

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ АВАРИЙНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОДРАБОТАННОГО ПОРОДНОГО МАССИВА (на примере рудника БКПРУ-1)



И. П. МУСЕВ,
зав. сектором,
gusev@galurgy.spb.ru



Т. К. ШЛЕНДОВА,
старший научный сотрудник

АО «ВНИИ Галургии», Санкт-Петербург, Россия

Введение

Особенностью соляных месторождений является легкая растворимость солей [1, 2]. В связи с этим при ведении горных работ недопустимо нарушение сплошности водозащитной толщи (ВЗТ) — водоупорных пород, перекрывающих продуктивные соляные пласты. Надежная изоляция горных выработок от вод и рассолов водоносных горизонтов является обязательным условием безопасной работы рудников [3–6].

Впервые на Верхнекамском месторождении калийных солей затопление рудника из-за нарушения сплошности ВЗТ произошло в 1986 г. на Балахонцевском участке детальной разведки Третьего Березниковского калийного рудоуправления (БКПРУ-3). В 2006 г. аварийная ситуация повторилась на Березниковской площади Первого Березниковского калийного рудоуправления (БКПРУ-1) [7–13]. Для выявления условий и возможности разработки мероприятий по локализации аварийных водопритоков в рудник и минимизации негативных последствий представляется актуальным анализ изменений гидрогеологической обстановки в надсолевых породах шахтного поля, происходящих в процессе и после затопления горных выработок. В качестве примера рассмотрена ситуация на руднике БКПРУ-1, наблюдения за развитием которой ведутся на протяжении достаточно длительного времени различными организациями, в том числе Горным институтом УрО РАН [11, 14].

Исследование особенностей изменения гидродинамического и гидрохимического режимов подземных вод

В октябре 2006 г. на западном фланге шахтного поля БКПРУ-1 вблизи целика скв. 17 в руднике была обнаружена течь

На примере рудника БКПРУ-1 прослежены гидродинамические и гидрохимические особенности развития аварийной течи. Определены основные тенденции изменения гидродинамического и гидрохимического режимов подземных вод шахтного поля после затопления рудника и образования провалов на земной поверхности. Полученные результаты позволяют оценить возможность проникновения пресных вод к соляным породам в поставарийный период.

Ключевые слова: прорыв вод в рудник, провал, подземные воды, рассолы, соляная залежь, техногенное засоление, уровень подземных вод.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.06>

с дебитом более 150 м³/ч. Прорыв вод-рассолов в выработки сопровождался выделением сероводорода. К 20 июля 2007 г. приток увеличился до 3560 м³/ч и 28 июля 2007 г. к югу от промплощадки и солеотвала произошел провал надсолевых пород в техногенную карстовую полость в соляных породах с образованием воронки на земной поверхности — провал № 1 (рис. 1). После образования провала приток рассола достиг 9570 м³/ч. Размеры провала к концу 2008 г. возросли до 440×320 м. В ноябре 2008 г. процесс затопления горных выработок завершился, началось восстановление запасов подземных вод надсолевого комплекса, закончившееся в начале 2009 г. В декабре 2011 г. и в ноябре 2012 г. к северу от первого провала, промплощадки и солеотвала образовались второй и третий.

Надсолевые породы площади обводнены до кровли соляной залежи, которая в ненарушенном состоянии является региональным водоупором. В строении надсолевого водоносного комплекса (НВК) принимают участие азрированные породы и породы полного водонасыщения. В водонасыщенном разрезе выделяются: четвертичный водоносный комплекс в четвертичных глинисто-песчаных аллювиальных отложениях; верхнесоликамский водоносный горизонт в породах верхнесредней части разреза терригенно-карбонатной толщи (ТКТ) («плитняковый»); верхне-нижнесоликамский водоносный горизонт в сульфатсодержащих породах ТКТ и верхнесредних слоях верхней подтолщи соляно-мергельной толщи (СМТ₂) («сульфатный»); нижнесоликамский водоносный горизонт в хлоридно-засоленных породах СМТ₂ («рассольный»).

Мощность азрированных пород площади изменяется от 2–10 м в Камском прогибе (отложения аллювия долины р. Камы)

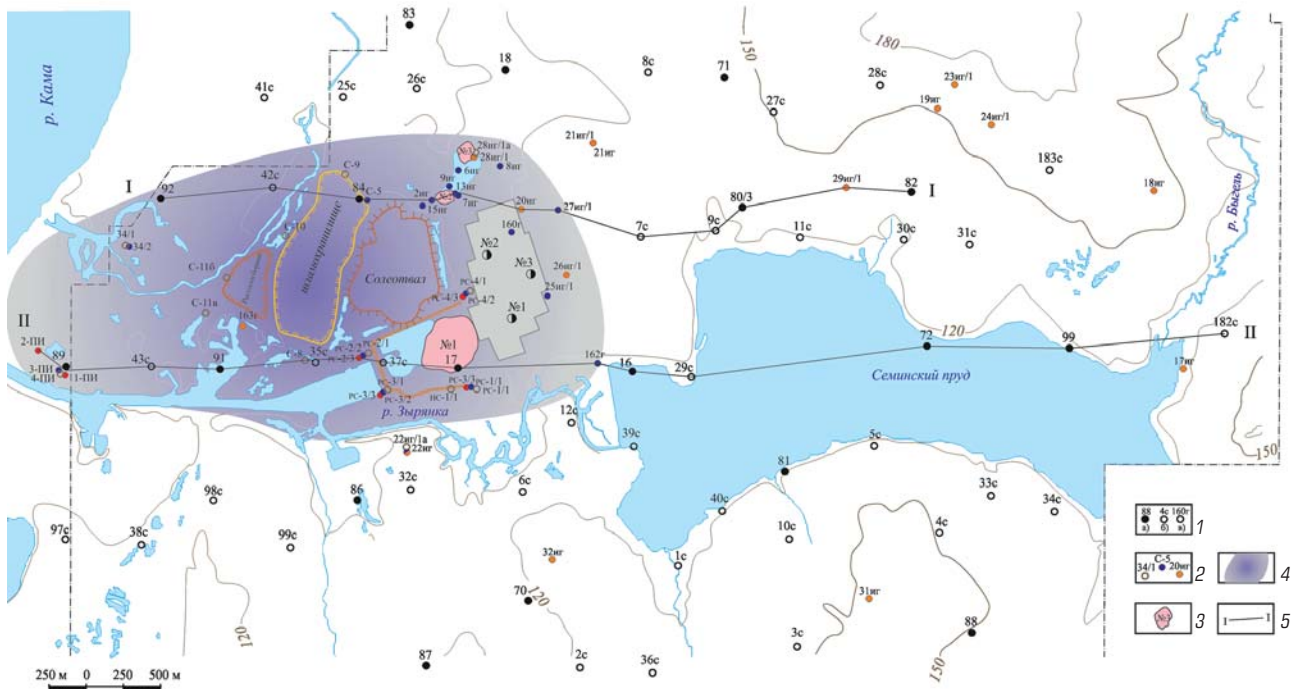


Рис. 1. Фрагмент шахтного поля БКПРУ-1 — ореол техногенного засоления:

- 1 — солеразведочные (а), структурные (б) и гидрогеологические (в) скважины; 2 — режимные наблюдательные скважины;
- 3 — провалы на земной поверхности; 4 — область техногенного засоления верхних водоносных горизонтов;
- 5 — линии геолого-гидрогеологических разрезов

до более 30 м на Березниковском поднятии (породы четвертичного покрова, трещиноватые известняки и известковистые мергели ТКТ). Общая мощность обводненных пород НВК в пределах свода Березниковского поднятия составляет 90–100 м, на присводовых участках склонов она увеличивается до 140 м и достигает 200 м в области максимального погружения пород на западе в районе Камского прогиба (рис. 2).

С глубиной происходят снижение фильтрационных параметров водовмещающих пород, увеличение минерализации подземных вод и изменение их химического состава. В верхней части разреза надсолевой толщи развиты преимущественно пресные воды, в средней — солоноватые, соленые и рассолы, в нижней — высококонцентрированные рассолы. Гидрохимическая зональность подземных вод в целом совпадает с гидрогеохимической зональностью пород.

Пресные воды преимущественно грунтовые, иногда обладают незначительными напорами. Соленые воды и рассолы повсеместно напорные.

Низинные территории на западе шахтного поля, в пределах которых сформировались техногенные провалы, относятся к областям преимущественной разгрузки подземных вод зоны активного водообмена. Эти площади характеризуются постоянным проявлением природных рассолов и значительной мощностью рассолосодержащих пород (см. рис. 2). Для площади характерно превышение статических уровней рассолов («приведенных», т. е. рассчитанных с учетом плотности подземных вод) относительно уровней вод, расположенных над ними водоносных горизонтов. В

связи с этим при естественных или техногенных нарушениях сплошности водоупорных слоев, разделяющих водоносные горизонты, фиксируется повышение минерализации подземных вод вверх по разрезу. В случае осолонения верхних водоносных горизонтов природными рассолами в их водах повышается содержание хлоридов натрия и сульфатов. Природные рассолы могут проследиваться до уровня аллювиальных отложений.

В восточном направлении от участка провалов мощность рассолоносных пород сокращается, «приведенные» напоры рассолов близки к напорным характеристикам верхних горизонтов пресных вод.

В химическом составе высококонцентрированных (201–333 г/л) природных рассолов преобладают хлориды натрия (191,7–317,7 г/л), сульфаты содержатся в количестве, г/л: 2,8–5 CaSO₄; 0–6,9 MgSO₄; 0–3 Na₂SO₄. Содержание MgCl₂ — до 1,4–7,3 г/л, KCl — 0,05–1,2 г/л, NaBr — до 0,2 г/л. Химический тип рассолов — сульфатный, подтип — хлоридно-магниевый или сульфатно-натриевый. В пробах рассолов отмечается запах сероводорода.

На пойме р. Камы вокруг участка складирования солеотходов сформирован обширный ореол техногенного засоления подземных вод, охватывающий участок образования провалов (см. рис. 1, 2). Загрязнение в основном приурочено к рыхлым четвертичным отложениям и верхним слоям ТКТ. По данным наблюдений, проводимых до аварии, в режимных скважинах вблизи мест складирования солеотходов минерализация подземных вод колебалась от 0,4–13 г/л до 46–287 г/л. В химическом составе вод ореола за-

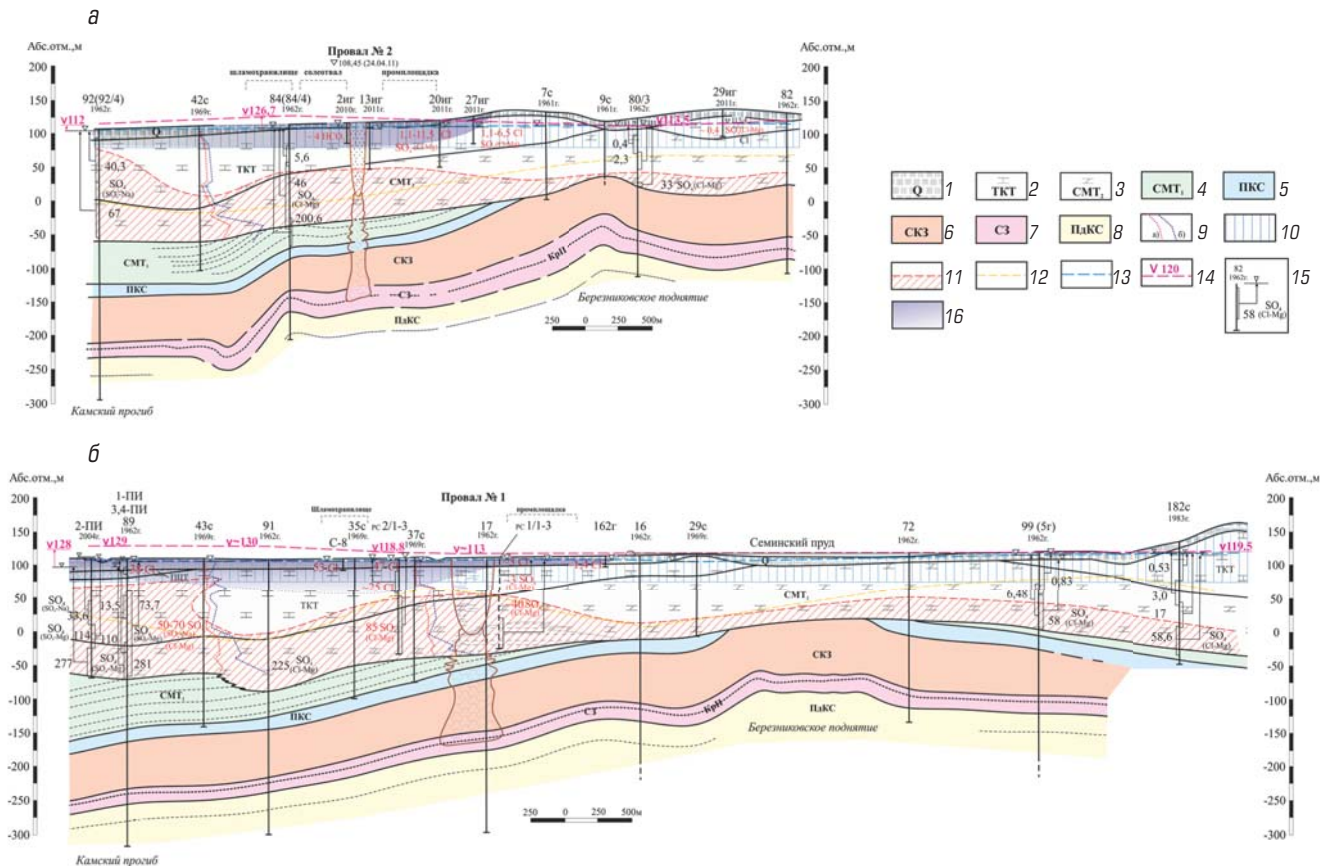


Рис. 2. Геолого-гидрогеологический разрез по линии I–I (а) и II–II (б) соответственно:

породы: 1 — пески, супеси, суглинки, глины Q; 2 — песчаники, известняки, мергели TKT; 3 — мергели, глины, гипсы и гипсово-ангидритовые породы CMT₂; 4 — каменная соль, мергель CMT₁; 5 — каменная соль ПКС; 6 — карналлиты (сильвиниты), каменная соль СКЗ; 7 — сильвиниты, каменная соль СЗ; 8 — каменная соль ПдКС; 9 — эпюры засоленности пород: сумма сульфатов (а) и сумма хлоридов (б); 10 — зона активного водообмена; прогнозно-факторологические поверхности: 11 — Cl-Na-гидрогеохимической подзоны; 12 — гипсового «зеркала»; 13 — уровень вод верхнего от поверхности водоносного горизонта; 14 — приведенный уровень «рассольного» горизонта; 15 — скважина (вверху — номер и год бурения, рядом — уровень подземных вод, г/л, тип вод по Курнакову – Вальяшко); 16 — область техногенного засоления

грязнения преобладали хлориды натрия, наблюдались относительно повышенное (до 6,8–18,1 г/л) содержание KCl, постоянное присутствие CaCl₂ (до 2,6–11 г/л) и практически отсутствие MgSO₄. Содержание MgCl₂ в рассолах составляло 0–7,1 г/л.

Движение вод верхних водоносных горизонтов направлено на запад — к долине р. Камы и к местным дренам (рис. 3). До аварии минимальные гидроизогипсы (менее 107 м) околновали приустьевую часть долины р. Зырянки. Вблизи источников загрязнения водоносных горизонтов техногенными стоками высокой плотности гипсометрическое положение уровня подземных вод снижалось до отметок ниже уреза Камского водохранилища (менее 105 м). Уровни природных рассолов, согласно единичным данным, имеют тенденцию снижения в северо-западном направлении. Наиболее высокие значения «приведенных» уровней (более 120 м) отмечаются на участках наиболее глубокого залегания соляного «зеркала». В районе образования провалов и на левобережье р. Зырянки приведенные уровни «рассольного» горизонта располагаются выше уровней верхних водоносных горизонтов.

В первые месяцы после прорыва в рудник надсолевых вод наблюдения за подземными водами показали довольно резкое снижение (до 4 м) уровня вод в скважинах, оборудованных на «рассольный» горизонт, даже на значительном расстоянии от места аварии. В скважинах, расположенных примерно в 2,5 км от места прорыва вод в рудник и вскрывающих общим интервалом «сульфатный» и «рассольный» горизонты, в течение первых двух месяцев падение уровня достигало 15 м (см. рис. 3, скв. 1-ПИ, 2-ПИ). До образования провала в течение 9 мес формирование депрессионной воронки наблюдалось практически только в «рассольном» горизонте. В залегающих выше водоносных горизонтах — «плитняковом» и в четвертичных отложениях колебания уровней подземных вод в этот период не проявляли зависимости от депрессии, формирующейся в «рассольном» горизонте, а носили сезонный характер.

До образования провала по наблюдательным скважинам режимной сети, заложенным вблизи складирования солеотходов, изменение химического состава подземных вод практически не

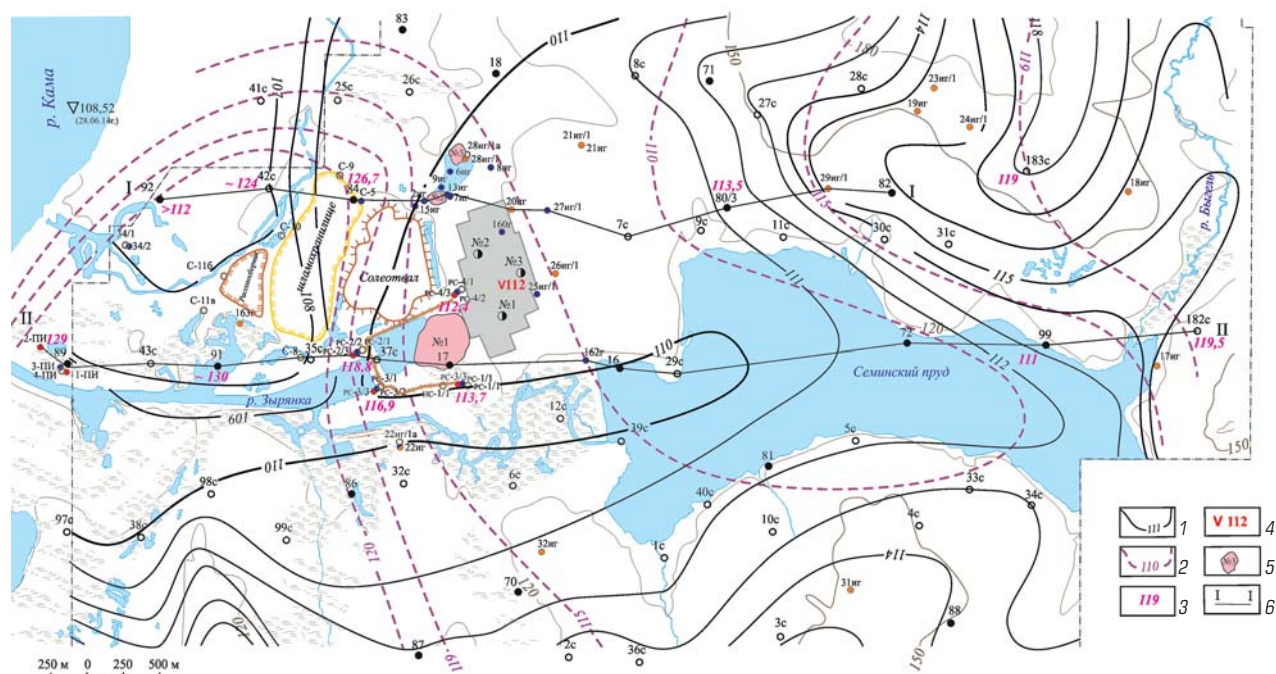


Рис. 3. Гидроизогипсы основных водоносных горизонтов (положение по данным 1962–2014 гг.):

гидроизогипсы водоносных горизонтов: 1 — первого от поверхности; 2 — «рассольного»; 3 — абсолютная отметка «приведенного» уровня (к столбу пресной воды) «рассольного» горизонта; 4 — «приведенный» уровень рассолов в шахтном стволе № 3; 5 — провалы на земной поверхности; 6 — линия геолого-гидрологического разреза

происходило. В наблюдательных скважинах, оборудованных на «плитняковый» водоносный горизонт в верхней части разреза ТКТ, минерализация подземных вод с техногенным засолением имела максимальные значения (16,9–31,8 г/л) у западной окраины промплощадки (см. рис. 3, скв. 161г, 163г). Подземные воды хлоридного химического типа (по классификации Курнакова – Валяшко), обогащенные хлоридами калия (до 9,3–14,2 г/л), практически не содержали сульфатов магния и натрия. Содержание $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ по скважинам в основном не превышало 0,3 г/л.

В скважине, оборудованной на «сульфатный» водоносный горизонт (скв. 163г/1), следы солеотходов практически отсутствовали. По химическому составу подземные воды относились к сульфатному типу, сульфатно-натриевому подтипу. Их повышенная (до 16,9–20,7 г/л) минерализация была связана в основном с разгрузкой природных рассолов.

Соединение провалом всех водоносных горизонтов НВК привело к лавинообразному затоплению выработанного пространства рудника. Над карстовой полостью в соляных породах, заполненной обвалившимися терригенно-карбонатными отложениями СМТ и ТКТ, стала быстро развиваться депрессионная воронка, охватившая практически все надсолевые водоносные горизонты.

В период затопления выработок снижение уровня объединенных «сульфатного» и «рассольного» горизонтов на расстоянии ~2,5 км от провала достигало 19–20 м. В отложениях ТКТ понижение уровня в радиусе 1–1,5 км от центра депрессионной воронки составляло 12–15 м (скв. 160г, 162г, 163г, с-5). Можно

предположить, что в эпицентре аварии высокоминерализованные рассолы были сдренированы, и в соляной рудник поступали значительно опресненные соленые воды смешанного состава, в том числе из верхних водоносных горизонтов.

Менее всего формирование депрессионной воронки отразилось на подземных водах четвертичных отложений. Наиболее значительные понижения уровня наблюдались по скважинам в местах взаимосвязи вод ТКТ и аллювия — от 2,5 до 5–7 м (скв. с-8, с-9, с-10). Там, где воды четвертичных отложений изолированы от залегающих ниже горизонтов, естественный уровенный режим в период затопления рудника и формирования депрессионной воронки в горизонтах НВК практически не нарушался (скв. 34/1, с-126, с-12в, 4-ПИ).

Результаты гидрохимического опробования наблюдательных скважин в процессе затопления рудника показали постепенное снижение минерализации подземных вод. Так, минерализация вод в ореоле загрязнения четвертичного водоносного горизонта снижалась с 142–152 до 20–77 г/л (скв. с-8, с-10). В «плитняковом» горизонте по скважине, наиболее близко расположенной к провалу № 1, минерализация вод понизилась с 19,1–31,8 до 5,3–6,6 г/л (скв. 161г). Местами хлоридный тип вод преобразовался в сульфатно-натриевый. Уменьшилось количество KCl с 9,3–14,2 до 2,7–3,9 г/л. В «сульфатном» водоносном горизонте (скв. 163г/1) наблюдалось незначительное снижение минерализации (с 16,9–20,7 до 9,6–18,2 г/л) и содержания KCl (с 0,2–0,3 до 0,07–0,26 г/л) при увеличении количества Na_2SO_4 (с 0,08 до 3–3,5 г/л).

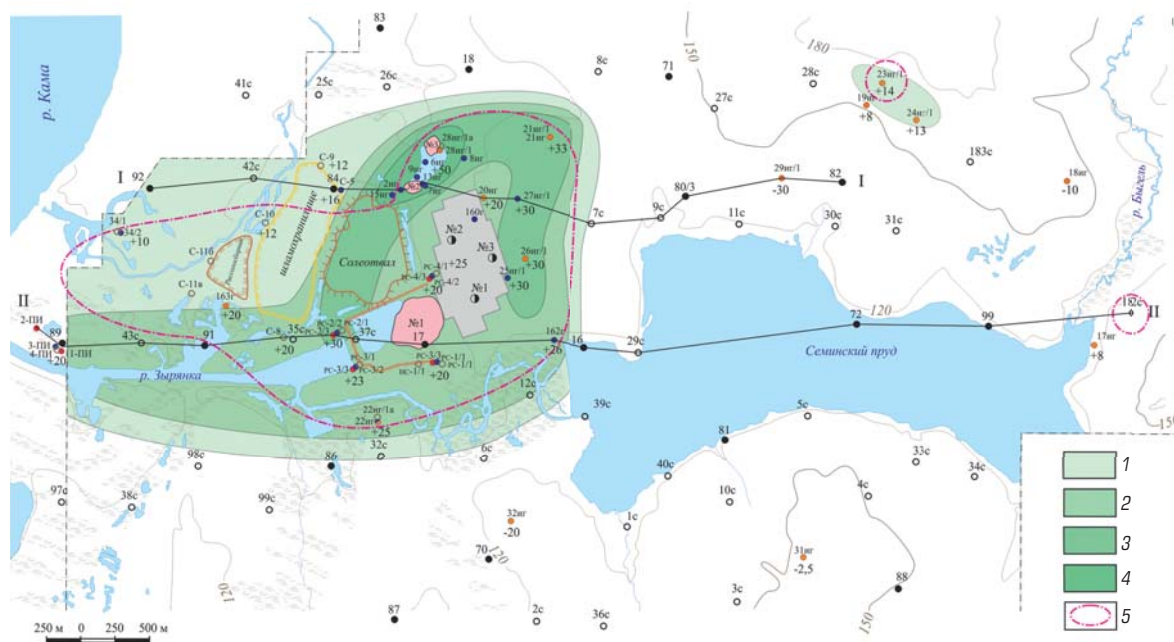


Рис. 4. Площади с различной скоростью повышения уровня верхних водоносных горизонтов:

1, 2, 3, 4 — повышение уровня более 10, 20, 30, 50 см/год соответственно; 5 — содержание гидрокарбонатов в подземных водах более 0,5 г/л

После заполнения выработанного пространства рудника и карстовых пустот в сильвинит-карналлитовой зоне в конце ноября 2008 г. началось восстановление сдrenированных водоносных горизонтов, длившееся примерно до июля 2009 г.

Сравнение уровней верхних водоносных горизонтов и приведенного уровня «рассольного» горизонта до аварии 2006 г. и на весенне-летний период 2014 г. выявило некоторое изменение конфигурации гидроизогипс как в верхних, так и в нижних слоях гидросферы. Наиболее заметные изменения залегания уровня подземных вод верхних водоносных горизонтов после восстановления водоносных горизонтов фиксируются в пределах площади, околтуренной гидроизопьезой 111 м вблизи промобъектов и участков образования провалов (см. рис. 3).

Вблизи береговой линии Камского водохранилища и русла Зырянки режим верхних водоносных горизонтов, носит выраженный сезонный характер и подчинен колебаниям уровня Камского водохранилища. За последние пять лет уровень подземных вод данного участка в среднем повысился на 0,5–1 м. В то же время многолетние наблюдения за уровнем воды в р. Каме вблизи города Березники (с сентября 2006 г.) свидетельствуют о тенденции общего снижения уровня водохранилища.

В среднем на 1,2–1,3 м за последние пять лет повысился уровень «плитнякового» горизонта в гидрогеологических скважинах (скв. 160Г, 162Г). У дамбы, ограждающей провал № 1, за трехлетний период уровень вод как четвертичных отложений, так и «плитнякового» горизонта вырос на 0,6–1 м (скв. рс-1, рс-3, рс-4). За три года наблюдений уровень у провала № 2 в среднем поднялся на 1,5–1,6 м (скв. 2иг, 15иг), на некотором удалении от провала № 3 подъем уровня составил 1,35 м (скв. 8иг). К вос-

току от промплощадки, в области распространения в качестве первого от поверхности «сульфатного» водоносного горизонта, уровень в скважинах за три года наблюдений повысился на 0,7–1,1 м (скв. 20иг, 21иг, 27иг/1).

В то же время, по ряду скважин отмечается снижение уровня (скв. 18иг, 29–32иг). Наибольшее снижение наблюдается по скважинам, расположенным на береговых склонах Семинского пруда, что, по-видимому, связано со спуском воды и понижением уровня водохранилища. Незначительные изменения в режиме подземных вод по скважинам, расположенным на приводораздельных территориях в северной и южной частях шахтного поля, скорее всего относятся к погрешностям интерпретации результатов наблюдений (скв. 30иг, 31иг). Режим верхнего водоносного горизонта на этих площадях можно считать ненарушенным.

На **рис. 4** выделены площади с различной скоростью повышения среднего уровня верхних водоносных горизонтов. Подъем уровня фиксируется в западной части шахтного поля в районе промплощадки, провальных воронок, складирования солейотходов и вдоль русла р. Зырянки. По-видимому, причина аномального изменения режима водоносных горизонтов на данной территории носит многофакторный характер.

Самый интенсивный подъем уровня фиксируется вблизи провалов № 2 и 3 (более 50 см/год), по восточному и, предположительно, западному контуру промплощадки (более 30 см/год). Гидрогеологические условия этой части территории характеризуются увеличением напоров вниз по разрезу. Уровни вод «сульфатного» горизонта превышают уровни «плитнякового», а пьезометрические уровни «рассольного» горизонта, приведенные к

столбу пресной воды, превышают уровни вышележащих водоносных горизонтов. Провальные воронки и зоны повышенной трещиноватости по контуру целика вокруг шахтных стволов способствуют интенсивному перетоку подземных вод с нижних горизонтов вверх по разрезу, что вызывает подпор верхних водоносных горизонтов и повышение их уровня.

Некоторый подъем уровня вблизи объектов хвостового хозяйства (10–20 см/год) может быть вызван снижением засоленности вод ореола засоления в период аварийного поступления подземных вод в горные выработки рудника, когда техногенные рассолы были частично сдrenированы. Повышению уровня вод вдоль русла р. Зырянки (более 20 см/год), по-видимому, способствуют снижению уклона реки вследствие оседания земной поверхности в пределах шахтного поля, а также устройство дамб (ограждающей и отсечной), что уменьшает дренирующую способность реки.

Наблюдения за водами «рассольного» горизонта совместно с «сульфатным» осуществляют по скважинам вблизи промплощадки и провала № 1 в интервалах глубин 82–133,8 и 75–139,7 м. На современной гидрогеологической схеме (см. рис. 3) район провальных воронок несколько расширяет область распространения «рассольного» горизонта с «приведенными» уровнями ниже 115 м в связи с частичной разгрузкой рассолов в верхние горизонты. «Приведенные» уровни природных рассолов в наблюдательных скважинах составляют 113,7 и 112,4 м, что не противоречит распределению напоров «рассольного» горизонта до аварии на руднике. Воды вскрытых скважинами горизонтов через провал сообщаются с водами затопленного рудника, наблюдения за которыми ведутся по шахтному стволу № 3. В шахтном стволе уровень насыщенных рассолов (337 г/л на глубине 50 м) расположен на абсолютной отметке 90 м. При пересчете на пресные воды это составляет 112 м. Близкие значения «приведенных» уровней рассолов в горизонте и шахтном стволе свидетельствуют об установившемся равновесии, исключающем взаимные перетоки «рассольный» горизонт ↔ затопленный рудник.

Результаты гидрохимических наблюдений по гидрогеологическим скважинам в период восстановления водоносных горизонтов показали, что в верхних слоях разреза (менее 25 м) суммарное содержание солей в подземных водах падает, ниже по разрезу (более 45 м) — увеличивается. В составе второстепенных солей на глубинах 25–60 м появляются сульфаты магния и натрия. Присутствие CaCl_2 в подземных водах проявляется эпизодически, преимущественно при весеннем половодье и гидравлическом воздействии деформаций пород в период формирования и преобразования провальной воронки № 3. Приведенные факты свидетельствуют о том, что внутренняя разгрузка природных рассолов стала протекать более активно.

Аналогичные процессы прослеживаются в наблюдательных скважинах вокруг провальных воронок в ореолах техногенного засоления. Появление в подземных водах сульфатов магния и натрия также указывает на участие внутренней разгрузки природных рассолов в формировании их солевого состава. Значительные колебания минерализации подземных вод при тенденции ее увеличения происходят на фоне некоторого подъема их уровня.

На участках провалов и примыкающих к ним площадях в подземных водах отмечается повышенное содержание гидрокарбонатов — от 0,5 до 1,4 г/л, в то время как их фоновое количество в подземных водах месторождения обычно не превышает 0,1–0,3 г/л [15]. Наиболее высокое содержание гидрокарбонатов фиксируется в подземных водах из скважин, расположенных в непосредственной близости от провалов (см. рис. 4). На участках наиболее активного проявления деформаций породного массива, помимо $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, в подземных водах появляются гидрокарбонаты магния и натрия. Повышенное (аномальное) содержание гидрокарбонатов в подземных водах может быть вызвано перераспределением напряжений в породах надсолевой толщи в условиях ускоренных оседаний, а также вследствие выделения свободной углекислоты при растворении соляных пород. В рудничных рассолопроявлениях подобная обогащенность гидрокарбонатами проявляется при совместном выделении рассолов и газов. По-видимому, аномальное содержание гидрокарбонатов в подземных водах можно рассматривать как один из признаков перераспределения напряжений в надсолевых породах с возможным нарушением сплошности водозащитной толщи.

Анализ результатов многолетних наблюдений за подземными водами площади показал, что наиболее значительные изменения их режима наблюдались в период непосредственного затопления выработанного пространства. До возникновения рудничного рассолопроявления с аварийным дебитом в водоносных горизонтах НВК не наблюдалось изменения режима. После прорыва надсолевых вод-рассолов в рудник формирование депрессионной воронки над местом аварийной течи фиксировалось только в «рассольном» горизонте с последующим вовлечением в процесс вод «сульфатного» горизонта. Для рудника БКПРУ-1 этот период длился около 9 мес. Образование провала, соединившего все водоносные горизонты с выработанным пространством, привело к резкому увеличению дебита и снижению минерализации вод, поступающих в рудник. Провальная воронка (на всю глубину надсолевого разреза) инициировала развитие депрессии в «плитняковом» водоносном горизонте и в меньшей степени — в водах четвертичных отложений. Восстановление уровней сдrenированных водоносных горизонтов длилось примерно 6–8 мес. В дальнейшем аномальные колебания уровней подземных вод отмечались на площади эпизодически, синхронно с развитием техногенных деформаций породного массива (образование провалов № 2, 3).

В настоящее время существенных изменений гидродинамического режима подземных вод не происходит. Наблюдается некоторая тенденция повышения уровней, наиболее заметно проявляющаяся по верхним водоносным горизонтам вблизи промобъектов и участков образования провалов. Подъем уровней, по-видимому, связан с гидрогеологическими условиями территории, характеризующимися увеличением напоров подземных вод вниз по разрезу. Провалы надсолевых пород соединили водоносные горизонты, образовав канал перетока подземных вод с нижних горизонтов вверх по разрезу, создав, таким образом, сосредоточенный источник питания верхнего горизонта. Кроме того, в процессе формирования мульды оседания над затопленным рудни-

ком по контуру целика вокруг шахтных стволов в надсолевых породах формируются зоны повышенной трещиноватости, также способствующие перетоку вод с нижних горизонтов и образованию подпора верхних водоносных горизонтов. Факт подъема уровня верхнего водоносного горизонта в районе провальных воронок свидетельствует о восходящих движениях подземных вод по каналам провалов и отсутствии перетоков пресных вод к соляному «зеркалу» и в затопленный рудник.

Некоторый подъем уровня вблизи объектов хвостового хозяйства, находящихся ниже по течению подземного потока, возможно, является следствием повышения уровня вблизи провалов, а также может быть вызван разубоживанием ореола засоления в период формирования депрессионной воронки вокруг провала № 1.

Вблизи береговой линии Камского водохранилища и русла р. Зырянки режим верхних водоносных горизонтов носит выраженный сезонный характер. На приводораздельных участках площади, удаленных от водотоков, режим верхнего водоносного горизонта можно считать ненарушенным.

На участке провальных воронок прослеживается многослойность гидрохимической структуры надсолевого разреза. В верхних слоях подземные воды характеризуются неоднородным химическим составом при достаточно устойчивом хлоридном типе подземных вод, характерном для ореолов техногенного засоления. Под интервалом техногенного засоления минерализация подземных вод, как правило, ниже, и постепенно растет с глубиной, достигая более 200 г/л вблизи соляного «зеркала». Рассолы нижних слоев имеют хлоридно-натриевый состав, сульфатный тип, хлоридно-магниевый и сульфатно-натриевый под-типы, что характерно для состава природных вод «рассольного» горизонта.

В целом в настоящее время на площади сохраняются все основные черты гидрохимического разреза надсолевой толщи, существовавшие до аварийного периода. В природных минерализованных водах на участке провалов и промплощадки несколько повышено содержание хлоридов калия. Пути обогащения подземных вод калием могут быть различны. Так, например, возможна

утечка рассолов, обогащенных калием, через нарушенную крепь затопленного шахтного ствола; формирование вторичных очагов засоления на земной поверхности, а также мини-ореола вторичного засоления у «жерла» провала на уровне соляного «зеркала» и т. д. Природа гидрокарбонатных «аномалий» в подземных водах площади — фактор в настоящее время малоизученный. Весьма вероятно, что результаты его исследования могут в дальнейшем быть использованы при выявлении и изучении геологических и техногенных осложнений надсолевого и соляного разрезов водо-защитной толщи для соблюдения безопасных условий ведения горных работ.

Заключение

На современном этапе развития территории вокруг провальных воронок не происходит формирования депрессий подземных вод, что подтверждает отсутствие их дренажных функций и попадания через них опресненных вод к кровле соляной залежи и в затопленный рудник. Близкие значения «приведенных» уровней рассолов в «рассольном» горизонте и затопленном руднике (шахтном стволе) свидетельствуют об установлении гидравлического равновесия, исключающего их взаимные перетоки.

Результаты анализа формирования депрессии надсолевых подземных вод при аварийном водопитоке в рудник показали, что понижение уровня фиксируется в первую очередь в «рассольном» горизонте и только после того, как приток в рудник достигает значительных величин и оценивается как аварийный «прорыв». До прорыва вод-рассолов в горные выработки их поступление может быть обнаружено лишь по гидрохимическим показателям мониторинга рудничных рассолопроявлений. Периоды скрытого поступления надсолевых вод в рудник могут быть значительными. Их генетическая идентификация осложнена малыми объемами, составами, зависящими от времени миграции и строения ВЗТ, а также смешением с рудничными рассолами различного происхождения [16–19]. Необходимо учитывать, что разработка и выполнение инженерных мероприятий по локализации и погашению опасных для рудника рассолопроявлений наиболее вероятны и выполнимы в начальный период проявления последних.

Библиографический список

1. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. — 2-е изд. — М.: Эпсилон Плюс, 2013. — 368 С.
2. Иконников Е. А. О вертикальной гидрогеодинамической и гидрогеохимической зональности надсолевой толщи Верхнекамского месторождения солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы региональной науч.-практич. конф. — Пермь, 2002. С. 231–233.
3. Шлендова Т. К., Мустель И. П. Инженерно-гидрогеологические аспекты разработки Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный журнал. 2007. № 8. С. 44–47.
4. Джиноридзе Н. М., Аристаров М. Г., Леонкин Е. И. Стратегия геолого-геофизического обеспечения безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения // Актуальные вопросы добычи и переработки природных солей: сб. науч. тр. ВНИИГ. — СПб.: ЛИК, 2001. Т. 1. С. 169–189.
5. Чайковский И. И. Основные этапы формирования тектонических нарушений в водозащитной толще Верхнекамского калийного месторождения // Известия вузов. Горный журнал. 2008. № 4. С. 41–44.
6. Шметт С. Ф., Шутин С. Г. Защита калийных рудников от рассолопритоков // Горный журнал. 2014. № 2. С. 36–40.
7. Подольский В. А. Прогноз изменения состояния горного массива при затоплении шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 5. С. 97–100.
8. Deppe S., Pippig M. Prospecting and measures to control the brine inflows at the Merkers mine field in Germany // Kali und Steinsalz. 2002. No. 2. P. 33–40.
9. Wyett D., Warley F. Catastrophic collapses in the underground evaporitic mines // Proceedings of NIOSH, Spokane, Washington, USA. 2011. P. 248.
10. Швецов Г. И. Проблемы защиты калийных рудников от затопления // Горный журнал. 2007. № 8. С. 71–74.
11. Осипов В. И., Барях А. А., Ястребов А. А., Мамаев Ю. А., Санфиоров И. А. Карстовая опасность при затоплении калийного рудника в г. Березники Пермского края Российской Федерации // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2014. № 4. С. 356–361.

12. Грязнов О. Н. Природные и техноприродные опасности и риски Урала // Известия вузов. Горный журнал. 2012. № 1. С. 47–50.
13. Ponomarenko T. Ecological, economical and social consequences of emergency situations at the potash mines // Management Systems in Production Engineering. 2012. No. 2(6). P. 28–31.
14. Барях А. А., Санфилов И. А., Дягилев Р. А. Мониторинг последствий затопления калийного рудника // Горный журнал. 2013. № 6. С. 34–39.
15. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / под ред. Т. В. Гусевой. — М.: Форум, 2007.
16. Шлендова Т. К., Мустель И. П., Островская Е. В. Гидрохимическая и генетическая идентификация рудничных рассолов (на примере шахтных полей ОАО «Сильвинит») // Актуальные вопросы добычи и переработки природных солей : сб. науч. тр. ВНИИГ. — СПб.: СПбГУ, 2006. С. 116–128.
17. Ruprecht J. Evaluation of geochemical tools to determine the origin and genesis of saline solutions percolating within rock salt and potash deposits of the German zechstein basin // Kali und Steinsaltz. 2010. No. 2. P. 24–34.
18. Lawrence K. Assessment of Key Processes Affecting Vertical Transport of Brines in Low Permeability Till Beneath the Potash Salt Piles // GeoConvention (Canada), 2010. No. 5. P. 12–18.
19. Rollin J. La protection des petites rivieres periurbaines dans les Bouches-du-Rhone depuis les annees 1960: une analyse de la construction locale de la norme environnementale // Geocarrefour. 2010. Vol. 85. No. 3. P. 229–240. **PK**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 4, pp. 32–39
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.06>

Changing of hydrogeological conditions under emergency deformation of the undermined rock massif (with an example of Berezniki-1 mine)

Information about author

I. P. Mustel¹, Divisional Manager, gusev@galurgy.spb.ru
T. K. Shlendova¹, Senior Researcher

¹ VNII Galurgy Stock Co., St. Petersburg, Russia

Abstract

This work considers changes in hydrogeological conditions under emergency deformation of the undermined rock massif at Berezniki-1 mine in the time of flooding the mine, forming of sinks on the earth surface and subsequent restoring of equilibrium state in geological environment. Peculiarities in changing of hydrodynamical and hydrochemical modes of underground waters have been investigated. It is shown that prior to forming the sink only brines from the lower aquifer were entering into the mine in the course of nine months. The sink (caving) connected all suprasalt aquifers which resulted in quick filling of mined-out space with freshened brines. In the process of flooding of mine workings a depression funnel embracing virtually all aquifers was formed and was observed lowering of mineralization in underground waters.

After restoring of drained water in the area of sinks' forming in the upper aquifers there is observed a total rise in the level of underground water and salinization with natural brines which testifies about ascending travel of water along the channels of sinks and zones of technogenic jointing and about the absence of fresh water inflow to saline rocks. Heightened concentration of hydrocarbonates is observed in water.

At present no substantial changes in the condition (mode) of underground waters occurs. Head-capacity characteristics of suprasalt waters and mine brines exclude their mutual crossflows.

It concludes that before water break into the mine workings their arrival can be detected only by hydrochemical performances of mine brine occurrence monitoring. Periods of hidden income suprasalt entrance to the mine can be significant. Their genetic identification is complicated by the small volume, composition, depending on the migration time and the structure of the waterproof formation, as well as mixing with miner brines of different origin. The development and execution of engineering activities on localization and repayment of hazardous mine brine occurrences most likely and feasible in the initial period of existence of the latter.

Keywords: Water inrush into a mine, sink, underground water, brines, saline deposit, technogenic salinization, level of underground water.

References

1. Kudryashov A. I. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie soley* (Upper Kama salt deposit). Second edition. Moscow: Epsilon Plus, 2013. 368 p.
2. Ikonnikov E. A. O vertikalnoy gidrogeodinamicheskoy i gidrogeokhimicheskoy zonalnosti nadsolevoy tolshchi Verkhnekamskogo mestorozhdeniya soley (Vertical hydrogeodynamical and hydrogeochemical zonal sequence in the supra-salt strata formation at the Upper Kama salt deposit). *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala: materialy regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Geology and commercial minerals of the Western Urals: materials from the regional scientific-and-practical conference). Perm, 2002. pp. 231–233.
3. Shlendova T. K., Mustel I. P. Inzhenerno-gidrogeologicheskie aspekty razrabotki Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley (Engineering-hydrogeological aspects in development of Upper Kama potassium salts deposit). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2007. No. 8. pp. 44–47.
4. Dzhinoridze N. M., Aristarov M. G., Leonkin E. I. Strategiya geologo-geofizicheskogo obespecheniya bezopasnoy ekspluatatsii Verkhnekamskogo mestorozhdeniya (Strategy in geological-geophysical provision for safe exploitation of the Upper Kama deposit). *Aktualnye voprosy dobychi i pererabotki prirodnykh soley: sbornik nauchnykh trudov VNII G* (Topical issues in mining and processing of natural salts: collection of papers of VNII Galurgy). Saint Petersburg: Saint Petersburg State University, 2006. pp. 116–128.
5. Chaykovskiy I. I. Osnovnye etapy formirovaniya tektonicheskikh narusheniy v vodozashchitnoy tolshche Verkhnekamskogo kaliynogo mestorozhdeniya (Main stages in forming tectonic disturbances in the aquifuge strata formation at the Upper Kama potassium deposit). *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining journal*. 2008. No. 4. pp. 41–44.
6. Shemet S. F., Shutin S. G. Zashchita kaliynykh rudnikov ot rassolopritokov (Protection of potassium mines from brine inflows). *Gornyi zhurnal = Mining journal*. 2014. No. 2. pp. 36–40.
7. Podolskiy V. A. Prognoz izmeneniya sostoyaniya gornogo massiva pri zatoplenii shakht (Forecast for change in the state of rock massif under mine flooding). *Gornyi Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten = Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2012. No. 5. pp. 97–100.
8. Deppe S., Pippig M. Prospecting and measures to control the brine inflows at the Merkers mine 9 field in Germany. *Kali und Steinsaltz*. 2002. No. 2. pp. 33–40.
9. Wyett D., Warley F. Catastrophic collapses in the underground evaporitic mines. *Proceedings of NIOSH*. Spokane, Washington, USA, 2011. 248 p.
10. Shvetsov G. I. Problemy zashchity kaliynykh rudnikov ot zatopleniya (Problems of protecting potassium mines from flooding). *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2007. No. 8. pp. 71–74.
11. Osipov V. I., Baryakh A. A., Yastrebov A. A., Mamaev Yu. A., Sanfirov I. A. Karstovaya opasnost pri zatoplenii kaliynogo rudnika v gorode Berezniki Permskogo kraja Rossiyskoy Federatsii (Karst danger during the flooding of potassium mine in the town of Berezniki (Perm region of Russian Federation)). *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya = Environmental geoscience*. 2014. No. 4. pp. 356–361.
12. Gryaznov O. N. Prirodnye i tekhnoprirodnye opasnosti i riski Urala (Natural and technonatural dangers and risks at the Urals). *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining journal*. 2012. No. 1. pp. 47–50.
13. Ponomarenko T. Ecological, economical and social consequences of emergency situations at the potassium mines. *Management Systems in Production Engineering*. 2012. No. 2 (6). pp. 28–31.
14. Baryakh A. A., Sanfirov I. A., Dyagilev R. A. Monitoring posledstviy zatopleniya kaliynogo rudnika (Monitoring of the consequences of the potassium mine flooding). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2013. No. 6. pp. 34–39.
15. *Gidrokhimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchey sredy: spravochnye materialy* (Hydrochemical indices for the state of the environment: reference materials). Under the editorship of T. V. Guseva. Moscow: FORUM, 2007.
16. Shlendova T. K., Mustel I. P., Ostrovskaya E. V. Gidrokhimicheskaya i genetsicheskaya identifikatsiya rudnichnykh rassolov (na primere shakhtnykh poley otkrytogo aktsionernogo obshchestva "Silvinit") (Hydrochemical and genetic identification of mine brines (on the example of JSC "Silvinit" mine fields)). *Aktualnye voprosy dobychi i pererabotki prirodnykh soley: sbornik nauchnykh trudov VNII G* (Topical issues in mining and processing of natural salts: collection of scientific proceedings of VNII Galurgy). Saint Petersburg: Saint Petersburg State University, 2006. pp. 116–128.
17. Ruprecht J. Evaluation of geochemical tools to determine the origin and genesis of saline solutions percolating within rock salt and potassium deposits of the German zechstein basin. *Kali und Steinsaltz*. 2010. No. 2. pp. 24–34.
18. Lawrence K. Assessment of Key Processes Affecting Vertical Transport of Brines in Low Permeability Till Beneath the potassium Salt Piles. *GeoConvention (Canada)*. 2010. No. 5. pp. 12–18.
19. Rollin J. La protection des petites rivieres periurbaines dans les Bouches-du-Rhone depuis les annees 1960: une analyse de la construction locale de la norme environnementale. *Geocarrefour*. 2010. Vol. 85. No. 3. pp. 229–240.