УДК 622.583.2:55.3.81

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.03.105

Шкиль Ирина Эдуардовна
главный гидрогеолог,
ПАО «Севералмаз»,
163000, г. Архангельск, ул. К. Маркса, 15
e-mail: IShkil@severalmaz.ru

Поршнев Александр Игоревич
участковый гидрогеолог,
Ломоносовский ГОК, ПАО «Севералмаз»,
163000, г. Архангельск, ул. К. Маркса, 15
e-mail: APorshnev@severalmaz.ru

Малов Александр Иванович
доктор геолого-минералогических наук, доцент,
директор Института геодинамики и геологии,
Федеральный исследовательский центр
комплексного изучения Арктики РАН,
163061, г. Архангельск,
Наб. Северной Двины, 23
e-mail: malovai@yandex.ru

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ОСУШЕНИИ КАРЬЕРОВ ЮЖНОЙ ГРУППЫ ТРУБОК МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА*

Аннотация:

Эксплуатация карьерного водоотлива на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова начата в 2003 г., опережающее осушение массива вмещающих пород системой водопонижающих скважин – в 2005 г. Интенсивный дренаж в течение нескольких десятков лет вызовет формирование мощной депрессионной воронки, в пределах которой существенно изменится глубина залегания подземных вод, а также приведет к существенному опреснению водоносной толщи в районе месторождения и изменению гидрохимической обстановки на прилегающих площадях.

Ключевые слова: подземные воды, карьер, водопонижение, химический состав, изотопы урана

Shkil Irina E.
chief hydro-geologist.
PJSC Severalmaz,
163000, Arkhangelsk, 15 K. Marx st.
e-mail: IShkil@severalmaz.ru

Porshnev Alexander I.
district hydro-geologist.
PJSC Severalmaz,
The Lomonosovsky integrated works
e-mail: APorshnev@severalmaz.ru

Malov Alexander I.
Doctor of geological and mineralogical sciences,
the director of the Institute of geology
and geo-dynamics,
Federal research center
for integrated Arctic study RAS,
163061, Arkhangelsk, 23 Severnay Dvina Emb.
e-mail: malovai@yandex.ru

HYDRO-GEO-ECOLOGICAL CONDITIONS CHANGING UNDER PITS DRAINAGE OF THE SOUTHERN GROUP OF TUBES IN THE M. V. LOMONOSOV DEPOSIT

Abstract:

Open pit water drainage exploitation in the Lomonosov diamond deposit started in 2003, enclosing rock mass advanced dewatering was begun in 2005 by the system of water sinking holes. Intensive drainage during several dozens of years will cause powerful cone of influence formation within the limits of which ground waters depth position will be considerably changed. This will also lead to essential water-bearing width desalination in the site of the deposit as well as to hydro-chemical conditions modification in adjacent areas.

Key words: ground waters, open pit, water lowering, chemical composition, uranium isotopes.

Введение

При разработке месторождений полезных ископаемых характерно интенсивное воздействие техногенных факторов изменения геоэкологических условий окружающей среды. Не является исключением и район разработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова в осадочном бассейне Мезенской синеклизы. По результатам геологоразведочных работ, выполненных в 1980 –1987 гг., запасы алмазов утверждены до глубины 450 м по шести кимберлитовым трубкам: Архангельской, им. Карпинского-1, 2

* Исследования выполнены при поддержке РФФИ и Правительства Архангельской области грант №14-05-98803_р_север_а

(южная группа) и Пионерской, Поморской, им. Ломоносова (северная группа). Предложена их отработка открытым способом с соответствующей глубиной карьеров. Ввиду сложных инженерно-геологических и горнотехнических условий сделан вывод о необходимости предварительного осушения массива горных пород системой водопонизительных скважин. По расчетам это вызовет формирование мощной депрессионной воронки, в пределах которой существенно изменится глубина залегания подземных вод. Интенсивный дренаж в течение нескольких десятков лет приведет к существенному опреснению водоносной толщи в районе месторождения и изменению гидрохимической обстановки на прилегающих площадях. Необходимо детальное исследование закономерностей развития воронки депрессии и процессов формирования дренажных вод в условиях подтягивания поверхностных вод реки и соленых вод глубоких горизонтов с прогнозом изменения состава подземных вод в районе действия водопонизительных систем.

В данной статье рассматриваются результаты исследований, выполненных с начала отработки трубок Архангельская (2003 г.) и им. Карпинского-1 (2007 г.).

Материал и методы

Для исследования закономерностей развития депрессионной воронки выполнено сооружение наблюдательной сети из 151 скважин, расположенных в радиусе до 8,5 км от разрабатываемых трубок, в том числе – 79 скважин глубиной от 15 до 50 м на водоносный комплекс перекрывающих отложений (Q_{IV} и C_2), 49 скважин глубиной 100 – 220 м на водоносный комплекс падунской свиты венда (V_2pd) и 22 скважины глубиной по 300 м на водоносный комплекс мезенской свиты венда (V_2mz). Периодичность замеров уровня воды в наблюдательных скважинах режимной сети варьирует от недели до месяца, в зависимости от удаленности скважины от центра карьера. Отбор проб воды на химические анализы производится с периодичностью 1 раз в год. Анализы выполняются в лабораториях ФГБУ САС "Архангельская" и ЛМПВ ЦМС Архангельского Центра Гидрометеорологии.

Соответствующие исследования выполняются и на водопонизительных скважинах (ВПС). Кроме того, на последних выполнено детальное изучение макро- и микроэлементного состава подземных вод с использованием масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) (Agilent 7500), атомно-абсорбционной спектрометрии (AAS) (Perkin-Elmer 5100 PC), ионной хроматографии (HPLC, Dionex ICS 2000) в 38 пробах, отобранных в 2012 – 2013 гг. из водоносного комплекса алевролитов и песчаников падунской свиты венда.

Результаты и обсуждение

1. Снижение уровня подземных вод

Глубина карьеров к настоящему времени составляет 135 м на трубке Архангельская (рис. 1) и 100 м на трубке им. Карпинского-1. Эксплуатация карьерного водоотлива начата в 2003 г., опережающее осушение массива вмещающих пород системой водопонижающих скважин – с 2005 г. [1]. По состоянию на 01.11.2015 защита карьеров от подземных вод осуществляется внешним дренажным контуром из 55 ВПС с суммарным дебитом 4440 м^3/ч. При этом производительность карьерного водоотлива на трубке Архангельская составляет около 1018 м^3/ч, а на трубке им. Карпинского-1 – 312 м^3/ч (рис. 2).

Основную роль в обводнении месторождения играет водоносный комплекс вмещающих пород падунской свиты венда; мощность комплекса в пределах месторождения составляет 160 – 180 м, коэффициент фильтрации ($k_ф$) – 1,5 – 1,7 м/сут. Комплекс не ограничен в плане, выдержан в разрезе по всей территории месторождения и представлен неравномерным чередованием пачек песчаников, алевролитов и в меньшей степени аргиллитов. Подчиненную роль играет верхний гидродинамический этаж перекрывающих отложений, объединяющий водоносные горизонты четвертичных отложений и урзугской свиты среднего карбона, сложенный слабосцементированными мелкозернистыми глинистыми песчаниками мощностью 25 – 30 м ($k_ф$ 1,0 м/сут). В основании разреза

залегает мощный (более 700 м), характеризующийся низкими фильтрационными свойствами водоносный комплекс мезенской ($k_ф$ менее 0,1 м/сут) и усть-пинежской ($k_ф$ менее 0,001 м/сут) свит венда, представленный неравномерным чередованием алевролитов и аргиллитов с редкими маломощными прослоями песчаников. По отношению к падунскому комплексу он является относительным водоупором. Трубки взрыва прорывают вендские отложения и перекрываются породами каменноугольного и четвертичного возрастов. В них выделяется верхняя кратерная часть мощностью 110 – 150 м, сложенная туфопесчаниками и туффитами, и нижняя жерловая, представленная кимберлитовой брекчией. Для кратерной фации характерна повышенная проницаемость ($k_ф$ ~ 0,6 – 0,9 м/сут), для жерловой она значительно ниже ($k_ф$ ~ 0,02 м/сут).

Рис. 1 – Карьер на трубке Архангельская в сентябре 2015 г., глубина карьера 135 м

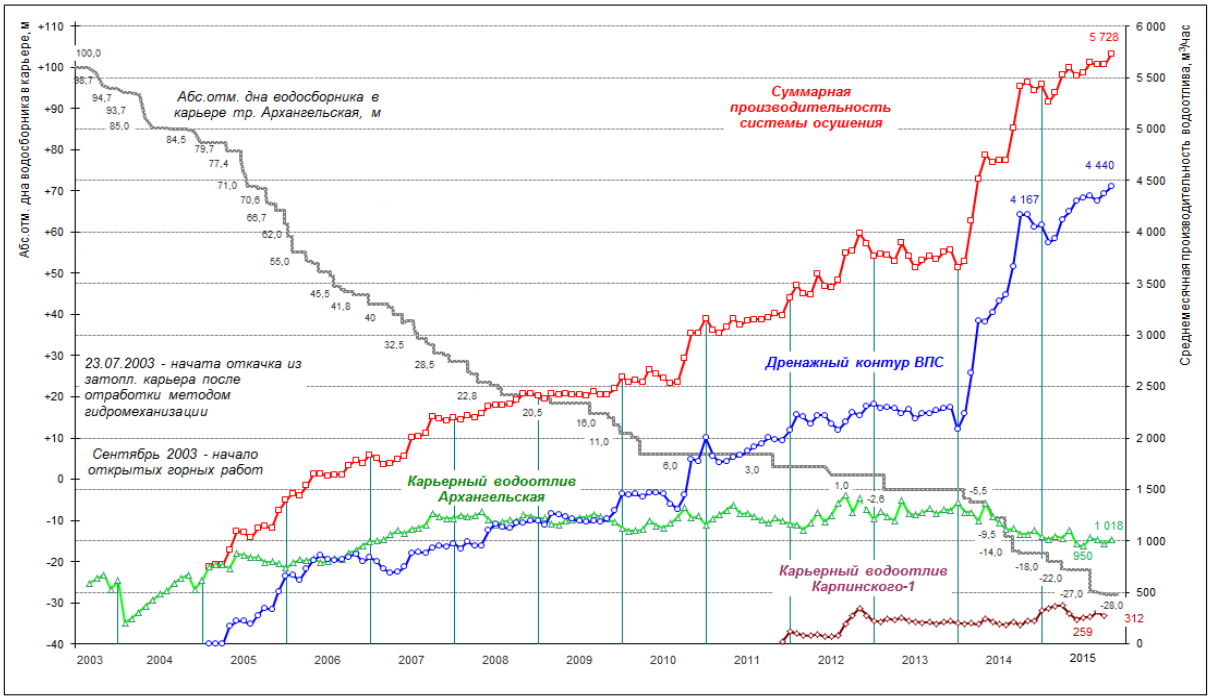

Рис. 2 – Динамика изменения производительности водоотлива при отработке Южной группы трубок в 2003 – 2015 гг.

В результате работы системы осушения карьеров на протяжении более 10 лет в районе Южной группы трубок сформировалась депрессионная воронка, которая в падунском водоносном комплексе имеет условно симметричную форму со средним радиусом 6,0 – 6,5 км (рис. 3). Наиболее активно воронка развивается в настоящий момент в восточном – северо-восточном направлении, что связано с повышенной водопроводимостью основных водоносных комплексов в этом направлении (400 – 700 м^2/сут) и удаленностью контура обеспеченного питания – реки Кепины. Минимальны снижения уровня воды в южном – юго-западном направлении, где водопроводимость снижается до 140 – 310 м^2/сут и дренируются верховья реки Светлой.

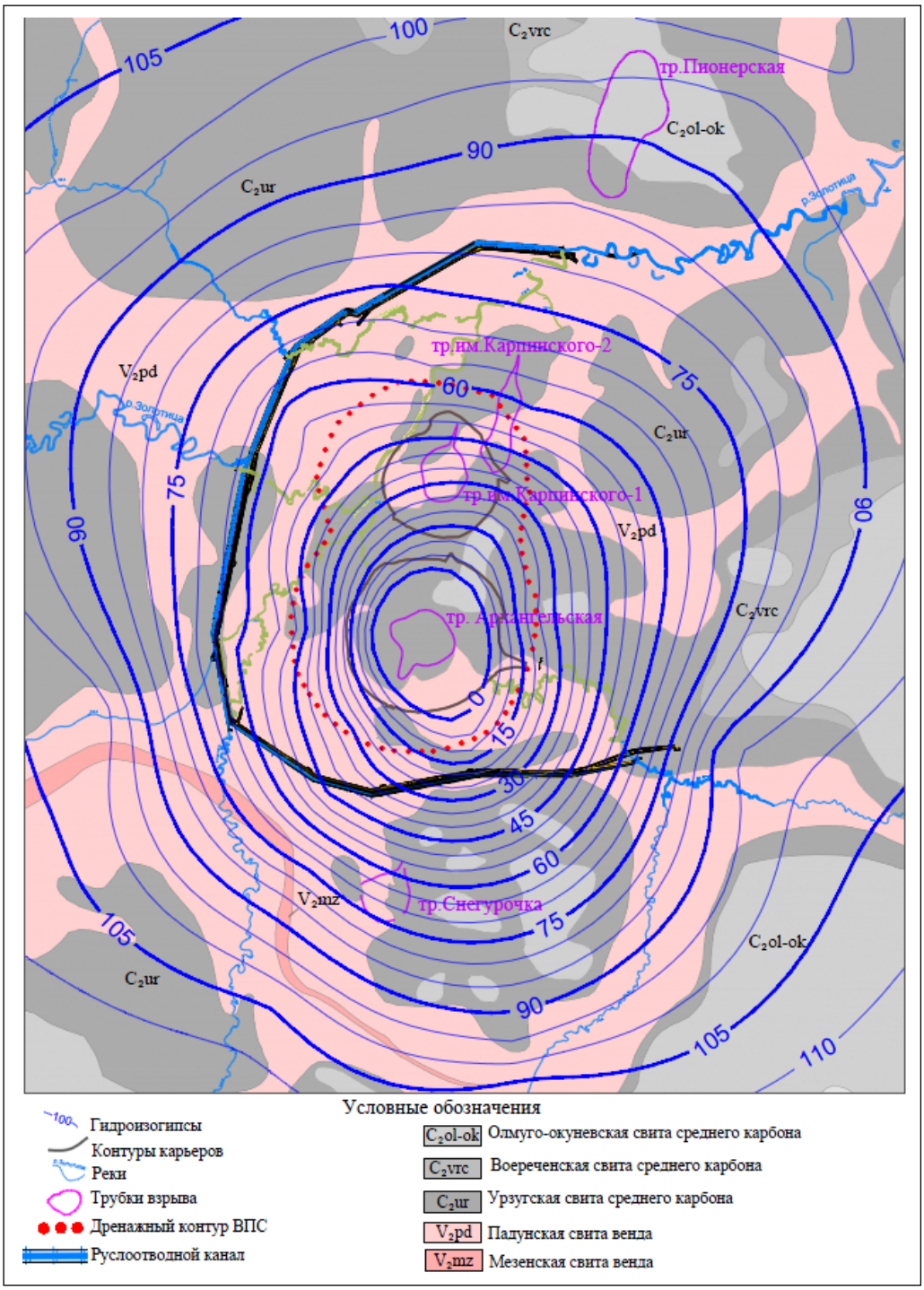

Рис. 3 – Воронка депрессии в падунском водоносном комплексе в сентябре 2015 г.

2. Изменение состава подземных вод

Верхняя часть осадочного чехла мощностью до 200 – 250 м на водоразделах входит в зону активного водообмена, характеризуемую развитием пресных подземных вод. К самой верхней части разреза (10 – 30 м), представленной четвертичными песками, приурочены маломинерализованные (~140 мг/л) HCO_3-Ca подземные воды, характеризуемые значениями pH порядка 7,8 и низкими (менее 1 мг/л) концентрациями калия, сульфатов и кремнекислоты. Достаточно близкий химический состав имеют и подземные воды карбонатов олмугско-окуневской свиты и песчаников урзугской свиты среднего карбона, общая минерализация (TDS) которых немного превышает 150 мг/л, они имеют тот же HCO_3-Ca состав, что и воды четвертичных отложений. Их минерализация (TDS – total dissolved solids – общее количество растворенных твердых веществ) обусловлена в основном растворением карбонатных минералов в области питания водоносных горизонтов. Нижняя часть зоны активного водообмена приурочена к алевролитам и песчаникам падунской свиты венда. Относящиеся к ней подземные воды характеризуются несколько более высокой TDS, колеблющейся в пределах 210 – 850 мг/л. Их состав меняется от HCO_3-Ca при TDS до 260 мг/л до HCO_3-Na при TDS до 400 мг/л и HCO_3-Cl-Na при TDS до 850 мг/л с соответствующим увеличением pH от 8 до 9,2 (рис. 4).

а *б*

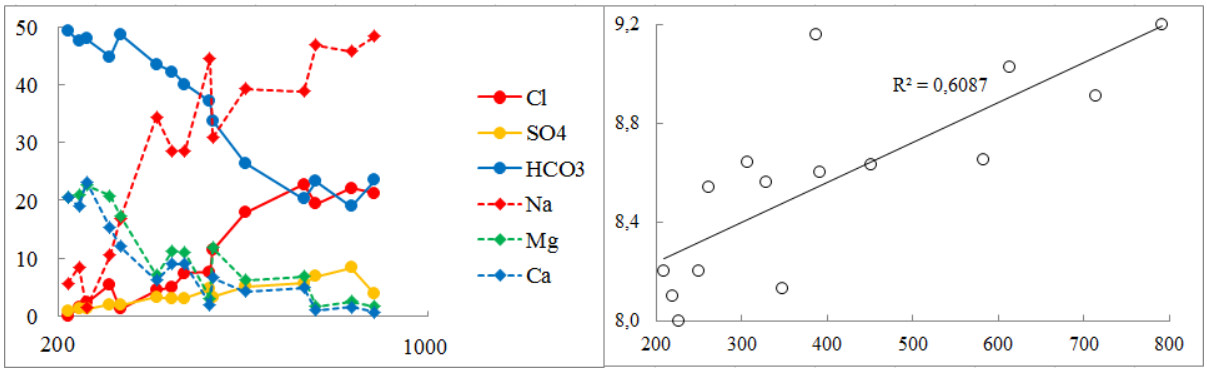

Рис. 4 – Состав подземных вод падунской свиты венда по данным анализов 2012 г.:
а – график зависимости концентрации основных ионов (мг-экв. %) от TDS (мг/л),
б – график зависимости pH от TDS (мг/л)

Эти воды находятся в области транзита из области питания в область разгрузки в реку Золотицу и представляют собой смесь пресных HCO_3-Ca вод с солоноватыми водами, развитыми под долиной реки; возможно влияние на их состав процессов гидролиза алюмосиликатов.

В естественных условиях основной дреной подземных вод является река Золотица, под глубоко врезанной палеодолиной которой на северном фланге трубки им. Карпинского-1 в падунском водоносном комплексе встречены воды Cl-Na состава с повышенными значениями общей TDS. Предположительно эти воды поступали в водоносный комплекс падунской свиты венда при таянии валдайского ледника и впоследствии повысили TDS за счет взаимодействия с водовмещающими отложениями (гидролиз алюмосиликатов) и смешения с солеными водами с TDS 14 – 24 г/л, которые содержатся в нижезалегающей слабопроницаемой толще пород мезенской свиты венда и частично разгружаются в речную долину [2]. Это обусловило различие в формировании химического состава дренажных вод при эксплуатации системы осушения двух карьеров (рис. 5 и 6).

За 10 лет эксплуатации карьера трубки Архангельская значения сухого остатка карьерных вод практически не изменились (рис. 5), варьируя в диапазоне 214 – 560 мг/л при среднем значении 400 – 450 мг/л. Случаются кратковременные повышения минерализации весной (апрель – май), которые объясняются тем, что в зимнее время разгрузка минерализованных вод в карьер по контактам с трубкой затруднена из-за промерзания

пород и образования наледей на дне и в бортах выработки, а с наступлением оттепели происходит разовое поступление минерализованных вод к водосборнику карьера. Подобные повышения зафиксированы и по трубке им. Карпинского-1 (рис. 6). Увеличение минерализации карьерных вод наблюдается также при понижении горных работ и, соответственно, сработке напоров минерализованных вод в приконтактовой зоне.

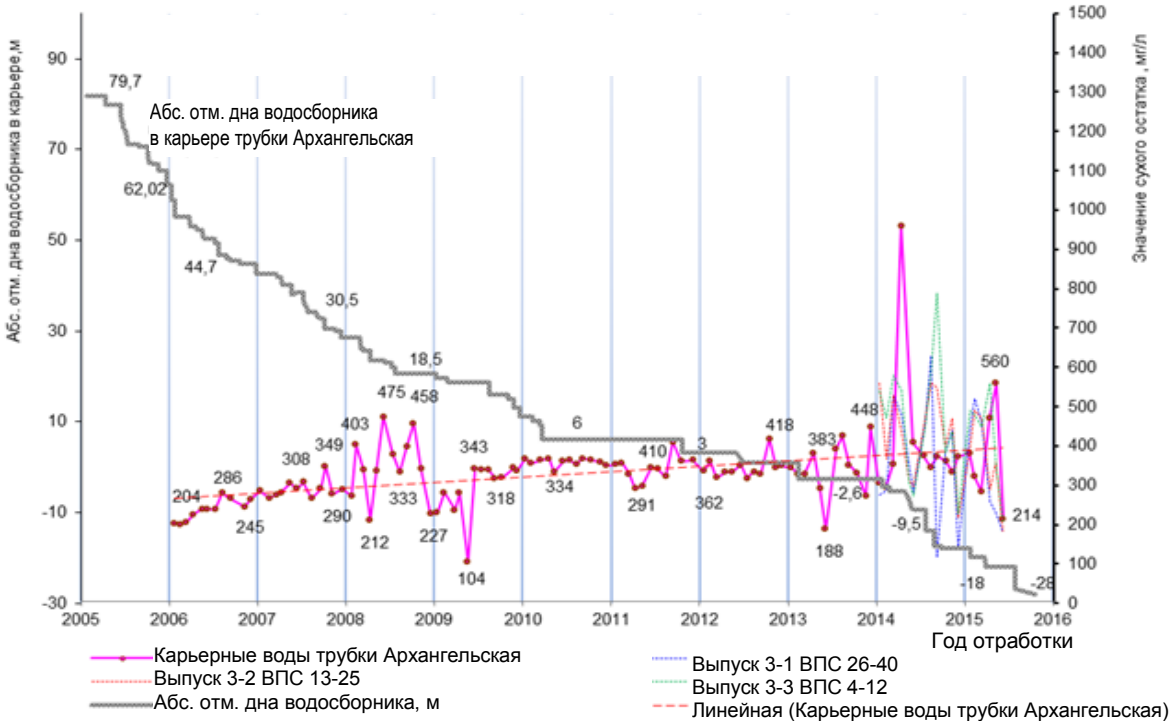

Рис. 5 – Изменение значений сухого остатка в карьерных водах при отработке карьера трубки Архангельская

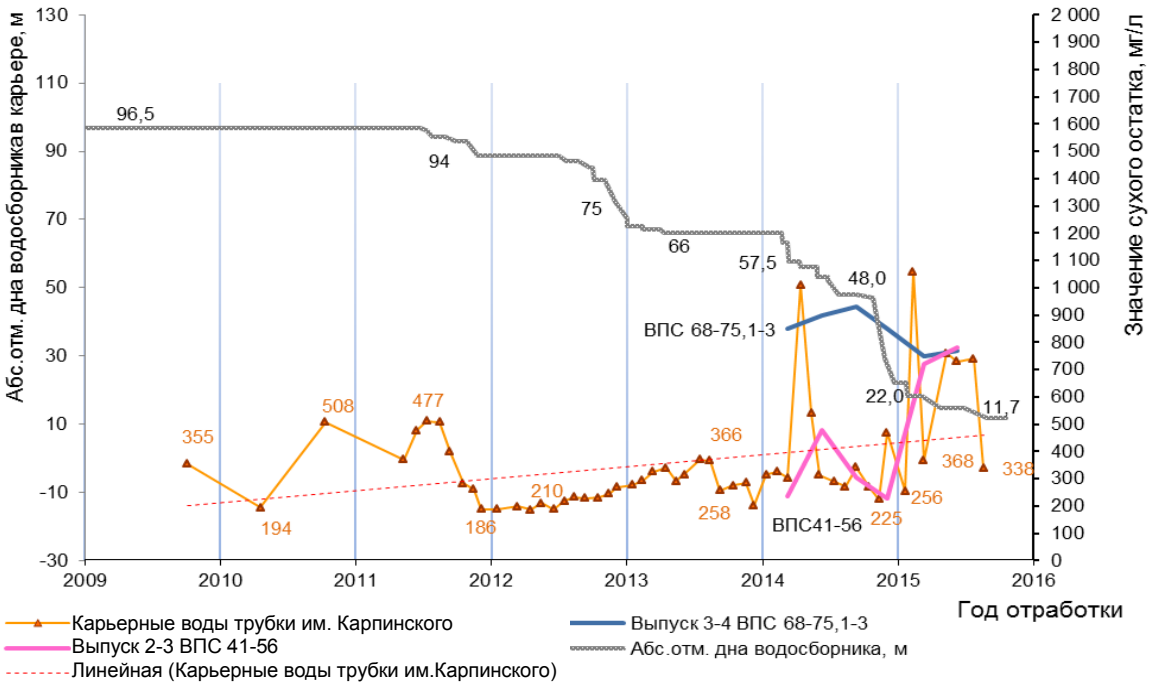

Рис. 6 – Изменение значений сухого остатка карьерных вод при отработке карьера трубки им. Карпинского-1

Сравнение результатов анализов подземных вод, извлекавшихся водопонизительными скважинами в 2006 и 2012 гг., позволило выявить некоторые закономерности изменений уран-изотопного состава подземных вод в условиях техногенного преобразования. Как видно на рис. 7, в подземных водах за период 2006 – 2012 гг. произошло повышение общей минерализации (TDS) и активностей изотопов урана при снижении значений отношений активностей изотопов.

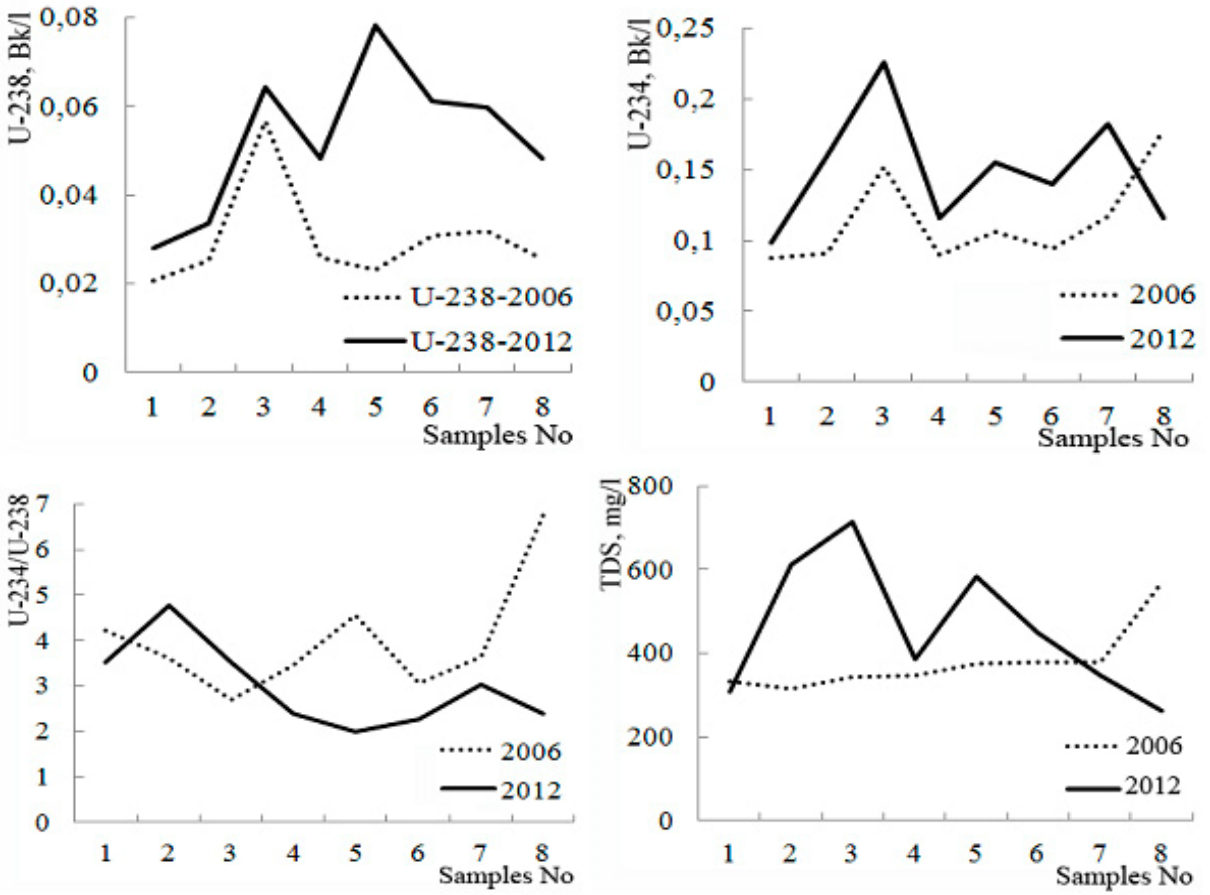

Рис. 7 – Изменение активностей изотопов урана и их соотношения и общей минерализации подземных вод (TDS), извлекаемых водопонизительными скважинами карьера на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова в 2006 – 2012 гг.

Уран-изотопный состав воды отражает баланс между эффектами α-отдачи и скоростью растворения горных пород: чем ниже значение отношения 234U/238U, тем выше скорость химического растворения пород по сравнению со скоростью их радиационного разрушения. Рисунки демонстрируют тот очевидный факт, что при более высокой степени растворения пород в воду переходит большее количество урана, и его активность и концентрация возрастают. Вторым фактором, определяющим изменение отношения активностей изотопов урана, является продолжительность пребывания подземных вод в водоносном горизонте. В соответствии с законом радиоактивного распада происходит снижение отношения активностей изотопов одного семейства. Таким образом, наблюдаемые изменения уран-изотопного состава подземных вод можно связывать с подтягиванием к водопонизительным скважинам подземных вод с более высокой степенью неравновесности по отношению к водовмещающим породам. Последнее может иметь место при меньшей минерализации подземных вод, пониженных значениях их pH, повышенной активности водообмена. Однако в нашем случае наблюдается повышение минерализации. Повышение минерализации подземных вод, откачиваемых водопонизительными скважинами, может быть связано с подтягиванием более минерализованных вод из залегающих ниже отложений мезенской свиты венда и со стороны расположенной западнее карьера палеодолины реки Золотица, где ранее проводившимися работами установлено

наличие минерализованных вод как в мезенской, так и в нижней части отложений падунской свиты венда [2]. Следовательно, наиболее вероятной причиной наблюдаемых изменений состава дренируемых водопонизительными скважинами подземных вод может являться повышение активности их водообмена.

Значения сухого остатка дренажных вод, откачиваемых ВПС вокруг трубки Архангельская, варьируют в интервале значений от 200 до 600 мг/л. При этом наибольшие значения минерализации (TDS) отмечены по скважинам, расположенным на западном борту карьера (ВПС4 и ВПС6), наиболее близко к долине реки Золотицы, по ВПС21, расположенной на южном борту карьера трубки Архангельская. По скважинам ВПС4 и ВПС6 минерализация (TDS) повышалась с 2010 по 2014 год (с 515 до 830 мг/л – по ВПС4 и с 520 до 890 мг/л – по ВПС6), а затем снизилась до 700 мг/л (ВПС4) и до 750 мг/л (ВПС6) и стабилизировалась. По ВПС21 минерализация (TDS) с 570 мг/л в 2012 г. увеличилась до 900 мг/л в 2014 г. и также снизилась и установилась в пределах 750 – 850 мг/л в 2015 г. Соответственно, до 2014 г. происходило и повышение концентраций большинства компонентов химического состава (рис. 8).

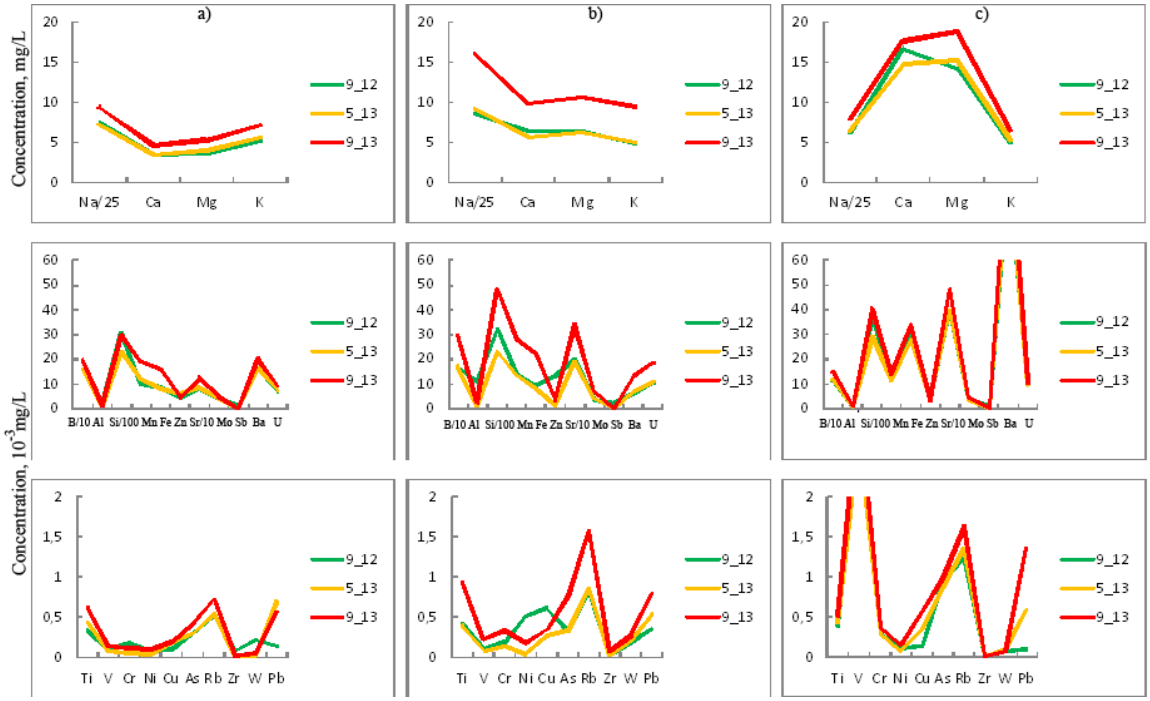

Рис. 8 – Изменение макро- и микрокомпонентного состава подземных вод по пробам, отобранным из водопонизительных скважин ВПС4 (a), ВПС6 (b) и ВПС21 (c) в сентябре 2012 г. (9_12) и в мае и сентябре 2013 г. (5_13 и 9_13, соответственно)

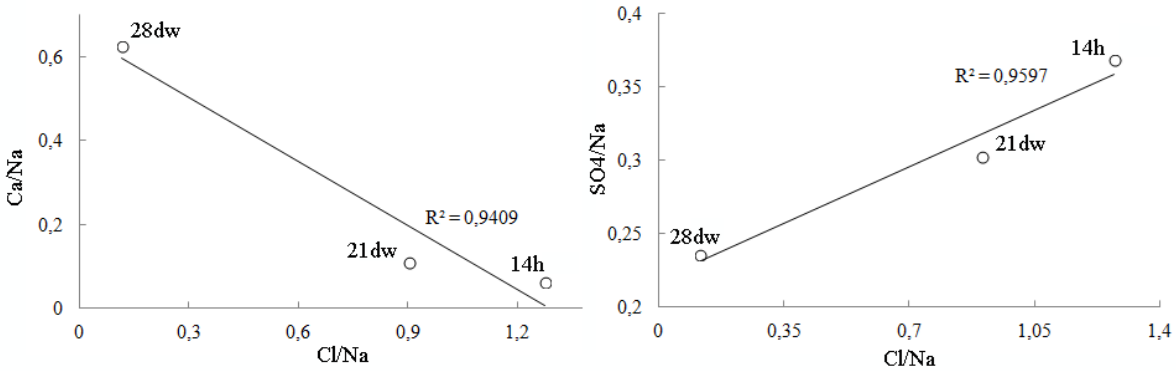

Рис. 9 – Диаграммы смешения Cl^-/Na^+ - Ca^{2+}/Na^+ и Cl^-/Na^+ - SO_4^{2-}/Na^+

По скважинам, расположенным на восточном борту карьера трубки Архангельская, наиболее далеко от долины реки Золотицы (ВПС28, ВПС32, ВПС36), минерализация (TDS) практически не изменяется. Для ВПС28 характерны значения в пределах 250 – 300 мг/л, для ВПС32 в пределах 380 –430 мг/л, для ВПС36 в пределах 320 – 390 мг/л. Диаграммы смешения (рис. 8) и соответствующие расчеты процессов смешения показали, что состав воды в скважине ВПС21 (21dw на рис. 9) может формироваться при смешении пресных вод, поступающих из области питания водоносного комплекса отложений падунской свиты венда (скважина ВПС28 – 28dw) с солоноватыми водами, подтягивающимися из мезенских отложений (скважина 14г – 14h), в соотношении 6:1.

Подтверждением эволюции состава подземных вод от пресных, атмосферного происхождения, к солоноватым, связанным с морским источником, является высокая положительная корреляция минерализации (TDS) с Cl и Na, значимая – с бором. Низкие концентрации Fe и Mn характерны для слабоминерализованных вод с Eh-pH условиями водоносного комплекса песчаников и алевролитов падунской свиты венда (Eh от –60 до +225 mV и pH 8 – 9) [3]. Наиболее распространен из микроэлементов Si (2,8 – 3,9 мг/л). Его содержания соответствуют условиям равновесия пресных подземных вод падунской свиты венда с кварцем [4]. Содержания наиболее значимых микроэлементов пропорциональны общей минерализации подземных вод.

Выводы

В результате выполненных исследований оценены закономерности развития депрессионной воронки в районе разрабатываемых карьеров месторождения. Наиболее активно воронка развивается в настоящий момент к востоку – северо-востоку, что связано с повышенной водопроводимостью основных водоносных комплексов в этом направлении и удаленностью контура обеспеченного питания – реки Кепины. Минимальны снижения уровня воды на юге – юго-западе, где водопроводимость пород ниже и расположена область питания.

Уточнены модели природного формирования состава подземных вод и его динамика в процессе водопонизительных работ. В естественных условиях основной дреной подземных вод является река Золотица, под глубоко врезанной палеодолиной которой на северном фланге трубки им. Карпинского-1 в падунском водоносном комплексе встречены воды Cl-Na состава с повышенной минерализацией. Предположительно, эти воды поступали в водоносный комплекс падунской свиты венда при таянии валдайского ледника и впоследствии повысили минерализацию за счет взаимодействия с водовмещающими отложениями (гидролиз алюмосиликатов) и смешения с солеными водами, которые содержатся в нижезалегающей слабопроницаемой толще пород мезенской свиты венда и частично разгружаются в речную долину по контактам с рудным телом или по разломам. Это обусловило различие в формировании химического состава дренажных вод при эксплуатации системы осушения двух карьеров. Для дренажных вод, откачиваемых водопонизительными скважинами северного участка дренажного контура вокруг трубки Карпинского-1, характерны наиболее высокие значения сухого остатка. Показатели сухого остатка дренажных вод, откачиваемых водопонизительными скважинами вокруг трубки Архангельская, повышались только по скважинам, расположенным на западном борту карьера, наиболее близко к долине реки Золотицы, а затем стабилизировались.

Литература

1. Атрощенко Ф. Г. Оптимизация системы осушения при разработке Южной группы трубок месторождения им. М.В. Ломоносова открытым способом / Ф. Г. Атрощенко, Р.А. Филин, И.Э. Шкиль // Горный журнал. – 2012. – № 7. – С. 33 - 38.

2. Малов А.И. Подземные воды Юго-Восточного Беломорья: формирование, роль в геологических процессах / А.И. Малов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 234 с.

3. Крайнов С.Р. Основы геохимии подземных вод / С.Р. Крайнов, В.М. Швец. – М: Недра, 1980. – 285 с.

4. Зверев В.П. Геохимическое состояние подземных вод зоны активного водообмена в районе месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова / В.П. Зверев, А.И. Малов, И.А. Костикова // Геоэкология. – 2005. – № 4. – С. 298 – 303.