
**ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ
И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

УДК. 556.114

**О СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ
ВОД ТЕРРИТОРИИ г. БЕРЕЗНИКИ С РАЗВИТИЕМ ПРОВАЛЬНЫХ
ПРОЦЕССОВ**

© 2015 г. В. П. Зверев, И. А. Костикова

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,
Уланский пер, д. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия. E-mail: zverev@geoenv.ru*

Поступила в редакцию 19.11.2014 г.

Анализ изменения химического состава подземных вод на территории г. Березники за два года с 17.12.2010 г. до 15.10.2012 г., показал, что депрессионная гидрогеологическая структура, тяготеющая к зоне меридионального сдвига в надсолевой толще, характеризуется резкими колебаниями химического состава подземных вод. Установлен феномен резкого возрастания минерализации и содержания отдельных компонентов подземных вод, предшествующего провалам земной поверхности, в находящихся в достаточной близости к ним скважинах. Анализ времени образования провалов с периодом начала и, особенно, с датами запланированного и катастрофического прекращения засыпки воронок, показывает их тесную связь с резкими подъемами минерализации и содержания большинства компонентов подземных вод. Представляется, что значительные скачки минерализации и содержания большинства компонентов, в известной степени могут служить предвестниками развития негативных явлений, в том числе возможности возникновения провалов.

Ключевые слова: *Березники, подземные воды, химический состав, минерализация, мониторинг, гипс, галит, карстовый процесс, воронки, провалы.*

Химический состав подземных вод, контролирующей экзогенные процессы в толще горных пород района г. Березники, в современную эпоху весьма изменчив как в пространстве, так и во времени, что связано с разработкой калийных месторождений и техногенными авариями.

На основании результатов регулярных исследований подземных вод региона, выполненных Горным институтом УрО РАН, в пределах территории г. Березники можно выделить два основных геоструктурных блока: северо-восточнее и юго-западнее Зыряновского сдвига [1]. Первый тяготеет к Березниковскому соляному поднятию, второй – к депрессионным структурам в бассейне р. Зырянки. Огромную роль в развитии гидрогеологических процессов играет меридиональный сдвиг в надсолевой толще (рис. 1), протягивающийся примерно в 1 км к западу от плотины Зыряновского пруда. Именно к зоне этого сдвига, характеризующегося высокой трещиноватостью, кавернозностью и степенью преобразования пород надсолевой толщи, их проницаемостью и водонасыщенностью, и приурочены провалы земной поверхности 2007, 2010 и 2011–2012 гг. Оче-

видно, в результате врезания долины р. Зырянки и произошел размыв терригенно-карбонатных пород на участке скважин 1с – 12с (рис. 2), тяготеющих к ослабленной зоне меридионального сдвига. Весьма вероятно, что это способствовало проникновению неравновесных с гипсом и галитом подземных вод в более глубокие горизонты [2] и привело к развитию карстовых процессов в соляно-мергельной толще.

В распоряжении авторов находились результаты мониторинга химического состава подземных вод терригенно-карбонатного комплекса за период с 25.11.2010 г. по 19.10.2012 г., т.е. непосредственно со времени образования второго провала. К сожалению, ко всему этому периоду относятся данные, полученные только для 2-х скважин, находящихся в непосредственной близости к провалу (скважины с-5 и 160г). Регулярные наблюдения по другим скважинам относятся к периоду 31.11.2011–18.10.2012 гг., т.е. за месяц до и месяц после образования 3-го провала и катастрофы, произошедшей в ходе его засыпки. Именно в связи с образованием упомянутых провалов при изучении химического состава подземных вод в

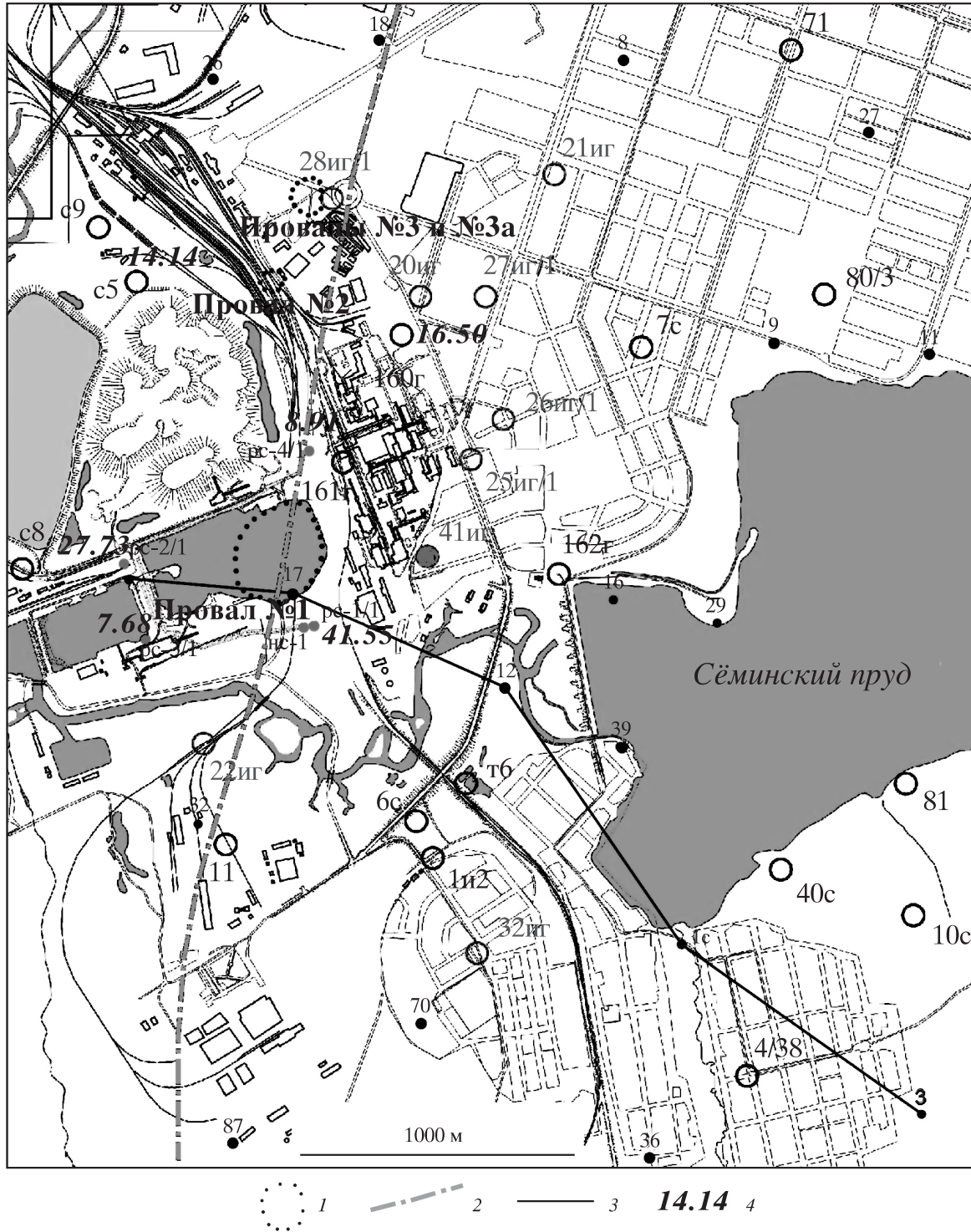


Рис. 1. Схема района развития провальных процессов на территории г. Березники: 1 – провал и его номер, 2 – меридиональный сдвиг в надсолевой толще, 3 – линия геологического разреза, 4 – минерализация подземных вод, г/л.

настоящей статье сделан акцент на его изменения во времени.

Особенности формирования химического состава подземных вод района Березники обуславливаются в основном его геолого-структурными

условиями [4]. Северо-восточной блок характеризуется сравнительно стабильными маломинерализованными (в основном менее 1.0 г/л) сульфатно- и хлоридно- гидрокарбонатными водами терригенно-карбонатного комплекса. Значительно более изменчива минерализация подземных

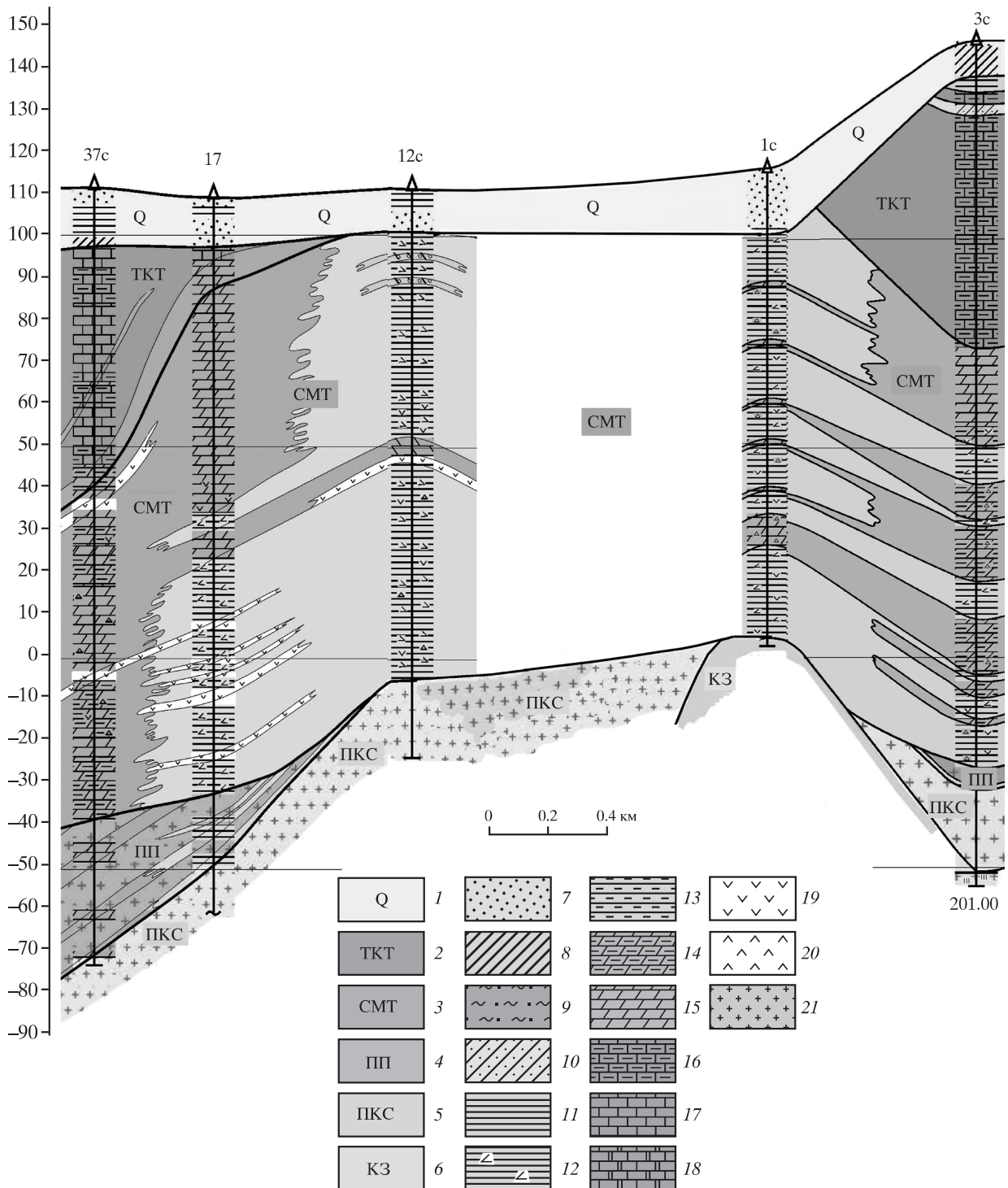


Рис. 2. Разрез по линии скважин 37с–17с–12с–1с–3с: 1 – четвертичные отложения, 2 – терригенно-карбонатная толща, 3 – соляно-мергельная толща, 4 – переходная пачка, 5 – покровная каменная соль, 6 – карналитовая зона, 7 – песок, 8 – суглинок, 9 – алевроит, 10 – песчаник, 11 – глина, 12 – глина мергелистая, 13 – аргиллит, 14 – мергель глинистый, 15 – мергель, 16 – известняк глинистый, 17 – известняк, 18 – известняк доломитизированный, 19 – гипс, 20 – ангидрит, 21 – каменная соль.

вод юго-западного структурного блока, которая колеблется от единиц до нескольких десятков г/л при достаточно стабильном хлоридном составе. Поскольку основные компоненты хлоридных подземных вод рассматриваемого региона, – хлор

и натрий, синхронно повторяющиеся, или скорее определяющие минерализацию вод, то на изменении их концентрации останавливаться не будем.

Более детально изменение минерализации подземных вод и содержания некоторых хими-

ческих элементов рассмотрено для наиболее характерных участков названных выше блоков на примере отдельных режимных скважин. Так северо-восточный блок хорошо иллюстрируется скважинами 19иг и 29иг, для которых характерна достаточно выдержанная стабильность состава и минерализации вод даже в периоды подготовки и образования провалов.

Значительно более неоднороден юго-западный блок, отделенный от северо-восточного Зыряновским надвигом. Уже в примыкающих к нему скважинах 27 и 20 минерализация подземных вод терригенно-карбонатного комплекса значительно выше, достигает 4–5 г/л, и, как и содержание отдельных компонентов, испытывает существенные колебания, возрастая иногда в 2 раза.

Резко отличаются от рассмотренных выше подземные воды терригенно-карбонатного комплекса в восточной части Березников (скв. 17иг). Они, имея хлоридный состав, достаточно высоко минерализованы (до 30–60 г/л). Это может объясняться как влиянием подземных вод более глубоких горизонтов, так и поступлением продуктов растворения солевых валов, размещенных восточнее. Последнее весьма вероятно, так как минимальные минерализации (~30 г/л) и соответственно концентрации остальных компонентов, за исключением сульфатов, меняются пропорционально.

Совершенно другой режим изменения минерализации и концентрации отдельных компонентов характеризует подземные воды, примыкающие к уже упомянутому выше меридиональному сдвигу в надсолевой толще и расположенные в сравнительной близости к провалам (см. рис. 1.).

Рассмотрим изменение минерализации подземных вод более детально на примере скважины 160 г в пробах, отобранных с глубины 45 м (рис. 3 и 4).

После образования 2-го провала (25.11.2010 г.) минерализация воды в скважине до августа 2011 г. изменялась в пределах порядка 4–7 г/л, но в процессе его засыпки с сентября она стала возрастать, достигнув максимума в 16.5 г/л к середине ноября 2011 г., т.е. практически за три недели до 3-го провала (04.12.2011 г.). После его формирования произошло резкое падение минерализации подземных вод до 9.7 г/л (12.12.2011 г.), и до конца апреля она достаточно плавно снижалась до 6.1 г/л.

Воронку 3-го провала стали засыпать, в нее было уложено около 400 тыс. т песчано-гравийной смеси, в результате чего произошло повторное обрушение (15.09.2012 г.), и на месте сравнитель-

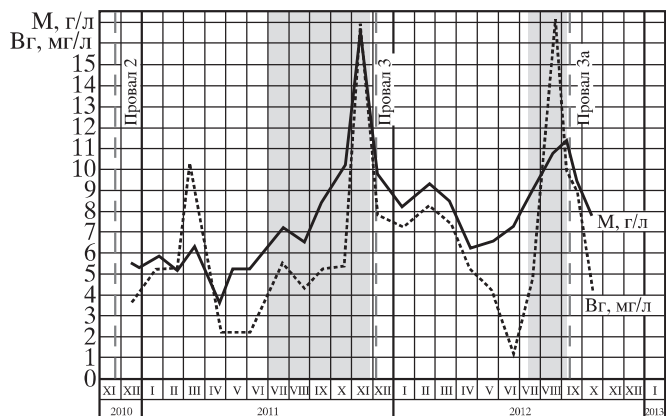


Рис. 3. Изменение минерализации и содержания брома в скважине 160 г (глубина 45 м) во времени. Здесь и далее на рис. 4–6 вертикальной серой заливкой обозначены периоды засыпки воронок.

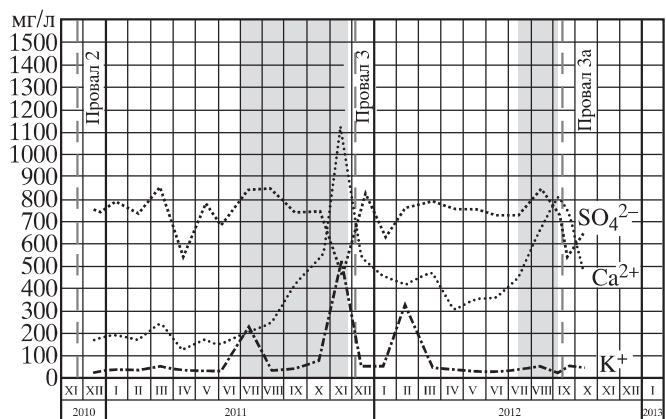


Рис. 4. Изменение содержания K, Ca, SO_4^{2-} в скважине 160 г во времени.

но небольшой воронки возник провал, площадь которого со временем достигла 132×137 м [3].

На рис. 3 видно, что за 4 дня до этой катастрофы был зафиксирован второй этап подъема минерализации до 11.2 г/л и ее последующее снижение до 7.8 г/л к середине октября 2012 г.

Изменению минерализации подземных вод, величина которой, как уже сказано выше, обусловлена в основном суммарным содержанием натрия и хлора, достаточно близко соответствовали колебания концентраций брома и кальция, менее значительно калия и гидрокарбоната (см. рис. 4). В то же время содержание сульфатов и показатель pH имели тенденцию к снижению.

Заслуживает внимания тот факт, что подобные изменения минерализации и концентрации отдельных компонентов были установлены еще в

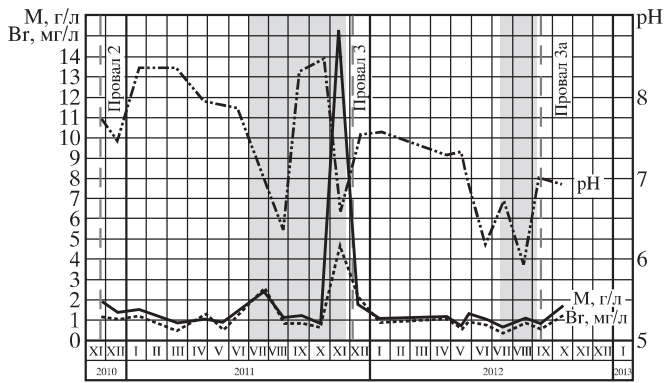


Рис. 5. Изменение минерализации, pH и содержания брома в скважине с-5 (глубина 12.5 м) во времени.

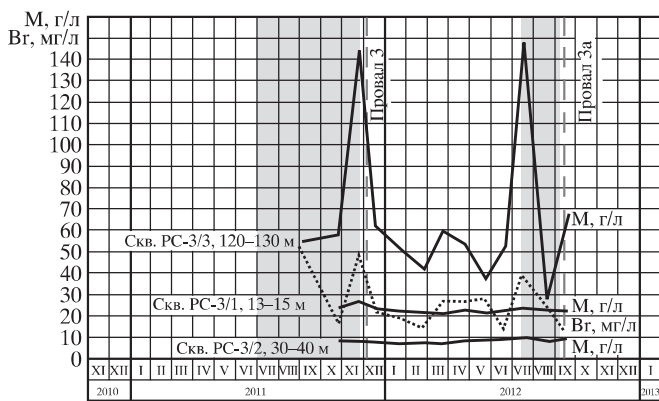


Рис. 6. Изменение минерализации в скважинах: pc-3/1 (интервал 13–15 м), pc-3/2 (интервал 30–40 м), pc-3/3 (интервал 120–130 м), во времени.

двух скважинах, расположенных в районе развития провальных процессов. Это скважина с-5, в которой отбор проб воды осуществлялся с глубины 12.5 м (рис. 5), и скважина pc-3/3, где пробы воды отбирались в интервале 120–130 м (рис. 6). Вместе с тем, в пробуренных рядом с последней скважинах pc-3/1 и 3/2 и группе скважин pc-1/1, 1/2 и 1/3 отбор проб в которых осуществлялся на меньших глубинах в интервале 15–45 м, каких-либо заметных изменений минерализации не было зафиксировано (см. рис. 6).

Приведенные выше данные показывают, что изменения химического состава подземных вод наблюдались в основном в скважинах, тяготеющих к меридиональному сдвигу в надсолевой толще и находящихся в относительной близости к участкам развития провалов.

Резкие колебания минерализации и содержания отдельных компонентов в подземных водах рассматриваемого участка района Березников тесно связаны со временем засыпки 2-го прова-

ла, образования 3-го и его дальнейшей активизации в процессе засыпки. Возникновению провала предшествовал рост минерализации подземных вод в породах карбонатно-терригенной толщи в пробах (см. рис. 5 – скв. с-5, проба с глубины 12.5 м; рис. 3 и 4 – скв. 160 г, проба с глубины 45 м) и в породах соляно-мергельной толщи (см. рис. 6 – скв. pc 3/3, проба с глубины 120–130 м).

Изменения минерализации подземных вод, предшествующие обрушению засыпаемого 3-го провала, менее контрастны. В пробах из скв. 160 г и 22г они выражены достаточно хорошо, но менее четко, чем в первом случае, в скв. с-5-полностью отсутствовали, а в скв. pc 3/3 после резкого скачка примерно за два месяца, непосредственно перед обрушением отмечено очень резкое падение минерализации подземных вод (см. рис. 6). Все отмеченные скачки увеличения минерализации и концентрации большинства компонентов химического состава подземных вод уже на следующем шаге мониторинга сменялись их резким падением.

Несомненно, изменения химического состава подземных вод обусловлены единым гидродинамическим режимом всего массива терригенно-карбонатной и соляно-мергельной толщ, включая затопленные шахты в солевом массиве и полости, образующиеся при растворении соляных пород.

Сопоставляя периоды подъема минерализации и содержания большинства компонентов подземных вод со временем образования 3-го провала, начала и особенно со временем запланированного и фактического (из-за обрушения) прекращения засыпки воронок, отметим их явную взаимосвязь. Плавное увеличение минерализации и содержания компонентов с начала засыпки воронок в период, непосредственно предшествующий провалу, переходит в резкие подъемы. Особенно контрастно эти скачки проявляются в подземных водах глубоких горизонтов, как например в скв. pc-3/3. По-видимому, это связано с перераспределением напоров подземных вод в гидравлически связанной системе и вытеснением более минерализованных вод в верхние горизонты по наиболее ослабленным и проницаемым зонам. После образования провалов гидродинамические напоры падают, и химический состав подземных вод возвращается к прежнему состоянию.

Представляется, что рассмотренные в статье значительные скачки минерализации и содержания большинства компонентов в подземных водах в известной степени могут служить предвестниками развития негативных явлений, в том числе возможности возникновения провалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.
2. Осипов В.И., Зверев В.П., Костикова И.А., Мамеев Ю.А. О гидрогеохимических особенностях взаимодействия воды и пород в Верхнекамском соленосном бассейне // Геоэкология. 2014. № 5. С. 404–409.
3. Провалы в Березниках // http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Провалы_в_Березниках&oldid=6598857
4. Ходьков А.Е., Часовникова Е.В., Малкин Г.А. Гидрогеологические особенности надсолевой толщи Верхнекамского калийного месторождения // Гидрогеология и охрана недр при разработке соляных месторождений. Л.: ВНИИГ, 1976. С. 120–125.

CHANGES IN GROUNDWATER CHEMICAL COMPOSITION IN THE BEREZNIKI AREA AS RELATED TO THE SINKHOLE DEVELOPMENT

V. P. Zverev, I. A. Kostikova

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences
Ulanskii per. 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia. E-mail: zverev@geoenv.ru*

Analysis of changes in the chemical composition of groundwater in the Berezniki territory for the two-year period, since 17.12.2010 till 15.10.2012, showed that the depressional hydrogeological structure confined to the meridional fault zone in the above-salt massif is characterized by sharp fluctuations in the chemical composition of groundwater. A sufficiently close connection is revealed between the formation of surface sinkholes and a sharp increase in the salinity and concentration of individual components of the groundwater (registered in the wells drilled quite close to these sinkholes). The dates of sinkholes formation beginning, as well as the time of beginning and termination (both planned and disastrous) of sinkhole backfilling correlate closely with a drastic rise in the salinity and the content in the bulk of groundwater components. It appears that significant jumps in mineralization and content of most of the components, to a certain extent can serve as precursors to the development of adverse effects, including the possibility of sinkhole formation.

Keywords: *Berezniki, groundwater, chemical composition, mineralization, monitoring, gypsum, halite, karst processes, craters, sinkholes, collapses.*