва и гидрорасчленения горных пород;
- контуров распространения тампонажного раствора из отдельной скважины в каждом из выделенных проницаемых горизонтов;
- давления нагнетания тампонажного раствора.

Результаты расчетов технологических параметров формирования противофильтрационной завесы приведены в таблице 1.

Расчет размеров контуров распространения тампонажного раствора для верхней дренированной зоны I производился только для трещин с раскрытием 1,00 мм и более.

В расчете объемов нагнетаемого раствора в скважины II очереди дренированной зоны ТКТ приняты размеры контуров распространения по аналогии 1-го этапа.

Технология сооружения противофильтрационной завесы:

1. Сооружение ПФЗ вокруг зоны сдвижения горных пород выполняется по технологии комплексного метода тампонажа обводненных горных пород, предусматривающей нагнетание тампонажного материала через вертикальные скважины, пробуренные с поверхности земли вокруг границ опасной зо-

ны изолированно в каждый из выделенных проницаемых горизонтов с использованием для герметизации ствола скважины пакерующих устройств или перфорированной колонны обсадных труб [2, 3].

2. В качестве гидроизоляционного материала предусматривается использовать глиноцементный тампонажный раствор, в состав которого входит до 89 % глинистого раствора, 10–12 % сульфатостойкого портландцемента М 400 и 1 % структурообразователя.

3. Бурение скважин предусматривается производить самоходными буровыми установками типа УКБ-500С, 1БА-15 и УРБ-3АМ.

4. В каждой из пробуренных тампонажных скважин предусматривается проведение комплекса геофизических исследований, включающих кавернометрию, инклинометрию, расходометрию и стандартный электро- и гамма-каротаж.

5. Глинистый раствор из комовых глин готовится на механизированной глиностанции, оснащенной высокопроизводительными фрезерно-струйными мельницами типа ФСМ-9 или на других смесительных устройствах.

6. Приготовление и нагнетание глиноцементного раствора осуществляли с использованием мобильного тампонажного комплекса типа КЦС-40, включающего цементировочные агрегаты АН-100, УНБ1-160/40 и смесительные машины типа УС-6/30.

7. Тампонажные работы по устройству ПФЗ выполняются в две очереди: сначала необходимо бурить скважины 1-й очереди с расстоянием между ними в 20 метров с целью получения замкнутого кольца, обеспечивающего снижение притоков воды к опасной зоне, и только затем производить бурение скважин 2-й очереди, в которых дополнительно проводится комплекс гид-

родинамических исследований для определения качества ПФЗ и снижения коэффициента фильтрации (K_f) пород в теле ПФЗ и нагнетание тампонажного раствора.

Основные технические показатели тампонажных работ по сооружению замкнутой ПФЗ вокруг опасной зоны сдвижения горных пород и провальной воронки приведены в таблице 2.

Таблица 1

Данные расчетов контуров распространения тампонажного раствора вокруг скважин и объемов тампонажного раствора для сооружения ПФЗ

Наименование интервалов	Номер заходки тампонажа	Интервал проницаемого горизонта	Мощность проницаемых пород, м	Давление гидроразрыва $P_{г.г}$, МПа	Расчетные радиусы распространения раствора вокруг тампонажной скважины, r_c , м				Объем раствора в скважину V , m^3		Суммарный объем тампонажного раствора по всем скважинам, V , m^3		
					I этап $\delta_{1-1} = 1,0$ мм	I этап $\delta_{1-1} = 0,2$ мм	II этап		I этап	II этап	I этап	II этап	Всего
							$\delta_{1-1} = 1,0$ мм	$\delta_{1-1} = 0,2$ мм					
1ТКТ б/н	Ia	42.2–60.0	10.3	1.76	6.30	-	17.6	-	28	28	4880	880	9860
2ТКТ б/н	Iб	60.0–75.0	5.65	2.14	7.60	-	21.4	-	15	15	2400	2400	4800
3ТКТ нап	IIa	75.0–100.0	21.0	2.86	10.20	2.03	-	5.72	96	22	15360	3520	18880
4ТКТ нап	IIб	100.0–125.0	17.50	3.58	12.80	2.54	-	7.16	118	28	18880	4480	23360
5ТКТ нап	IIв	125.0–150.0	22.50	4.30	15.30	3.05	-	8.6	232	52	37120	8320	45440
6СМТ нап	III	150.0–170.0	12.0	4.86	17.30	3.45	-	9.72	158	35	25280	5600	30880
									647	180	103520	28800	132320

Таблица 2

Характеристика противofильтрационной завесы и сводные объемы комплекса тампонажных работ

№	Показатели	Ед. изм.	Количество		
			I очередь	II очередь	Всего
1	Протяженность тампонажной завесы	м	3200		
2	Глубина ПФЗ	м	110–180		
3	Количество скважин	скв.	160	160	320
4	Объем буровых работ	скв./п.м.	23430	23430	46860
5	Объем тампонажных работ	m^3	103520	28800	132320

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Эффективным способом локализации и устранения притоков ненасыщенных растворов и пресных вод в подземные горные вы-

работки из вышележащих насыщенных пород на калийных месторождениях может служить противofильтрационная завеса, сооружаемая с поверхности земли вокруг всей зоны сдвижения и разуплотнения пород.

2. Противоаварийные мероприятия по снижению притоков подземных вод в отработанное пространство при нарушении целостности вышележащей толщи, направленные на сохранение безопасной работы калийного рудника, должны включать, наравне с завершением сооружения противо-

фильтрационной завесы, надежную закладку провальной воронки и гидравлическую закладку отработанного пространства для исключения деформации горного массива.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики прогноза размеров зоны разрушенных пород во времени.

Библиографический список

1. Шиман, М. И. Предотвращение затопления калийных рудников [Текст] / М. И. Шиман. — М. : Недра, 1992. — 23 с.
2. Комплексный метод тампонажа строительстве шахт [Текст] / Э. Я. Кипко, Ю. А. Полозов и др. — М. : Недра, 1984. — 243 с.
3. Тампонаж обводненных горных пород [Текст] : справочное пособие / Э. Я. Кипко, Ю. А. Полозов и др. — М. : Недра, 1989. — 318 с.

© Полозов Ю. А.

© Бизянов Е. Е.

© Лазебник А. Ю.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. СГ ДонГТИ Литвинским Г. Г., к.т.н., доц., зав. каф. СГ АФГТ ЛГУ им. В. Даля Савченко И. В.

Статья поступила в редакцию 31.05.2021.

Doctor of Technical Sciences Polozov Yu. A. (*DonSTI, Alchevsk, LPR, uapolozov@mail.ru*),
PhD in Engineering, Doctor of Economics Bizianov E. E. (*DonSTI, Alchevsk, LPR*),
Lazebnik A. Yu. (*Antracite Department of Mining and Transport, LNU named after V. Dahl, Antracite, LPR*)

RECTIFICATION OF THE CONSEQUENCES OF MANMADE DISASTER IN THE AREA OF THE EARTH'S SURFACE SINKHOLE IN A POTASH MINE

The article describes the experience of designing protective measures to localize a manmade disaster in a potash mine of the Second Solikamsk Mine Administration (SKRU-2) of PJSC "Uralkali", associated with the destruction of room fenders that caused subsidence of the Earth's surface and sinkhole formation. Scientifically grounded engineering solutions are given to stabilize soils and permeable rocks by forming a sealing curtain around the subsidence and sinkhole of the Earth's surface in order to ensure the safe operation of a potash mine and reduce the inflow of unsaturated brines and fresh water to underground workings.

Key words: *sinkhole and subsidence of the Earth's surface, rock mass stabilization, sealing curtain, grouting hole, clay-cement mortar.*