

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПИТЬЕВОГО И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Д.А. Новиков, А.В. Черных, Ф.Ф. Дульцев

**Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск**

Приведены результаты изучения гидрогеохимических особенностей и оценки качества подземных вод водоносного комплекса верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова для целей питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения. Напорные пластово-трещинные и трещинно-карстовые воды приурочены к средневенеексофордско-кимериджскому водоносному горизонту. Установлено, что в исследуемом регионе развиты пресные подземные воды с величиной общей минерализации преимущественно до 1 г/дм³ и ниже HCO₃-Ca, HCO₃-Ca-Mg, реже HCO₃-Ca-Na и Na-Ca состава при доминировании первых. Подземные воды наивысшего качества характеризуются HCO₃-Ca составом с величиной общей минерализации до 0,6 г/дм³. Они изучены в пределах Родниковского участка Западно-Крымского месторождения подземных вод. Воды удовлетворительного качества характеризуются HCO₃-Ca и HCO₃-Ca-Mg составом и выявлены в скважинах, расположенных рядом с селами Россошанка, Орлиное, Родное, Плотинное и Голубинка. Воды низкого качества установлены в скважинах сел Соколиное и Черноречье северо-западнее и северо-восточнее Родниковского водозабора.

Ключевые слова: подземные воды, питьевое водоснабжение, качество подземных вод, эксплуатируемый водоносный горизонт, верхняя юра, Крымский полуостров

Groundwater Quality Assessment of Upper Jurassic Sediments in the Southwestern Districts of the Crimean Peninsula for Drinking and Agricultural Water Supply

D.A. Novikov, A.V. Chernykh, F.F. Dultsev

**Novosibirsk State University, 630090 Novosibirsk, Russia
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 630090 Novosibirsk, Russia**

The results of the study of hydro geochemical features and assessment of the quality of groundwater in the watercarrying complex of the Upper Jurassic sediments of the southwestern regions of the Crimean Peninsula for drinking and agricultural water supply are presented. Pressure stratal fissured and fissure-karst waters are confined to the Middle-Oxford-Kimeridzhsky aquifer. It was established that in the studied region fresh groundwater is developed with a total mineralization of up to 1 g/dm³ and lower than HCO₃-Ca, HCO₃-Ca-Mg, more rarely HCO₃-Ca-Na and Na-Ca composition with the first being dominant. The highest quality groundwaters are characterized by HCO₃-Ca composition with a total salt content of up to 0.6 g/dm³. They have been studied within the Rodnikovsky section of the West-Crimean groundwater deposit. Waters of satisfactory quality are characterized by HCO₃-Ca and HCO₃-Ca-Mg composition and were found in wells located near the villages of Rossoshanka, Orliinoe, Plotynnoe and Golubinka. Low-quality water was determined in the wells of the villages of Sokolinoe and Chernorechye, north-west and north-east of the Rodnikovsky water abstraction.

Key words: groundwater, drinking water supply, groundwater quality, exploited aquifer, Upper Jurassic, Crimean Peninsula

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-04-52-57

В последние годы проблема чистой питьевой воды на нашей планете приобретает все большее значение. В геополитике многих государств она занимает одну из ключевых ролей в связи с изменением климата. В первую очередь это относится к наиболее населенным странам Азиатско-Тихоокеанского региона, Африки и Латинской Америки.

Наиболее крупное обобщение по гидрогеологии и гидрогеохимии территории Крыма было выполне-

но в 1970–1971 гг. в VIII томе Гидрогеологии СССР. Крым под редакцией академика А.В. Сидоренко. Крупный вклад в изучение региона внесли труды А.С. Моисеева, И.Г. Глухова, Е.А. Ришес, В.Г. Ткачук, С.В. Альбова, В.А. Куришко, Е.В. Львова, О.Е. Фесюнова, Н.М. Заезжева, В.И. Самулева, М.В. Чуринова, Н.А. Белокопытовой, В.Н. Дублянского, Г.Н. Дублянской, Н.Н. Капинос, А.В. Лучника, В.И. Морозова, Н.С. Огняника, А.Б. Ситникова, А.А. Сухо-

реброва, В.М. Шестопалова, М.А. Шинкаревского, Ю.И. Шутова, Е.А. Яковлева и других. В период с начала 90-х гг. прошлого столетия происходило общее снижение развития экономики. Однако в этот период продолжалось изучение режима подземных вод основных эксплуатируемых горизонтов, грунтовых вод на массивах орошаемого земледелия, обобщение результатов ранее выполненных исследований, эколого-гидрогеологический анализ состояния

подземных вод отдельных водо-заборов, разрабатывались методические положения по эколого-гидрогеологическому картированию мелкого и среднего масштабов. Следует отметить работы И.Б. Абрамова, Б.М. Данилишина, С.П. Иванюты, А.В. Лушика, Г.Г. Лютого, Н.С. Огняника, С.А. Рубана, В.М. Шестопалова, М.А. Шинкаревского, Е.А. Яковлева и других [1–8].

В основу настоящей работы положены результаты геологоразведочных работ на подземные воды верхнеюрского водоносного комплекса юго-западных районов Крымского полуострова начиная с 1950-х гг. XX в. Информационный банк данных представлен результатами гидрогеологических исследований 67 объектов 36 поисковых скважин, включая результаты полного химического анализа 92 проб подземных вод.

Особенности гидрогеологии и гидрогеохимии верхнеюрских отложений

Комплекс изучаемых отложений имеет особую роль, поскольку с ним связана внешняя область питания для водоносных систем в пределах трех гидрогеологических структур: Равнинно-Крымского, Азово-Кубанского артезианских бассейнов и гидрогеологической складчатой области мегантиклинория Горного Крыма. Во-вторых, развитые в его пределах подземные воды обладают уникальными качественными характеристиками. Водоносный комплекс верхнеюрских отложений ($8(J_3)$) имеет широкое распространение (рис. 1). Его общая мощность может достигать 3 км. Он является частью нижнего (мезозойского) водоносного этажа — зоны затрудненного водообмена — и включает в себя два водоносных горизонта: средневерхнеоксфордско-кимериджских ($2(J_{3O_2-3} - J_{3K})$) и средне-верхнетитонских отложений ($2(J_{3T_2-3})$), а также разделяющий их нижнетитонский водоупорный горизонт ($4(J_{3T_1})$). Наиболее детально в пределах исследуемой территории верхнеюрские отложения изучены в границах Родниковского водозабора в Байдарской долине.

Формирование ресурсов подземных вод верхнеюрского водоносного комплекса происходит с водосборов плато и склонов глав-

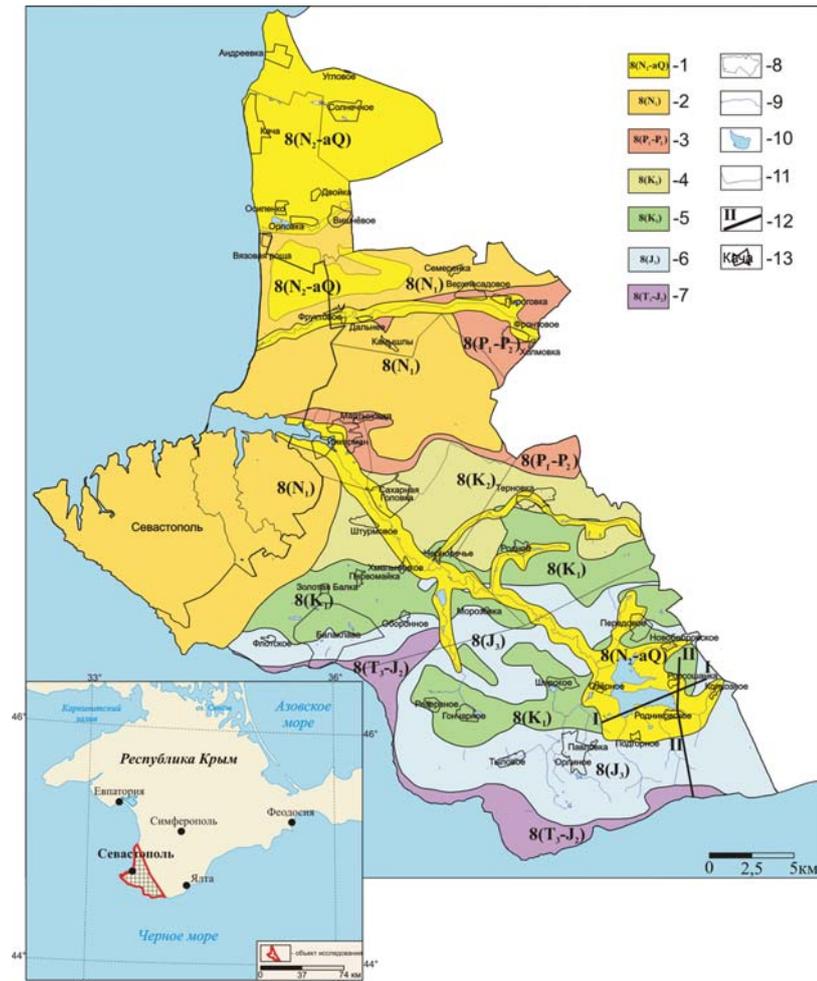


Рис. 1. Гидрогеологическая карта Севастопольской городской агломерации, водоносный комплекс:

1 – плиоценовых и четвертичных отложений; 2 – миоценовых отложений; 3 – палеоцен-эоценовых отложений; 4 – верхнемеловых отложений; 5 – нижнемеловых отложений; 6 – верхнеюрских отложений; 7 – верхнетриасово-среднеюрских отложений; 8 – административные границы районов; 9 – речная сеть; 10 – озера, водохранилища; 11 – границы гидрогеологических комплексов; 12 – линии гидрогеологических разрезов; 13 – населенные пункты

Fig. 1. Hydrogeological map of the Sevastopol urban agglomeration, aquiferous complex:

1 – Pliocene and Quaternary deposits; 2 – Miocene sediments; 3 – Paleocene-Eocene sediments; 4 – Upper Cretaceous sediments; 5 – Lower Cretaceous sediments; 6 – Upper Jurassic deposits; 7 – Upper Triassic-Middle Jurassic deposits; 8 – administrative boundaries of districts; 9 – river network; 10 – lakes, reservoirs; 11 – boundaries of hydrogeological complexes; 12 – lines of hydrogeological sections; 13 – locations

ной гряды Крымских гор (Ай-Петринское, Ялтинское и другие). Обводненность верхнеюрских отложений обусловлена трещиноватостью и закарстованностью. Родниковское месторождение может давать согласно утвержденным эксплуатационным запасам до $8807 \text{ м}^3/\text{сут}$, а в настоящее время поставляет для нужд потребителей $3440\text{--}3520 \text{ м}^3/\text{сут}$. Пик добычи воды на месторождении приходился на 1993–1994 гг., когда суммарный водоотбор составлял $8,4\text{--}8,6 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ (рис. 2). Во время пиковой нагрузки 1989–1999 гг. на месторождении сформировалась де-

прессионная воронка, которая не восстановилась до настоящего времени и хорошо просматривается в фильтрационном потоке. По данным разведочных скважин, кровля известняков залегает на глубинах от 74 до 674 м, а глубина залегания трещинно-карстовых вод колеблется от 118 до 768 м. Дебиты подземных вод достигают 50 л/с [9].

В целом, в пределах верхнеюрского водоносного комплекса Крымского полуострова развиты подземные воды с общей минерализацией $0,28\text{--}0,84 \text{ г/дм}^3$ четырех химических типов по классифика-

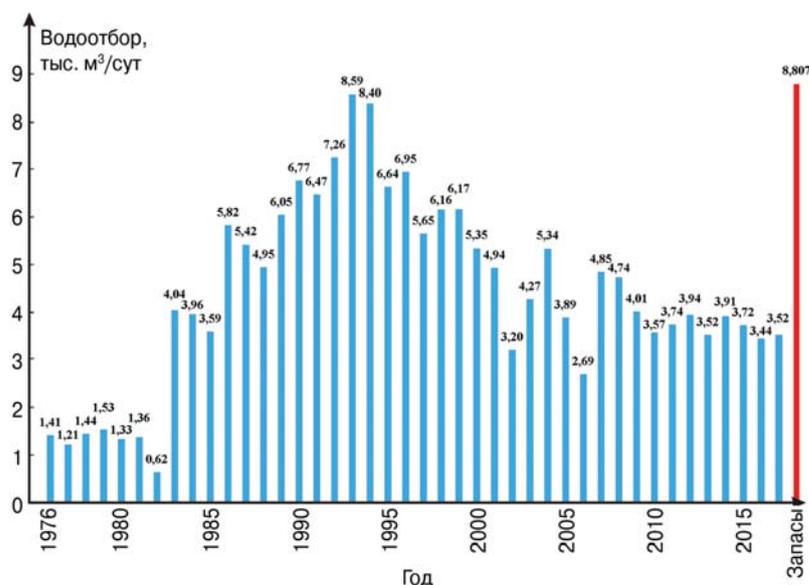


Рис. 2. Соотношение водоотбора и утвержденных запасов по Родниковскому участку Западно-Крымского месторождения подземных вод в 1976–2017 гг., тыс. м³/сут

Fig. 2. Ratio of water withdrawal and approved reserves for the Rodnikovsky water intake of the West-Crimean groundwater field in 1976–2017, thousand m³/day

ции С.А. Шукарева: гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниевого, кальциево-натриевые и натриево-кальциевые (рис. 3). Величина общей минерализации доминирующих гидрокарбонатных кальциевых и кальциево-магневых вод изменяется в диапазоне от 0,28 до 0,78 г/дм³. Наибольшая минерализация подземных вод до 0,84 г/дм³ отмечается в гидрокарбонатных кальциево-натриевых водах в Бахчисарайском районе

вблизи сел Плотинное и Голубинка. Также выявлены подземные воды гидрокарбонатного натриево-кальциевого состава с величиной общей минерализации колеблющейся в интервале 0,48–0,76 г/дм³. Отмечается закономерный рост основных солеобразующих компонентов с увеличением величины общей минерализации подземных вод. Среди катионов и анионов преимущественно преобладают Ca²⁺ и HCO₃⁻, до-

стигая 142,5 и 480,2 мг/дм³ соответственно. Содержание макрокомпонентов не превышает, мг/дм³: 93,8 Na⁺; 42,3 Mg²⁺; 68,0 Cl⁻; 118,5 SO₄²⁻. Содержание NH₄⁺ не превышает 0,05 мг/дм³; Feобщ — 0,2; Cu²⁺ — 0,02; Zn²⁺ — 0,002; Pb²⁺ — 0,004; F⁻ — 0,16; Mn²⁺ — 0,008; Mo²⁺ — 0,002; As³⁺ — 0,01; Sr²⁺ — 0,5 мг/дм³. Статистический анализ гидрогеохимических данных позволил установить характеристики гидрогеохимического фона и аномалий. Фоновые воды верхнеюрского комплекса характеризуются гидрокарбонатным кальциевым составом с величиной общей минерализации 460–465 мг/дм³. Содержание HCO₃⁻ не превышает 304,3 мг/дм³; Cl⁻ — 18,3; SO₄²⁻ — 23,4; Ca²⁺ — 90,6; Na⁺ — 14,8; Mg²⁺ — 11,2 мг/дм³.

Качественные характеристики подземных вод для целей питьевого водоснабжения

На основании СанПиН 2.1.4.1074-01 с изменениями на 2.04.2018, ГОСТ Р 51232-98, ГН 2.1.5.1315-0, а также требований Всемирной организации по здравоохранению (WHO 2017) [10] установлено, что содержания основных макро- и микрокомпонентов в подземных водах не превышают предельно допустимых концентраций (ПДК). Для оценки качества подземных вод верхнеюрского комплекса для целей питьевого водоснабжения был рассчитан набор общепринятых в мировой практике параметров (рис. 4) [11–17].

SAR оценивает риск защелачивания. Превышение концентраций натрия над суммой кальция и магния препятствует проникновению необходимого объема воды в почву при орошении сельскохозяйственных культур. SAR рассчитывается как $SAR = Na^+ / ((Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2})$. Согласно данным иностранных специалистов, чем ниже это значение, тем лучше качество подземных вод для орошения и ниже вероятность защелачивания почв. Натрий вступает в реакцию с почвой, что приводит к обмену Na и вытеснению Ca и Mg из последних. Проницаемость таких почв уменьшается, что приводит к ухудшению циркуляции воздуха и воды. Классификация, основанная на данном критерии, говорит о том, что подземные воды с содержанием Na менее

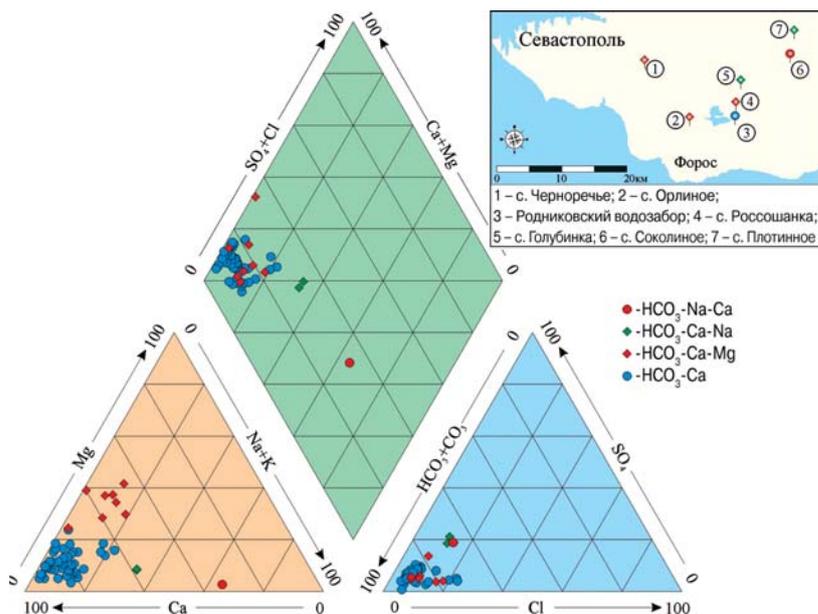


Рис. 3. Диаграмма Пайпера состава подземных вод верхнеюрского водоносного комплекса юго-западных районов Крымского полуострова

Fig. 3. Piper diagram of the composition of groundwater of the Upper Jurassic aquifers complex of the South-western regions of the Crimean Peninsula

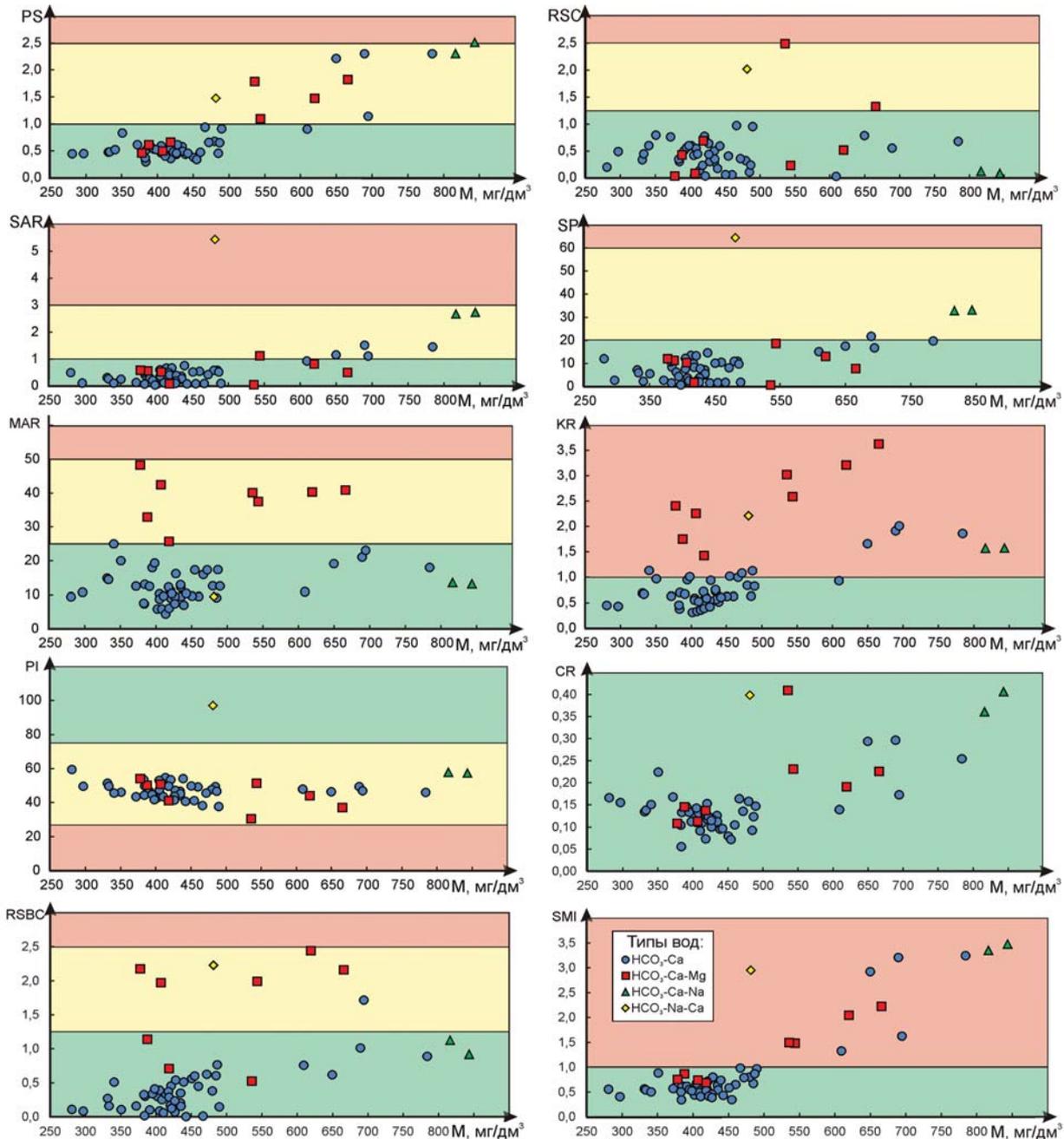


Рис. 4. Критерии качества подземных вод верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова (красным цветом фона показана зона вод низкого качества, желтым — зона вод удовлетворительного качества, зеленым — наивысшего качества):

PS – потенциальная солёность; SAR – коэффициент адсорбции натрия; SP – эквивалент-процентное содержание катионов натрия; RSC – остаток карбоната натрия; RSBC – остаток бикарбоната натрия; MAR – коэффициент адсорбции магния; KR – коэффициент Келли; PI – индекс водопроницаемости; CR – коэффициент коррозии; SMI – индекс смешения с морской водой

Fig. 4. The criteria for the quality of groundwater of the Upper Jurassic sediments of the South-western districts of the Crimean Peninsula (the red color of the background shows a zone of poor quality water, yellow – a zone of satisfactory water quality, green – the highest quality):

PS – potential salinity; SAR is sodium adsorption coefficient; SP is the equivalent percentage of sodium cations; RSC is the residue of sodium carbonate; RSBC is sodium bicarbonate residue; MAR is the magnesium adsorption coefficient; KR is the Kelly coefficient; PI – water permeability index; CR – corrosion coefficient; SMI – mixing index with sea water

20 %-экв обладают наивысшим качеством. При содержании Na более 60–80 %-экв подземные воды непригодны для питьевых и мелиорационных целей.

На основе MAR (коэффициенте адсорбции магния), рассчитываемому по формуле $MAR = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \cdot 100$, можно оценивать влияние вод при оро-

шении на почвенный покров, а также их питьевые качества. При $MAR > 50$ воды считаются неудовлетворительными по качеству.

KR – коэффициент Келли, описывает отношение $Na/(Ca+Mg)$, которое также показывает степень пригодности подземных вод для питьевых и мелиорационных нужд. При значении этого отно-

шения менее 1 принято считать, что подземные воды имеют отличное качество.

PI – индекс водопроницаемости, рассчитывается по формуле $PI = \frac{(Na^+ + HCO_3^-) \cdot 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+)}$. Проницаемость почв снижается при протекании процессов континентального засоления. Данный коэффициент по-

казывает риск засоления. Согласно классификации Л.Д. Донина, подземные воды по величине PI можно разделить на три типа: PI>75 — наивысшего качества; PI от 75 до 25 — удовлетворительно качества и PI<25 — низкого качества.

Коррозионная активность подземных вод по отношению к водопроводным системам оценивается с помощью коэффициента коррозии CR, вычисляемого по формуле:

$$CR = [Cl^-/35,5 + 2(SO_4^{2-}/96)] / 2((HCO_3^- + CO_3^{2-})/100).$$

Подземные воды считаются допустимого качества при величине CR меньше 1. Значения более 1 показывают высокую коррозионную активность подземных вод при транспортировке для труб.

PS (потенциальная соленость) один из коэффициентов, оценивающих пригодность вод для мелиоративных нужд и рассчитывается по формуле $PS = Cl^- + 1/2SO_4^{2-}$. Накопление высокостворимых солей в почвах говорит о протекании процессов континентального засоления в условиях аридного и семиаридного климата. Низкие значения этого коэффициента указывают на высокое качество подземных вод.

RSC — следующий коэффициент, отвечающий за качество подземных вод для мелиоративных целей, рассчитывается по формуле: $RSC = [HCO_3^- + CO_3^{2-}] - [Ca^{2+} + Mg^{2+}]$ [18]. Коэффициент характеризует остаточное содержание карбоната натрия в водах. По его величине выделяется три группы подземных вод: до 1,25 — отличного качества; 1,25–2,5 — удовлетворительного и более 2,5 — низкого.

Остаток бикарбоната натрия RSBC рассчитывается по формуле $[HCO_3^- - Ca]$. Согласно USDA, при его значениях до 1,25 подземные воды принято считать отличного качества; 1,25–2,5 — удовлетворительного и более 2,5 — низкого.

В международной научной литературе для оценки процессов внедрения морских вод в эксплуатируемые водоносные горизонты часто применяется индекс смешения с морской водой SMI. Он рассчитывается по формуле

$$SMI = a(C_{Na}/T_{Na}) + b(C_{Cl}/T_{Cl}) + c(C_{Mg}/T_{Mg}) + d(C_{SO_4}/T_{SO_4}),$$

где a, b, c, d — относительные степени концентраций Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} и SO_4^{2-} , которые равны: $a=0,31$; $b=0,04$; $c=0,57$; $d=0,08$; C — концентрация элементов в подземных водах, мг/дм³; T — фоновые значения концентраций этих элементов в исследуемом объекте на региональном уровне.

При SMI более единицы считается, что подземные воды смешиваются с морскими и происходит засоление водоносных горизонтов.

В результате комплексного анализа геохимических особенностей подземных вод верхнеюрского комплекса установлено, что наивысшим качеством обладают подземные воды гидрокарбонатного кальциевого состава с величиной общей минерализации до 0,6 г/дм³, изученные в пределах Родниковского участка Западно-Крымского месторождения подземных вод. Воды удовлетворительного качества характеризуются гидрокарбонатным кальциевым и кальциево-магниевым составом и были отобраны из скважин, расположенных рядом с селами Россошанка, Орлиное, Родное, Плотинное и Голубинка. Воды низкого качества выявлены в скважинах сел Соколиное и Черноречье северо-западнее и северо-восточнее Родниковского водозабора.

Выявлено, что основными факторами, формирующими состав изученных питьевых подземных вод и их качественные характеристики, являются процессы, протекающие при взаимодействии в системе вода–горная порода [19] и в меньшей степени при континентальном засолении.

Выводы

Резюмируя вышесказанное можно сделать следующие выводы.

Верхнеюрский водоносный комплекс в юго-западных районах Крымского полуострова имеет особую роль, поскольку с ним связана внешняя область питания для водоносных систем в пределах трех гидрогеологических структур: Равнинно-Крымского, Азово-Кубанского артезианских бассейнов и гидрогеологической складчатой области мегаантиклинария Горного Крыма.

Формирование ресурсов подземных вод происходит с водосборов плато и склонов главной гря-

ды Крымских гор (Ай-Петринское, Ялтинское и другие). Воды напорные пластово-трещинные и трещинно-карстовые. Дебиты подземных вод в скважинах достигают 50 л/с.

В пределах верхнеюрского водоносного комплекса Крымского полуострова развиты подземные воды с величиной общей минерализации от 0,28 до 0,84 г/дм³ четырех химических типов по классификации С.А. Шукарева: гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниевые, кальциево-натриевые и натриево-кальциевые. Величина общей минерализации доминирующих гидрокарбонатных кальциевых и кальциево-магниевых вод изменяется в диапазоне от 0,28 до 0,78 г/дм³.

На основании СанПиН 2.1.4.1074-01 с изменениями на 2.04.2018, ГОСТ Р 51232-98, ГН 2.1.5.1315-0, а также требований Всемирной организации по здравоохранению (WHO 2017) содержания основных макро- и микрокомпонентов в подземных водах не превышают предельно допустимых концентраций.

Оценка качественных параметров подземных вод верхнеюрского комплекса для целей питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения с помощью общепринятых в мировой практике параметров (PS, SAR, SP, RSC, RSBC, MAR, KR, PI, CR и SMI) показала, что большая их часть характеризуется наивысшим качеством. Воды удовлетворительного качества выявлены в скважинах, расположенных рядом с селами Россошанка, Орлиное, Родное, Плотинное и Голубинка и вполне пригодны для целей орошения сельскохозяйственных угодий. Воды низкого качества установлены в скважинах сел Соколиное и Черноречье северо-западнее и северо-восточнее Родниковского участка Западно-Крымского месторождения подземных вод.

Выявлено, что основными факторами, формирующими состав изученных питьевых подземных вод и их качественные характеристики, являются процессы, протекающие при взаимодействии в системе вода–горная порода и в меньшей степени при континентальном засолении, но этот вопрос требует более детальных исследований после обобщения результатов полевых работ 2018 г.

Исследования проводились при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-45-920032 p_a.

Литература

1. Лушчик А.В., Горбатюк Н.В., Морозов В.И. Водоотбор и его влияние на подземные воды пригодные для хозяйственно-питьевого водоснабжения в Крыму. Строительство и техногенная безопасность. 2016. № 12(54). С. 83–91.
2. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Сесь К.В. Гидрогеология и гидрогеохимия Крымского полуострова в свете проблемы питьевого водоснабжения. Матер. Всерос. совещания по подземным водам Востока России "Подземные воды Востока России" (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). 2018. С. 339–346.
3. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Новая схема гидрогеологической стратификации города федерального значения Севастополь. Матер. Всерос. совещания по подземным водам Востока России "Подземные воды Востока России" (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). 2018. С. 346–351.
4. Новиков Д.А., Ничкова Л.А., Черных А.В., Сигора Г.А., Дульцев Ф.Ф. Экологическое состояние подземных вод для целей питьевого водоснабжения в пределах Севастопольской городской агломерации. Междунар. науч. конф. к 20-летию кафедры экологической геологии СПбГУ "Экологические проблемы природо- и недропользования. Наука и образование. "ЭКОГЕОЛОГИЯ-2018". 2018. С. 227–229.
5. Шестопалов В.М., Богуславский А.С., Климчук А.Б., Фесенко А.В., Годенко Г.Е. Моделирование ресурсов подземных вод юго-западной части горного Крыма. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2008. С. 5–28.
6. Рубан С.А., Шинкаревский М.А. Гидрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. К., УкрДГРІ, 2005. 572 с.
7. Лютий Г.Г. Зabezпечення проведення в Україні переосінки перспективних та прогнозних ресурсів підземних вод. Матеріали науково-технічної конференції "Прикладна геологічна наука сьогодні: здобутки та проблеми". К., Укр. ДГРІ, 2007. С. 198–199.
8. Просторово-часовий розвиток підтоплення земель у містах і селищах міського типу як головний фактор техногенезу їхнього геологічного середовища. Національна безпека: український вимір: шокв. наук. зб. Яковлев С.О., Іванюта С.П. Рада нац. безпеки і оборони України. Ін-т пробл. Нац. Безпеки. 2008. Вин. 1-2 (20-21). С. 112–119.
9. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Особенности гидрогеологии верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2018. Т. 4 (70). № 4. С. 268–288.
10. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization, 2007. 631 p.
11. Bashir E., Huda S.N., Naseem S., Hamza S., Kaleem M. Geochemistry and quality parameters of dug and tube well water of Khipro, District Sanghar, Sindh, Pakistan. Applied Water Science. 2017. № 7. P. 1645–1655.
12. Irrigation water quality. Camberato J. USA, Turfgrass Program, Clemson University, 2011. 10 p.
13. Bauder T.A., Waskom R.M., Sutherland P.L., Davis J.G. Irrigation water quality criteria. USA, Colorado State University Extension Report, 2013. 306 p.
14. Ganiyu S.A., Badmus B.S., Olurin O.T., Ojekunle Z.O. Evaluation of seasonal variation of water quality using multivariate statistical analysis and irrigation parameter indices in Ajakanga area, Ibadan, Nigeria. Applied Water Science. 2018. №8 (35). 15 p.
15. Gulgundi M.S., Shetty A. Groundwater quality assessment of urban Bengaluru using multivariate statistical techniques. Applied Water Science. 2018. №8 (43). 15 p.
16. Kaur T., Bhardwaj R., Arora S. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. Applied Water Science. 2017. № 7. P. 3301–3316.
17. Khan T.A., Abbasi M.A. Synthesis of parameters used to check the suitability of water for irrigation purposes. Int J Environ Sci. 2013. №3 (6). P. 2031–2038.
18. Park S., Yun S., Chae G., Yoo I., Shin K., Heo C., Lee S. Regional hydrochemical study on salinization of coastal aquifers, western coastal area of South Korea. J Hydrol. 2005. № 313. P. 182–194.
19. Bukaty M.B., Novikov D.A., Ryzhenko B.N., Shvartsev S.L. Fundamental problems of modern hydrogeochemistry. Geochemistry International. 2005. №8 (43). P. 826–829.

References

1. Lushchik A.V., Gorbatyuk N.V., Morozov V.I. Vodoobor i ego vliyaniye na podzemnyye vody prigodnyye dlya khozyaistvenno-pit'evogo vodosnabzheniya v Krymu. Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2016. № 12(54). S. 83–91.
2. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dul'tsev F.F., Ses' K.V. Gidrogeologiya i gidrogeokhimiya Krymskogo poluostrova v svete problemy pit'evogo vodosnabzheniya. Mater. Vseros. soveshchaniya po podzemnym vodam Vostoka Rossii "Podzemnyye vody Vostoka Rossii" (XXII Soveshchanie po podzemnym vodam Sibiri i Dal'nego Vostoka s mezhdunarodnym uchastiem). 2018. S. 339–346.
3. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dul'tsev F.F. Novaya skhema gidrogeologicheskoi stratifikatsii goroda federal'nogo znacheniya Sevastopol'. Mater. Vseros. soveshchaniya po podzemnym vodam Vostoka Rossii "Podzemnyye vody Vostoka Rossii" (XXII Soveshchanie po podzemnym vodam Sibiri i Dal'nego Vostoka s mezhdunarodnym uchastiem). 2018. S. 346–351.
4. Novikov D.A., Nichkova L.A., Chernykh A.V., Sigora G.A., Dul'tsev F.F. Ekologicheskoe sostoyaniye podzemnykh vod dlya tselei pit'evogo vodosnabzheniya v predelakh Sevastopol'skoi gorodskoi aglomeratsii. Mezhdunar. nauch. konf. k 20-letiyu kafedry ekologicheskoi geologii SPbGU "Ekologicheskie problemy prirodno- i nedropol'zovaniya. Nauka i obrazovanie. "EKOGEOLGIYA-2018". 2018. S. 227–229.
5. Shestopalov V.M., Boguslavskii A.S., Klimchuk A.B., Fesenko A.V., Godenko G.E. Modelirovaniye resursov podzemnykh vod yugo-zapadnoi chasti gornogo Kryma. Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana. 2008. S. 5–28.
6. Ruban S.A., Shinkarevskii M.A. Gidrogeologichniy otsinki ta prognosi rezhimu pidzemnykh vod Ukraini. K., UkrDGRI, 2005. 572 s.
7. Lyutii G.G. Zabezpechennya provedennya v Ukraini pereosinkni perspektivnykh ta prognoznykh resursiv pidzemnykh vod. Materiali naukovu-tekhnichnoi konferentsii "Prikladna geologichna nauka s'ogodni: zdobutki ta problemi". K., Ukr. DGRI, 2007. S. 198–199.
8. Prostorovo-chasovii rozvitok pidtoplennya zemel' u mistakh i selishchakh mis'kogo tipu yak golovnyi faktor tekhnogenezu ikhn'ogo geologichnogo seredovishcha. Natsional'na bezpeka: ukrainskii vimir: shokov. nauk. zb. Yakovlev S.O., Ivanyuta S.P. Rada nats. bezpeki i obroni Ukraini. In-t probl. Nats. Bezpeki. 2008. Vin. 1-2 (20-21). S. 112–119.
9. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dul'tsev F.F. Osobennosti gidrogeologii verkhneyurskikh otlozhenii yugo-zapadnykh raionov Krymskogo poluostrova. Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2018. T. 4. S. 268–288.
10. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization, 2007. 631 p.
11. Bashir E., Huda S.N., Naseem S., Hamza S., Kaleem M. Geochemistry and quality parameters of dug and tube well water of Khipro, District Sanghar, Sindh, Pakistan. Applied Water Science. 2017. № 7. P. 1645–1655.
12. Irrigation water quality. Camberato J. USA, Turfgrass Program, Clemson University, 2011. 10 p.
13. Bauder T.A., Waskom R.M., Sutherland P.L., Davis J.G. Irrigation water quality criteria. USA, Colorado State University Extension Report, 2013. 306 p.
14. Ganiyu S.A., Badmus B.S., Olurin O.T., Ojekunle Z.O. Evaluation of seasonal variation of water quality using multivariate statistical analysis and irrigation parameter indices in Ajakanga area, Ibadan, Nigeria. Applied Water Science. 2018. №8 (35). 15 p.
15. Gulgundi M.S., Shetty A. Groundwater quality assessment of urban Bengaluru using multivariate statistical techniques. Applied Water Science. 2018. №8 (43). 15 p.
16. Kaur T., Bhardwaj R., Arora S. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. Applied Water Science. 2017. № 7. P. 3301–3316.
17. Khan T.A., Abbasi M.A. Synthesis of parameters used to check the suitability of water for irrigation purposes. Int J Environ Sci. 2013. №3 (6). P. 2031–2038.
18. Park S., Yun S., Chae G., Yoo I., Shin K., Heo C., Lee S. Regional hydrochemical study on salinization of coastal aquifers, western coastal area of South Korea. J Hydrol. 2005. № 313. P. 182–194.
19. Bukaty M.B., Novikov D.A., Ryzhenko B.N., Shvartsev S.L. Fundamental problems of modern hydrogeochemistry. Geochemistry International. 2005. №8 (43). P. 826–829.

Д.А. Новиков — канд. геол.-минерал. наук, доцент, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090 Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru • А.В. Черных — мл. науч. сотрудник, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга 3, e-mail: ChernykhAV@ipgg.sbras.ru • Ф.Ф. Дульцев — мл. науч. сотрудник, e-mail: DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Д.А. Новиков — Cand. Sci. (Geol.-mineral.), Associate Professor, Novosibirsk State University, 630090 Russia, Novosibirsk, Pirogova Str. 1, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru • A.V. Chernykh — Junior Research Scientist, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 630090 Russia, Novosibirsk, Academician Koptuyug Pr. 3, e-mail: ChernykhAV@ipgg.sbras.ru • F.F. Dultsev — Junior Research Scientist, e-mail: DultsevFF@ipgg.sbras.ru