

УДК 556.314.082(477.75)

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

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

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация
E-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru*

Приводятся результаты изучения гидрогеологических и гидрогеохимических особенностей водоносного комплекса верхнеюрских отложений, включающих в себя средневерхнеоксфордско-кимериджский водоносный горизонт, нижнетитонский водоупорный горизонт и верхнетитонский водоносный горизонт. Изучаемые отложения имеют особую роль, поскольку с ними связаны основные области питания для водонапорных систем в пределах трех гидрогеологических структур: Равнинно-Крымского, Азово-Кубанского артезианских бассейнов и гидрогеологической складчатой области мегаантиклинория Горного Крыма. Воды напорные пластово-трещинные и трещинно-карстовые, пресные, HCO_3Ca , $\text{HCO}_3\text{Ca-Mg}$, реже $\text{HCO}_3\text{Ca-Na}$ и Na-Ca минерализацией преимущественно до 1 г/дм³ и ниже. Они обладают наивысшими качественными характеристиками для целей питьевого водоснабжения в пределах Крымского полуострова.

Ключевые слова: подземные воды, водоносный комплекс верхнеюрских отложений, питьевое водоснабжение, качество подземных вод, Крымский полуостров.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы все больше исследований в мире проводится по оценке ресурсной базы, проблемам качества и загрязнения питьевых подземных вод в условиях изменяющегося климата. По самым оптимистичным прогнозам, среднегодовая температура на Земле вырастет к началу следующего столетия как минимум на два градуса Цельсия вне зависимости от действий человека, что заставит климат планеты необратимым образом поменяться. Волны жары, засухи и другие экстремальные погодные явления, а также рост уровня моря будут гораздо более опасными при повышении температур на два градуса и выше [1]. О.В. Парубец установлено, что на протяжении 80-летнего интервала времени в Крыму температура воздуха, как и количество атмосферных осадков растут [2].

Наиболее крупное обобщение по гидрогеологии и гидрогеохимии территории Крыма было выполнено в VIII томе Гидрогеологии СССР. Крым. под редакцией академика А.В. Сидоренко [3-4]. Наиболее 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. Лущика, В.И. Морозова, Н.С. Огняника, А.Б. Ситникова, А.А. Сухороброва, В.М. Шестопалова, М.А. Шинкаревского, Ю.И. Шутова, Е.А. Яковлева и других. В период с начала 90-х годов прошлого столетия происходило общее снижение развития экономики, в том числе и геологоразведочных работ. 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 водозаборов, 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. Лущика, Г.Г. Лютого, Н.С. Огняника, С.А. Рубана, В.М. Шестопалова, М.А. Шинкаревского, Е.А. Яковлева и других [5-17].

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

1. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Комплекс изучаемых отложений имеет особую роль, поскольку с ним связанавнешняя область питания для водонапорных систем в пределах трех гидрогеологических структур: Равнинно-Крымского, Азово-Кубанского артезианских бассейнов и гидрогеологической складчатой области мегаантиклинория Горного Крыма. Во-вторых, развитие в его пределах подземные воды обладают уникальными качественными характеристиками.

Водоносный комплекс верхнеюрских отложений ($8(J_3)$) имеет широкое распространение (рис. 1). Общая мощность может достигать до 3 км. Он является частью нижнего(мезозойского) водоносного этажа – зоны затрудненного водообмена, и включает в себя два водоносных горизонта: *средневерхнеоксфордско-кимериджских* ($2(J_{3o2-3}-J_{3km})$) и *средне-верхнетитонских отложений* ($2(J_{3tt2-3})$), а также разделяющий их *нижнетитонский водоупорный горизонт* ($4(J_{3tt1})$) (рис. 2). *Средневерхнеоксфордско-кимериджский водоносный горизонт* охватывает отложения яйлинской и сохуроченской свит. Яйлинская свита разделяется на две подсвиты: нижняя подсвита представлена коричнево-серыми известняками с прослоями алевролитовых известняков, линзами песчаников и алевролитов; верхняя подсвита состоит из коричнево-серых известняков, с пачками песчанистых и глинистых известняков и мергелей. Сухореченская свита представлена конгломератами с линзами грубозернистых песчаников и органогенных известняков. *Нижнетитонский водоупорный горизонт* состоит из отложений деймень-деринской свиты, которая, в свою очередь, разделяется на две подсвиты. Нижняя подсвита сложена флишеподобным переслаиванием серых алевролитовых глин и коричнево-серых обломочных известняков. Верхняя подсвита представлена серыми алевролитистыми глинами с конкрециями сидеритов и прослойками обломочных известняков. Вышезалегающий *водоносный горизонт средне-верхнетитонских отложений* представлен двумя свитами – калафатларской и байдарской. Калафатларская свита сложена полимиктовыми конгломератами с глыбами известняков яйлинской свиты. Байдарская свита представлена разными типами известняков.

Наиболее детально в пределах исследуемой территории верхнеюрские отложения изучены в границах Родниковского водозабора в Байдарской долине (рис. 3).

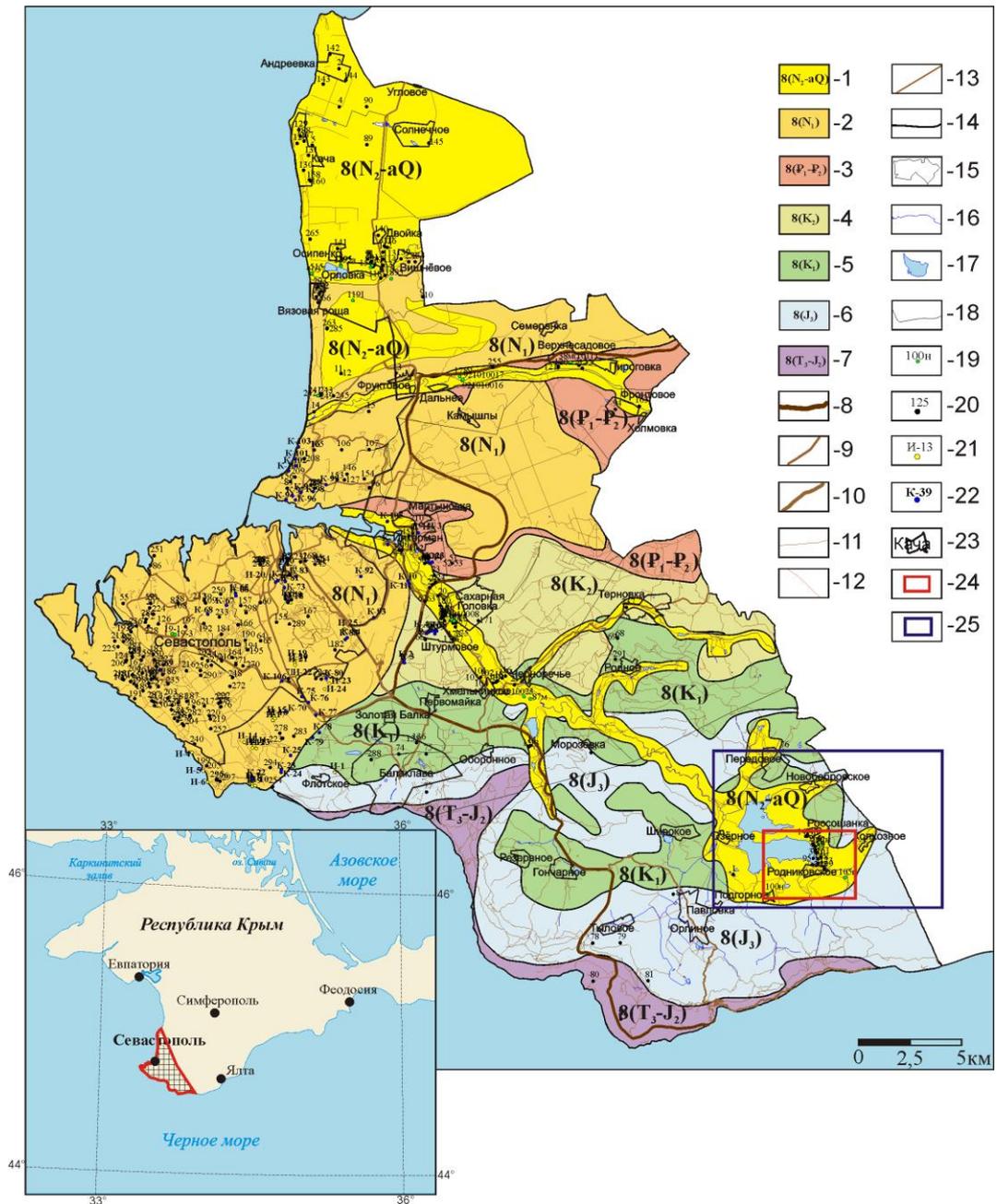


Рис. 1. Гидрогеологическая карта Севастопольской городской агломерации.:
 Водоносный комплекс: 1 – плиоценовых и четвертичных отложений, 2 – миоценовых отложений, 3 – палеоцен-эоценовых отложений, 4 – верхнемеловых отложений, 5 – нижнемеловых отложений, 6 – верхнеюрских отложений, 7 –

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

верхнетриасово-среднеюрских отложений; 8 – магистрали; 9 – второстепенные дороги; 10 – главные дороги; 11 – трассы; 12 – улицы; 13 – маршруты; 14 – железные дороги; 15 – административные границы районов; 16 – речная сеть; 17 – озера, водохранилища; 18 – границы гидрогеологических комплексов; 19 – рекомендуемые наблюдательные скважины; 20 – скважины; 21 – источники; 22 – колодцы; 23 – населенные пункты, 24 – район Родниковского водозабора; 25 – район детальных гидрогеологических исследований в границах Байдарской долины.

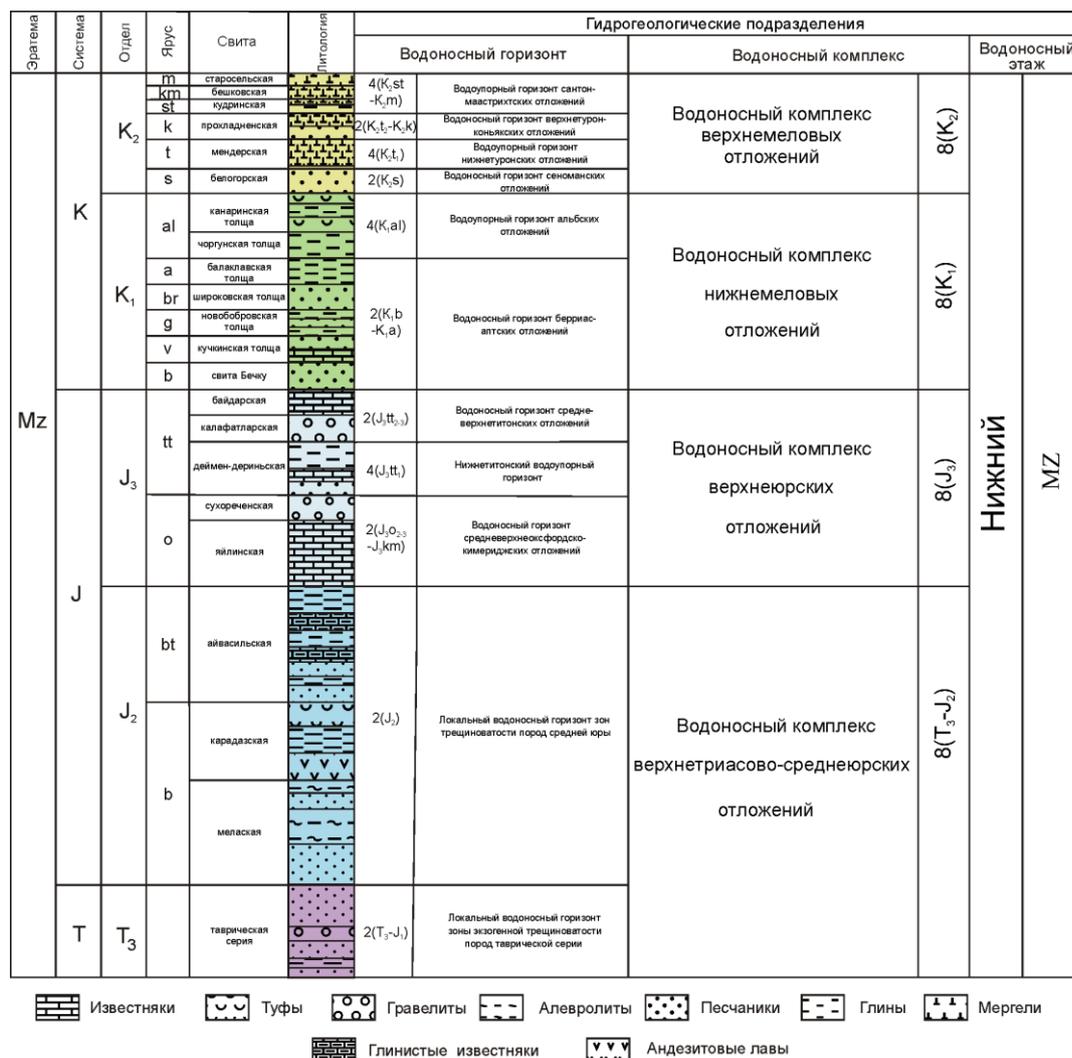


Рис. 2. Схема гидрогеологической стратификации мезозоя юго-западной части Крымского полуострова

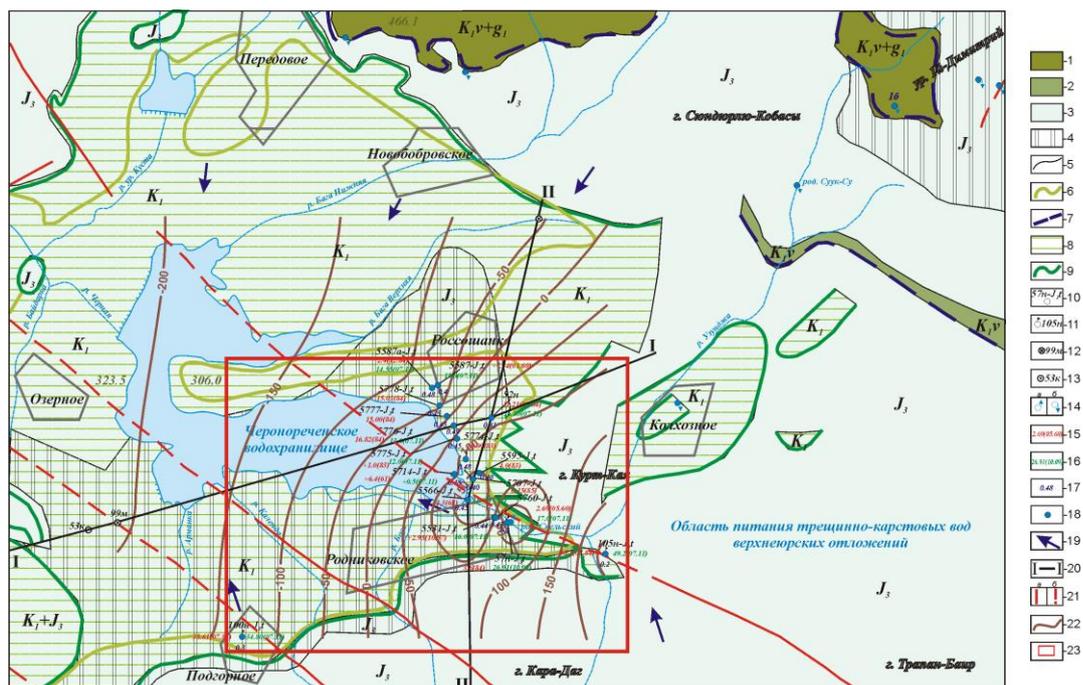


Рис. 3. Гидрогеологическая карта центральной части Байдарской долины (по Конько С.И. [18]с изменениями). 1 – водоносный горизонт в глинистых песчаниках и органогенно-обломочных известняках; в толще переслаивания известняком, песчаников, конгломератов, алевролитов готерив-валанжина; 2 – водоносный горизонт в песчаниках, толще переслаивания известняков, песчаников, аргиллитов валанжина; 3 – водоносный горизонт в карбонатной толще верхней юры. Массивные и грубослоистые известняки различной степени трещиноватости и закарстованности; 4 – водоносный горизонт в карбонатной толще верхней юры. Переслаивание слоистых и тонкослоистых, песчаников, аргиллитов; глыбовые известняки, конгломераты, трещиноватые, слабозакарстованные; 5 – граница распространения первых от поверхности водоносных горизонтов; 6 – контур распространения грунтовых вод в четвертичных пролювиально-аллювиальных суглинках Байдарской котловины; 7 – контур верхнеюрских отложений; 8 – водоупорные и слабопроницаемые (практически безводные) породы нижнего мела, выходящие на поверхность или разделяющие водоносные горизонты; 9 – контур распространения водоупорных пород нижнего мела, залегающих выше первого постоянного водоносного горизонта; 10 – эксплуатационные скважины; 11 – наблюдательные скважины; 12 – разведочные скважины и их номера: М-Мартакова, 1963; 13 – скважины глубинного геокартирования, использованные при построении разрезов; 14 – а) родник восходящий, б) родник нисходящий; 15 – глубина установившегося уровня воды по данным предыдущих лет исследований в м от поверхности земли, в скобках год; 16 – глубина установившегося уровня воды в м от поверхности земли по состоянию на 2011 г.; 17 – минерализация воды

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

водоносного горизонта верхнеюрских отложений, г/дм; 18 – химический тип воды – гидрокарбонатная кальциевая и магниевая-кальциевая; 19 – основные направления движений трещинно-карстовых вод верхнеюрских отложений; 20 – линии геолого-гидрогеологических разрезов; 21 – разрывные нарушения: а) достоверные, б) предполагаемые; 22 – стратоизогипсы кровли водоносного горизонта верхнеюрских отложений; 23 – район детальных гидрогеологических исследований.

Скважинами на территории исследования вскрыты карбонатные отложения среднего оксфорда-нижнего киммериджа. С поверхности обрамление Байдарской долины сложено преимущественно скальными выходами известняков среднего титона. Отложения среднего оксфорда-нижнего киммериджа представлены известняками от кремово-розовых до красно-бурых, часто мраморовидными, участками брекчевидными, мощность которых не превышает 236 м в скв. 5531, а в скв. 5777 – 462 м. Разрывные нарушения сдвигового и взбросо-сдвигового характера в исследуемом регионе имеют северо-западное простирание. Они привели на постаптом этапе тектонического развития к формированию в Байдарской долине узколинейных блоков клавишно-ступенчатого характера (рис. 4). Формирование ресурсов подземных вод верхнеюрского водоносного комплекса происходит с водосборов плато и склонов главной 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 м³/сут, а в настоящее время поставляет для нужд потребителей 3440-3520 м³/сут.

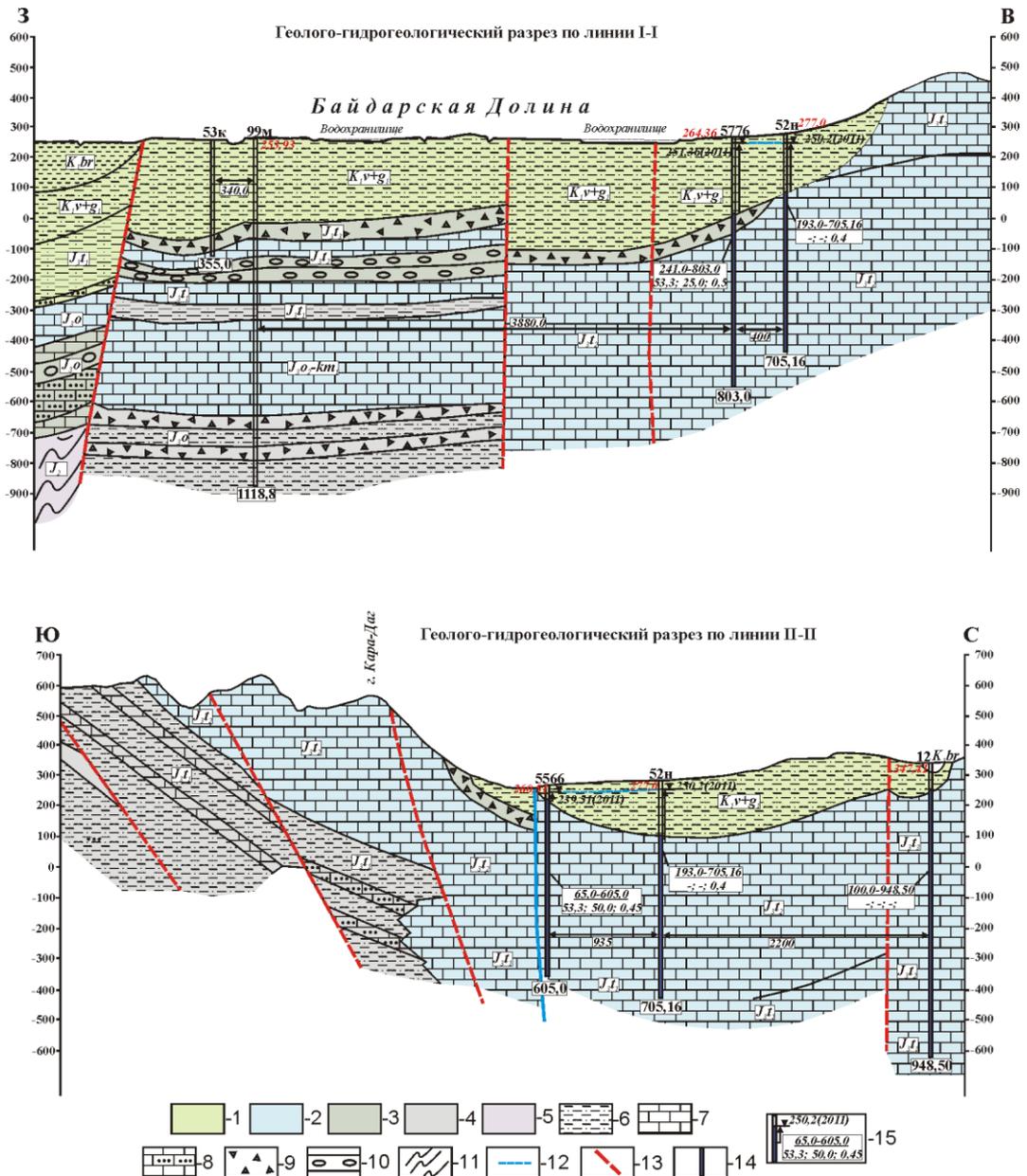


Рис. 4. Гидрогеологические разрез по линиям I-I и II-II (центральная часть Байдарской долины). (по Конько С.И. [18]с изменениями): 1 – водоупорные и слабопроницаемые (практически безводные) отложения нижнего мела; 2 – водоносный горизонт в карбонатной толще верхней юры. Массивные и грубослоистые известняки различной степени трещиноватости и закарстованности; 3 – водоносный горизонт в карбонатной толще верхней юры. Переслаивание слоистых и тонкослоистых известняков, песчаников, аргиллитов; глыбовые

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

известняки, конгломераты, брекчии, трещиноватые, слабозакарстованные; 4 – водоупорные и слабопроницаемые (практически безводные) отложения верхней юры; 5 – водоупорные и слабопроницаемые (практически безводные) отложения средней юры; 6 – аргиллиты, алевролиты, глины; 7 – известняки; 8 – песчаники; 9 – брекчии; 10 – конгломераты; 11 – флиш; 12 – предполагаемое положение уровня подземных вод в верхнеюрских отложениях; 13 – предполагаемые разрывные нарушения; 14 – гидрокарбонатная кальциевая и магниевая-кальциевая скважина; 15 – абсолютная отметка уровня воды, м; в скобках год; в квадрате – числитель: интервал опробования, знаменатель: дебит, л/с; понижение, м; минерализация, г/дм³.

Пик добычи воды на месторождении приходился на 1993-1994 годы, когда суммарный водоотбор составлял 8,4-8,6 тыс. м³/сут (рис.5). Во время пиковой нагрузки 1989-1999 годов на месторождении сформировалась депрессионная воронка, которая не восстановилась до настоящего времени и хорошо просматривается в фильтрационном потоке (см. рис. 3).

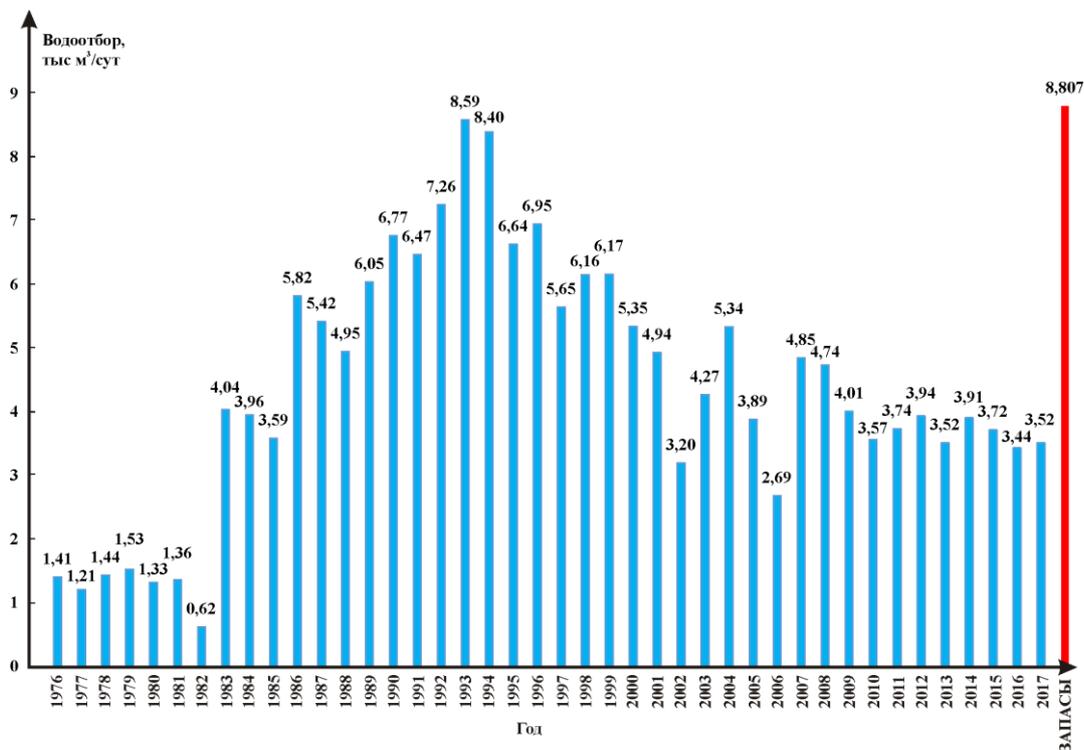


Рис. 5. Соотношение водоотбора и утвержденных запасов по Родниковскому участку Западно-Крымского месторождения подземных вод с 1976 по 2017 годы, тыс. м³/сут.

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 до 50 л/сек [18].

2. ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОХИМИИ

В целом, 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. Щукарева: гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниевые, кальциево-натриевые и натриево-кальциевые (рис. 6). Величина общей минерализации доминирующих гидрокарбонатных кальциевых и кальциево-магниевых 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 преобладает Ca²⁺ и HCO₃⁻, достигая 142,5 и 480,2 мг/дм³, соответственно. Макрокомпоненты не превышают: Na⁺ – 93,8 мг/дм³, Mg²⁺ – 42,3 мг/дм³, Cl⁻ – 68,0 мг/дм³, SO₄²⁻ – 118,5 мг/дм³. Содержания NH₄⁺ не превышают 0,05 мг/дм³, Fe_{общ} – 0,2 мг/дм³, Cu²⁺ – 0,02 мг/дм³, Zn²⁺ – 0,002 мг/дм³, Pb²⁺ – 0,004 мг/дм³, F⁻ – 0,16 мг/дм³, Mn²⁺ – 0,008 мг/дм³, Mo²⁺ – 0,002 мг/дм³, As³⁺ – 0,01 мг/дм³, 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 мг/дм³, SO₄²⁻ – 23,4 мг/дм³, Ca²⁺ – 90,6 мг/дм³, Na⁺ – 14,8 мг/дм³, Mg²⁺ – 11,2 мг/дм³ (табл. 1).

3. КАЧЕСТВО ПОДЗЕМНЫХ ВОД

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) [19-22] 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: PS – потенциальная соленость; 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 [23-34].

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

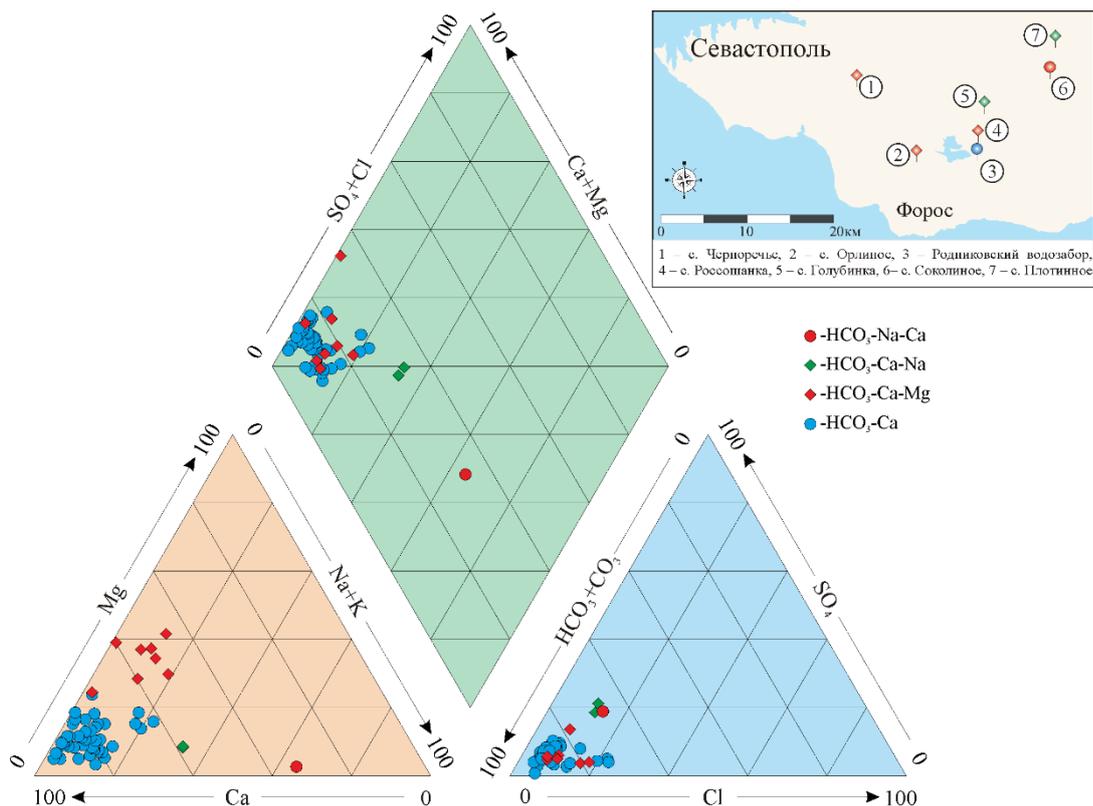


Рис. 6. Диаграмма Пайпера состава подземных вод верхнеюрского водоносного комплекса юго-западных районов Крымского полуострова.

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: $SAR = Na^+ / ((Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2} / 2)$ (все концентрации даны в мг-экв/дм³). Согласно Л.А. Ричардсу (Richards L.A.) [23], чем ниже это значение, тем лучше качество подземных вод для орошения и ниже вероятность защелачивания почв. SP – процент-эквивалентное содержание натрия. Натрий вступает в реакцию с почвой, что приводит к обмену Na и вытеснению Ca и Mg из почв. Проницаемость таких почв уменьшается, что приводит к ухудшению циркуляции воздуха и воды [33-34]. Классификация, основанная на данном критерии, говорит о том, что подземные воды с содержанием Na менее 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: $MAR = (Mg^{2+}) \times 100 / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ (все концентрации даны в мг-экв/дм³), можно оценивать влияние вод при орошении на почвенный покров, а также их питьевые качества. При $MAR > 50$ воды считаются неудовлетворительными по качеству [28, 31].

Таблица 1.

Типовые пробы подземных вод верхнеюрского водоносного комплекса юго-западных районов Крымского полуострова

№	Номер скважины и местоположение	pH	M, мг/дм ³	Элементы, мг/дм ³						Хим. тип по С.А. Шукареву	
				HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
1	5595 (Родниковский водозабор)	7,2	427,9	293,2	16,9	10,4	10,1	87,1	10,2	HCO ₃ Ca	
2	5566 (Родниковский водозабор)	7,5	649,7	391,6	66,9	20,1	35,7	118,4	17,0	HCO ₃ Ca	
3	5531 (Родниковский водозабор)	7,4	460,0	314,9	9,0	19,5	14,3	96,2	6,1	HCO ₃ Ca	
4	57н (Родниковский водозабор)	7,4	418,5	294,5	9,0	8,5	10,3	92,6	3,6	HCO ₃ Ca	
5	5777 (Родниковский водозабор)	7,5	454,7	324,1	6,7	13,2	2,3	96,2	12,2	HCO ₃ Ca	
6	5776 (Родниковский водозабор)	7,4	450,7	315,7	8,0	13,2	13,5	94,2	6,1	HCO ₃ Ca	
7	5775 (Родниковский водозабор)	6,9	405,0	276,0	10,0	15,6	14,7	84,2	4,9	HCO ₃ Ca	
8	5707 (Родниковский водозабор)	7,6	486,9	331,2	15,2	18,7	14,3	95,3	12,2	HCO ₃ Ca	
9	5690 (с. Черноречье)	7,6	535,7	302,0	35,0	71,2	1,3	90,2	36,6	HCO ₃ Ca-Mg	
10	8 (д. Орлиное)	7,7	388,0	260,0	15,0	16,0	14,0	64,0	19,0	HCO ₃ Ca-Mg	
11	5587 (с. Россосанка)	7,5	665,9	431,5	53,6	21,0	16,7	100,8	42,3	HCO ₃ Ca-Mg	
12	5887а (с. Россосанка)	6,9	471,9	318,3	14,2	22,2	11,5	93,8	11,9	HCO ₃ Ca	
13	5834 (с. Родное)	7,0	694,4	454,0	22,6	44,7	35,1	117,1	21,3	HCO ₃ Ca	
14	48/02 (с. Плотинное)	6,4	843,5	451,4	42,6	118,5	86,5	132,3	12,2	HCO ₃ Ca-Na	
15	172 (с. Голубинка)	6,8	816,5	451,4	42,6	98,8	83,3	128,2	12,2	HCO ₃ Ca-Na	
16	131 (с. Соколиное)	7,6	481,4	256,2	28,7	59,2	93,8	40,9	2,6	HCO ₃ Na-Ca	
Гидрогеохимический фон			7,3	463,6	304,3	18,3	23,4	15,8	90,6	11,2	HCO₃ Ca

KR, или коэффициент Келли [29], описывает отношение $Na/(Ca+Mg)$, которое также показывает степень пригодности подземных вод для питьевых и мелиорационных нужд. При значении этого отношения менее 1 принято считать, что подземные воды имеют отличное качество (рис. 7).

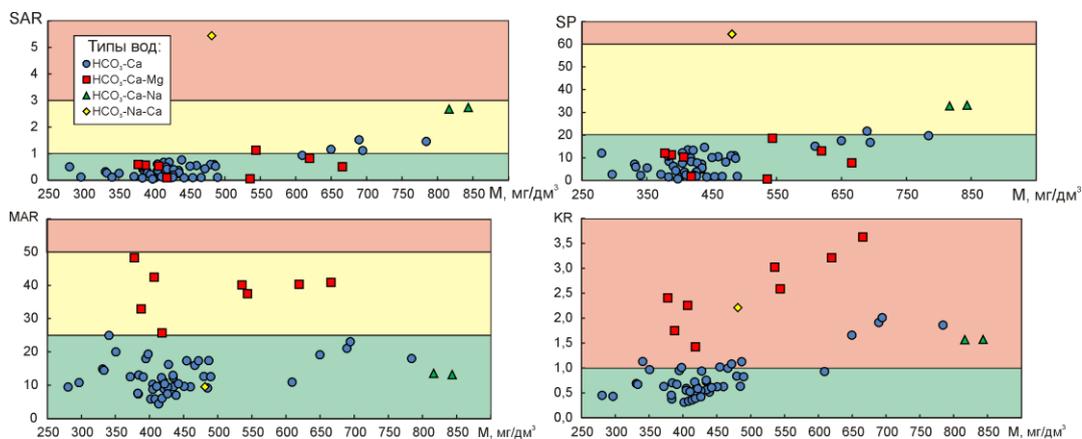


Рис. 7. Критерии качества подземных вод (SAR, SP, MAR, KR) верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова. Красным цветом фона показана зона вод низкого качества, желтым – зона вод удовлетворительного качества, зеленым – наивысшего качества.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

PI – индекс водопроницаемости, рассчитывается по формуле $PI = ((Na^+ + HCO_3^-) \times 100) / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+)$. Проницаемость почв снижается при протекании процессов континентального засоления. Данный коэффициент показывает риск засоления. Согласно классификации Л.Д. Дониной (Doneen L.D.) [25], подземные воды по величине PI можно разделить на три типа: 1) $PI > 75$ – воды наивысшего качества; 2) PI от 75 до 25 – воды удовлетворительного качества и 3) $PI < 25$ – воды низкого качества. Коррозионная активность подземных вод по отношению к водопроводным системам оценивается с помощью коэффициента коррозии (CR), вычисляемого по формуле: $CR = [Cl^- / 35,5 + 2 \times (SO_4^{2-} / 96)] / 2 \times ((HCO_3^- + CO_3^{2-}) / 100)$. 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 $PS = Cl^- + 1/2 \times SO_4^{2-}$. Накопление высокорастворимых 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: $RSC = [HCO_3^- + CO_3^{2-}] - [Ca + Mg]$ [27]. 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 (рис. 8).

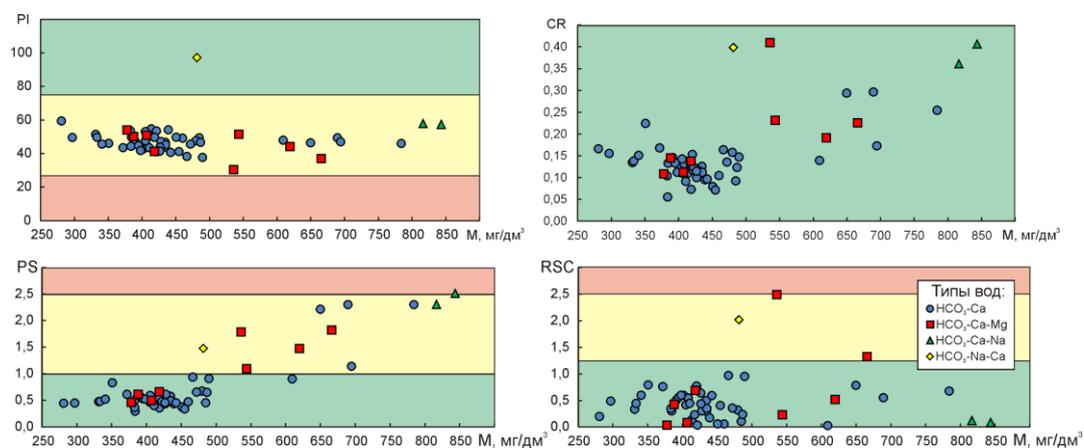


Рис. 8. Критерии качества подземных вод (PI, CR, PS, RSC) верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова. Условные обозначения см. на рис. 7.

Остаток бикарбоната натрия (RSBC) рассчитывается по формуле: $[HCO_3^- - Ca]$. Согласно USDA [23], 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 SMI (индекс смешения с морской водой) [32]. Этот индекс рассчитывается по формуле: $SMI = a \times (C_{Na} / T_{Na}) + b \times (C_{Cl} / T_{Cl}) + c \times (C_{Mg} / T_{Mg}) + d \times (C_{SO4} / T_{SO4})$, 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 соответственно. C – концентрация элементов в подземных водах в мг/дм³, а T – фоновые значения концентраций этих элементов в исследуемом объекте на региональном уровне [34]. При SMI более единицы считается, что подземные воды смешиваются с морскими и происходит засоление водоносных горизонтов (рис. 9).

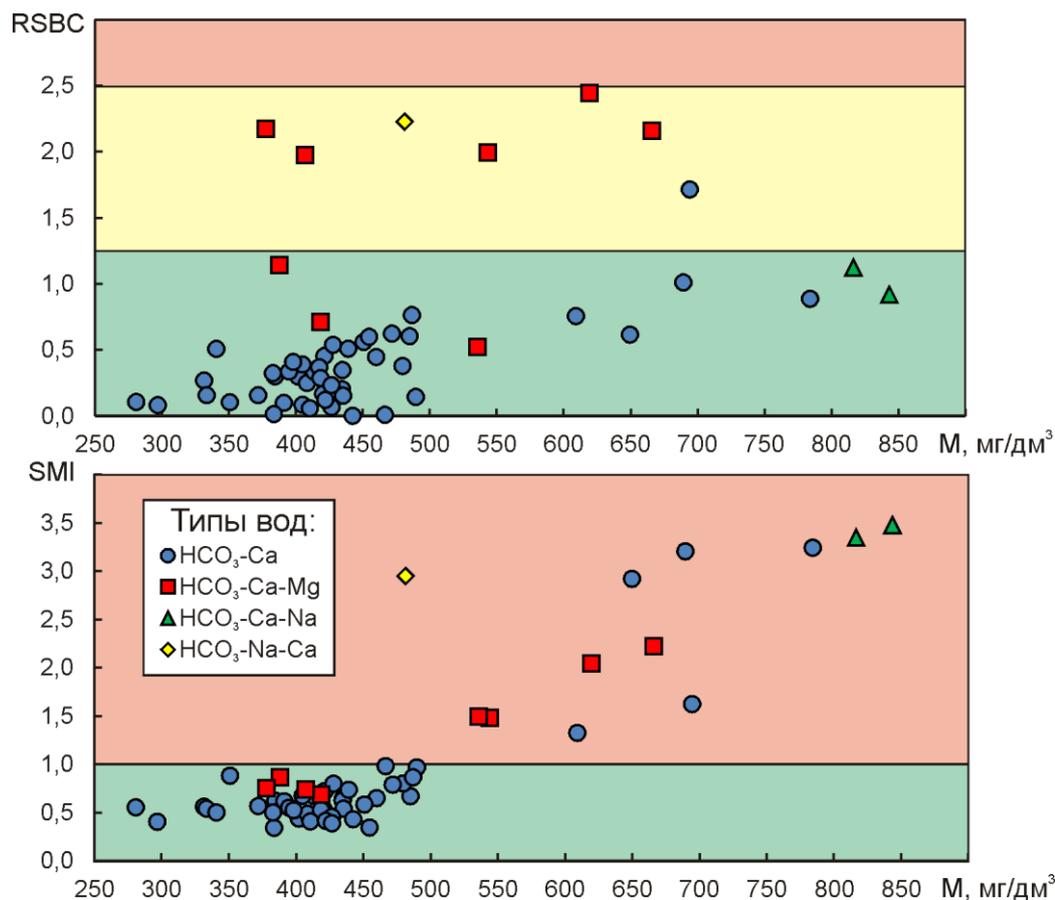


Рис. 9. Критерии качества подземных вод (RSBC, SMI) верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова. Условные обозначения см. на рис. 7.

В результате комплексного анализа геохимических особенностей подземных вод верхнеюрского комплекса, установлено, что наивысшего качества являются в

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

основном подземные воды гидрокарбонатного кальциевого состава с величиной общей минерализации до 0,6 г/дм³ развитые в пределах Родниковского участка Западно-Крымского месторождения подземных вод (табл. 2). 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.

Таблица 2.

Параметры качества типовых проб подземных вод верхнеюрского водоносного комплекса юго-западных районов Крымского полуострова

№	M, мг/дм ³	Индексы, определяющие качество питьевых подземных вод										Хим. тип по С.А. Щукареву	Качество
		PS	SAR	SP	RSC	RSBC	MAR	KR	PI	CR	SMI		
1	427,9	0,6	0,4	7,8	0,3	0,5	16,2	0,9	47,1	0,1	0,8	HCO ₃ -Ca	Наивысшее
2	649,7	2,2	1,1	17,5	0,8	0,6	19,1	1,7	46,4	0,3	2,9	HCO ₃ -Ca	Удовлетворительное
3	460,0	0,5	0,5	10,5	0,1	0,4	9,5	0,6	49,2	0,1	0,7	HCO ₃ -Ca	Наивысшее
4	418,5	0,4	0,4	8,3	0,0	0,3	6,0	0,4	49,6	0,1	0,5	HCO ₃ -Ca	Наивысшее
5	454,7	0,3	0,1	1,7	0,4	0,6	17,3	1,0	41,1	0,1	0,3	HCO ₃ -Ca	Наивысшее
6	450,7	0,4	0,5	10,1	0,1	0,6	9,6	0,6	49,8	0,1	0,6	HCO ₃ -Ca	Наивысшее
7	405,0	0,5	0,6	12,2	0,0	0,4	8,7	0,6	53,0	0,1	0,7	HCO ₃ -Ca	Наивысшее
8	486,9	0,6	0,5	9,7	0,2	0,8	17,4	1,1	46,6	0,1	0,9	HCO ₃ -Ca	Удовлетворительное
9	535,7	1,8	0,0	0,7	2,5	0,5	40,1	3,0	30,4	0,4	1,5	HCO ₃ -Ca-Mg	Низкое
10	388,0	0,6	0,6	11,3	0,4	1,1	32,8	1,8	50,1	0,1	0,9	HCO ₃ -Ca-Mg	Удовлетворительное
11	665,9	1,8	0,5	7,9	1,3	2,2	40,9	3,6	36,9	0,2	2,2	HCO ₃ -Ca-Mg	Низкое
12	471,9	0,7	0,4	8,1	0,4	0,6	17,3	1,1	45,5	0,1	0,8	HCO ₃ -Ca	Удовлетворительное
13	694,4	1,1	1,1	16,7	0,0	1,7	23,1	2,0	46,9	0,2	1,6	HCO ₃ -Ca	Удовлетворительное
14	843,5	2,5	2,7	33,1	0,1	0,9	13,2	1,6	57,2	0,4	3,5	HCO ₃ -Ca-Na	Удовлетворительное
15	816,5	2,3	2,7	32,9	0,1	1,1	13,6	1,6	57,7	0,4	3,3	HCO ₃ -Ca-Na	Удовлетворительное
16	481,4	1,5	5,4	64,4	2,0	2,2	9,5	2,2	97,0	0,4	2,9	HCO ₃ -Na-Ca	Низкое

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 (рис. 10).

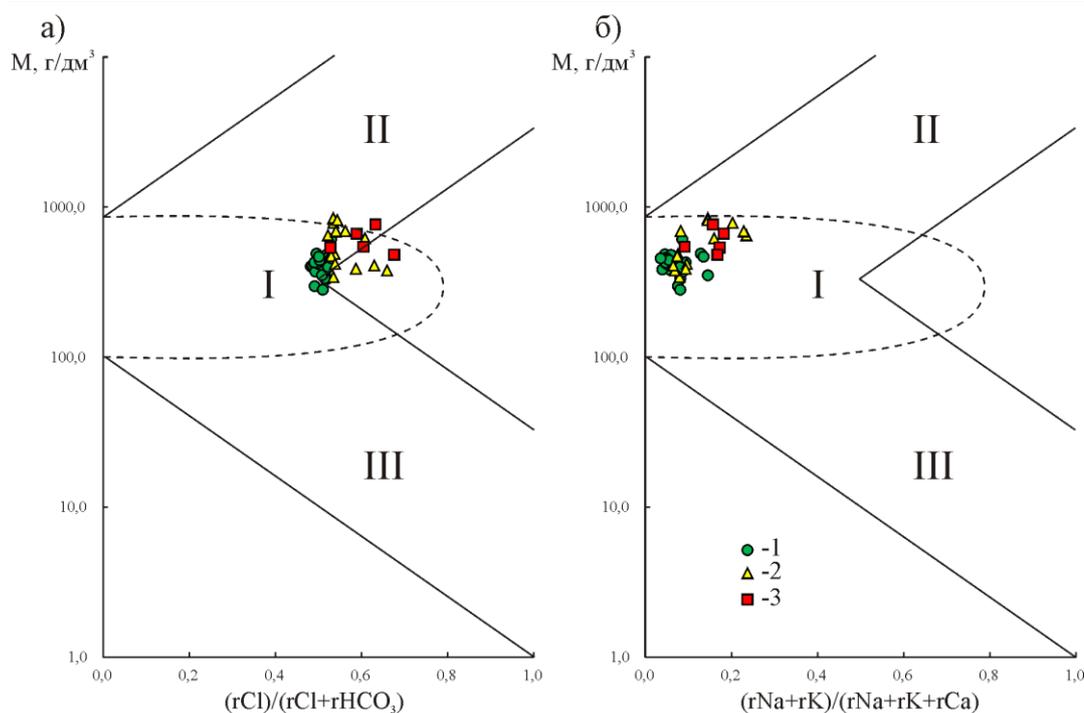


Рис. 10. Диаграммы Гиббса [35] процессов, определяющих особенности гидрогеохимии и качество подземных вод верхнеюрского водоносного комплекса юго-западных районов Крымского полуострова по: а) анионам и б) катионам.

Качество питьевых подземных вод: 1) наивысшее; 2) удовлетворительное; 3) низкое; Контролирующие процессы: I – физическое и химическое выветривание; II – испарение; III – атмосферные осадки.

ВЫВОДЫ

Резюмируя вышесказанное можно сделать следующие выводы: 1) Верхнеюрский водоносный комплекс в юго-западных районах Крымского полуострова имеет особую роль, поскольку с ним связана внешняя область питания для водонапорных систем в пределах трех гидрогеологических структур: Равнинно-Крымского, Азово-Кубанского артезианских бассейнов и гидрогеологической складчатой области мегаантиклинория Горного Крыма. 2) Формирование ресурсов подземных вод происходит с водосборов плато и склонов главной гряды Крымских гор (Ай-Петринское, Ялтинское и другие). Воды напорные пластово-трещинные и трещинно-карстовые. Дебиты подземных вод в скважинах достигают до 50 л/сек. 3) 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. Щукарева: гидрокарбонатные

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

кальциевые, кальциево-магниевого, кальциево-натриевые и натриево-кальциевые. Величина общей минерализации доминирующих гидрокарбонатных кальциевых и кальциево-магневых вод изменяется в диапазоне от 0,28 до 0,78 г/дм³. 4) 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. 5) Оценки качественных параметров подземных вод верхнеюрского комплекса для целей питьевого водоснабжения с помощью общепринятых в мировой практике параметров (PS, SAR, SP, RSC, RSBC, MAR, KR, PI, CR и SMI) показали, что большая их часть характеризуется наивысшим качеством. Воды удовлетворительного качества выявлены в скважинах, расположенных рядом с селами Россосанка, Орлиное, Родное, Плотинное и Голубинка. Воды низкого качества установлены в скважинах сел Соколиное и Черноречье северо-западнее и северо-восточнее Родниковского участка Западно-Крымского месторождения подземных вод. б) 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.

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

Список литературы

1. *Raftery A.E., Zimmer A., Frierson D.M.V., Startz R., Liu P.* Less than 2°C warming by 2100 unlikely // *Nature Climate Change*. 2017. V.7. pp. 637-641.
2. *Парубец О.В.* Изменение климата в Крыму // *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия: География*. 2009. Т. 22 (61). № 2. с. 88-96.
3. *Гидрогеология СССР. Том VIII. Крым / Гл. редактор академик А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1970. 364 с.*
4. *Гидрогеология СССР. Том VIII. Крым / Гл. редактор академик А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1971. 55 с.*
5. *Луцик А.В.* Проблемы рационального использования запасов пресных подземных вод в районе Степного Крыма // *Водные ресурсы*. 1976. № 4. с.106-114.
6. *Луцик А.В.* Прогноз изменений гидрогеологических условий под влиянием водоотбора // *Разведка и охрана недр*. 1973. № 9. с. 52-54.
7. *Луцик А.В.* Формирование гидрохимического режима подземных вод в карбонатных отложениях под влиянием орошения в Равнинном Крыму // *Пражский конгресс интернациональной ассоциации гидрогеологов. Материалы. Прага. 1982. Т. XVI. с. 307-315.*
8. *Луцик 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.
9. *Луцик А.В., Мелешин В.П.* Влияние водоотбора на взаимосвязь неогеновых водоносных горизонтов Равнинного Крыма // *Материалы конференции, посвященной 25-летию Крымского отдела Географического общества СССР. «Проблемы географии Крыма».* Симферополь. 1971. с. 60 - 64.

10. Луцник А.В., Морозов В.И., Мелешин В.П., Улитина А.А. Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов // Материалы 1-й Всесоюзной гидрогеологической конференции. М.: Наука. 1982. Т. 2. с. 111-113.
11. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Новая схема гидрогеологической стратификации города федерального значения Севастополь // Подземные воды Востока России: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). 2018. с. 346-351.
12. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Сесь К.В. Гидрогеология и гидрогеохимия Крымского полуострова в свете проблемы питьевого водоснабжения // Подземные воды Востока России: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). 2018. с. 339-346.
13. Проблемы рационального использования и охраны геологической среды Крыма и прилегающих районов / Дублянский В.Н., Луцник А.В., Морозов В.И. Киев: ИГЛ АН УССР, 1990. 48 с.
14. 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.
15. Рубан С.А., Шинкаревский М.А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. К.: УкрДГРІ. 2005. 572 с.
16. Лютий Г.Г. Забезпечення проведення в Україні переоцінки перспективних та прогнозних ресурсів підземних вод // Матеріали науково-технічної конференції "Прикладна геологічна наука сьогодні: здобутки та проблеми". К.: Укр. ДГРІ. 2007. с. 198-199.
17. Просторово-часовий розвиток підтоплення земель у містах і селищах міського типу як головний фактор техногенезу їхнього геологічного середовища. Національна безпека: український вимір: щокв. наук. зб. / Яковлев С.О., Іванюта С.П. Рада нац. безпеки і оборони України. Ін-т пробл. Нац. Безпеки. К: 2008. Вин. 1-2 (20-21). с. 112- 119.
18. Отчет «Геолого-экономическая оценка эксплуатационных запасов питьевых подземных вод верхнеюрских отложений месторождения Родниковское, г. Севастополь» / Конько С.И. Симферополь, 2012. 261 с.
19. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения / Утв. Гл. гос. санитарным врачом РФ 28 июня 2010 г. № 74 с изменениями на 2 апр. 2018 г. М., 2018. 125 с.
20. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества / М.: ФГУП "СТАНДАРТИНФОРМ", 2010. 18 с.
21. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования / Утв. Гл. гос. санитарным врачом РФ 30 апр. 2003 г. № 78. М., 2003. 94 с.
22. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum / Geneva: World Health Organization, 2007. 631 p.
23. Agriculture Handbook 60 / Richards L.A. USA: USDA, 1954. 160 p.
24. Classification and use of irrigation waters / Wilcox L.V. U.S. Department of Agriculture. Circ, Washington, DC, 1955. 969 p.
25. Doneen L.D. The influence of crop and soil on percolating water. // In: Proceedings of the 1961 biennial conference on ground water recharge. 1962. pp 156–163.
26. Irrigation water quality / Camberato J. USA: Turfgrass Program, Clemson University, 2011. 10 p.
27. Irrigation water quality criteria / Bauder T.A., Waskom R.M., Sutherland P.L, Davis J.G. USA: Colorado State University Extension Report, 2013. 306 p.
28. Irrigation with saline water / Palliwal K.V. New Delhi: ICARI Monograph №.2, 1972. p 198.
29. Kelly W.P. Use of saline irrigation water // Soil Sci. 1963. №95. pp. 355–391.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

30. 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). pp. 2031–2038.
31. Management of saline soils and water / Gupta S.K., Gupta I.C. New Delhi: Oxford and IBM Publ Co, 1987. 399 p.
32. 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. pp. 182–194.
33. Saleh A., Al-Ruwaih F., Shehata M. Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait // *J. Arid Environ.* 1999. №42. pp. 195–209.
34. Sinclair A.J. Selection of thresholds in geochemical data using probability graphs // *J Geochem Explor.* 1974. №3. pp. 129–149.
35. Gibbs R.J. Mechanisms controlling world water chemistry // *Science.* 1970. № 170. pp. 1088–1090.

FEATURES OF HYDROGEOLOGY OF UPPER JURASSIC DEPOSITS IN SOUTHWESTERN REGIONSOF THE CRIMEAN PENINSULA

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

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia
E-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru*

The results of the study of hydrogeological and hydrogeochemical features of the water-bearing complex of the Upper Jurassic deposits of the southwestern part of the Crimean peninsula, including the Middle Upper Oxford-Kimmeridgian aquifer, the Lowertonton water-resistant horizon and the Uppertoneton aquifer are presented. The studied sediments have a special role, since they are associated with the main feeding areas for water-supply systems within the three hydrogeological structures: the Plain-Crimean, Azov-Kuban artesian basins and the hydrogeological folded region of the mega-anticlinorium of the Mountainous Crimea. The formation of groundwater resources occurs from the watersheds of the plateau and the slopes of the main ridge of the Crimean Mountains (Ai-Petri, Yalta and others). The waters are pressure fractured and cracked and karst. The rates of groundwater in the wells reach up to 50 l/sec. The studied groundwaters are characterized by a total mineralization of 0,28 to 0,84 g/dm³ and belong to four chemical types (according to the classification of S.A. Shchukarev): calcium, calcium-magnesium, calcium-sodium and sodium-calcium bicarbonate. The total mineralization of the dominant calcium and calcium-magnesium hydrocarbonate waters varies in the range from 0,28 to 0,78 g/dm³. Based on Sanitary Rules and Norms 2.1.4.1074-01 as amended on 2.04.2018, GOST R 51232-98, GN 2.1.5.1315-0, as well as the requirements of the World Health Organization (WHO 2017), the content of the main macro- and microcomponents in groundwater does not exceed the maximum permissible concentration. Assessments of the quality parameters of groundwater for drinking water supply by means of internationally accepted parameters (PS, SAR, SP, RSC, RSBC, MAR, KR, PI, CR and SMI) have shown that most of them are of the highest quality. Waters of satisfactory quality were detected in the wells located near the villages of Rossoshanka, Orlinoeye, Rodnoeye, Plotinoeye and Golubinka. Low-quality water is installed in the wells of Sokolinoeye and Chernorechye villages to the north-west and north-east of the Rodnikovsky section of the West Crimean groundwater field. It has been

revealed that the main factors that form the composition of the studied groundwaters and their qualitative characteristics are the processes occurring during interaction in the water-rock system and to a lesser extent with continental salinization.

Key words: groundwater, aquiferous complex of Upper Jurassic deposits, drinking water supply, groundwater quality, Crimean peninsula.

References

1. Raftery A.E., Zimmer A., Frierson D.M.V., Startz R., Liu P. *Less than 2°C warming by 2100 unlikely* // Nature Climate Change, 2017, V.7, pp. 637-641. **(in English)**.
2. Parubets O.V. *Izmenenie klimata v Krymu* (Climate change in the Crimea) // Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya: Geografiya, 2009, V. 22 (61), no. 2, pp. 88-96. **(in Russian)**.
3. *Gidrogeologiya SSSR. Tom VIII. Krym* (Hydrogeology of the USSR. Volume VIII. Crimea). A.V. Sidorenko Ed. M: Nedra (Publ.), 1970, 364 p. **(in Russian)**.
4. *Gidrogeologiya SSSR. Tom VIII. Krym* (Hydrogeology of the USSR. Volume VIII. Crimea). A.V. Sidorenko Ed., M: Nedra (Publ.), 1971, 55 p. **(in Russian)**.
5. Lushchik A.V. *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya zapasov presnykh podzemnykh vod v raione Stepnogo Kryma* (Problems of rational use of fresh groundwater resources in the Steppen Crimea region) // Vodnyeresursy, 1976, no. 4, pp. 106-114. **(in Russian)**.
6. Lushchik A.V. *Prognozi izmeneni gidrogeologicheskikh usloviy pod vliyaniem vodoobora* (Forecast of changes in hydrogeological conditions under the influence of water abstraction) // Razvedka i okhranenedr, 1973, no. 9, pp. 52-54. **(in Russian)**.
7. Lushchik A.V. Formation of the hydrochemical regime of groundwater in carbonate sediments under the influence of irrigation in the Plain Crimea, in Prazhskii kongress internatsional'noi assotsiatsii gidrogeologov (Prague Congress of the International Association of Hydrogeologists). Materialy. Praga (Publ.), 1982, V. XVI, pp. 307-315. **(in Russian)**.
8. Lushchik A.V., Gorbatyuk N.V., Morozov V.I. *Vodoobor ego vliyaniya na podzemnyye vody pri godnyedlyakhozyaistvenno-pit'evogovodosnabzheniya v Krymu* (Drainage and its impact on groundwater suitable for domestic and drinking water supply in the Crimea) // Stroitel'stoitekhnogennayabezopasnost', 2016, no. 12(54), pp. 83-91. **(in Russian)**.
9. Lushchik A.V., Meleshin V.P. Influence of water withdrawal on the interconnection of Neogene aquifers in the Plain Crimea, in Materialy konferentsii, posvyashchenoi 25-letiyu Krymskogo otdela Geograficheskogo obshchestva SSSR. «Problemy geografii Kryma» (conference dedicated to the 25th anniversary of the Crimean Department of the Geographical Society of the USSR. "Problems of the geography of the Crimea"). Simferopol', 1971, pp. 60-64. **(in Russian)**.
10. Lushchik A.V., Morozov V.I., Meleshin V.P., Ulitina A.A. Formation of groundwater as a basis for hydrogeological forecasts, in Materialy 1-i Vsesoyuznoy gidrogeologicheskoy konferentsii (Materials of the 1st All-Union Hydro-Geological Conference). M.: Nauka (Publ.), 1982, V. 2, pp. 111-113. **(in Russian)**.
11. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dul'tsev F.F. New scheme of hydrogeological stratification of the city of federal significance Sevastopol, in Podzemnyye vody Vostoka Rossii: Materialy Vserossiiskogo soveshchaniya po podzemnym vodam Vostoka Rossii (Underground waters of the East of Russia: Materials of the All-Russian meeting on the underground waters of the East of Russia). Novosibirsk, NSU (Publ.), 2018, pp. 346-351. **(in Russian)**.
12. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dul'tsev F.F., Ses' K.V. Hydrogeology and hydrogeochemistry of the Crimean peninsula in the light of the problem of drinking water supply, in Podzemnyye vody Vostoka Rossii: Materialy Vserossiiskogo soveshchaniya po podzemnym vodam Vostoka Rossii (Underground waters of the East of Russia: Materials of the All-Russian meeting on the underground waters of the East of Russia). Novosibirsk, NSU (Publ.), 2018, pp. 339-346. **(in Russian)**.
13. *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany geologicheskoy sredy Kryma i priliegayushchikh raionov* (Problems of rational use and protection of the geological environment of the Crimea and adjacent areas)

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-
ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

- / Dublyanskii V.N., Lushchik A.V., Morozov V.I. Ed., Kiev: IGL AN USSR (Publ.), 1990, 48 p. **(in Russian)**.
14. Shestopalov V.M., Boguslavskii A.S., Klimchuk A.B., Fesenko A.V., Godenko G.E. *Modelirovanieresursovpodzemnykhvodyugo-zapadnoichastigornogoKryma* (Modeling of groundwater resources in the southwestern part of the mountainous Crimea) // *Geologiya ipoleznyeiskopaemyeMirovogookeana*, 2008, pp. 5-28. **(in Russian)**.
 15. Ruban S.A., Shinkarevskii M.A. *Gidrogeologichniotsinki ta prognozirezhimupidzemnikhvodUkraini*. K.: UkrDGRI (Publ.), 2005, 572 p. **(in Ukrainian)**.
 16. Lyutii G.G. *Zabezpechennyaprovodennya v Ukrainipereotsinkiperspektivnikh ta prognoznikhresursivpidzemnikhvod*, in *Materialinaukovo-tekhnichnoikonferentsii "Prikladnageologichnanaukas'ogodni: zdobutki ta problemi"*. K.: Ukr. DGRI (Publ.), 2007, pp. 198-199. **(in Ukrainian)**.
 17. *Prostorovo-chasoviivrozvitokpidtoplennyazemel' u mistakh i selishchakhmis'kogotipu yak golovniifaktortekhnogenezuikhnogogeologichnogoseredovishcha*. *Natsional'nabezpeka: ukrains'kiivimir: shchokv. nauk. zb.* / Yakovlev E.O., Ivanyuta S.P. Rada nats. bezpeki i oboroniUkraini. In-t probl. Nats. Bezpeki. K: 2008, Vin. 1-2 (20-21), pp. 112- 119. **(in Ukrainian)**.
 18. *Otchet* «*Geologo-ekonomicheskayaotsenkaekspluatatsionnykhzapasovpit'evykhpodzemnykhvodverkhneyurskikhotlozhenii mestorozhdeniyaRodnikovskoe, g. Sevastopol'*» (The report "Geological and economic assessment of the operational reserves of drinking groundwater of the Upper Jurassic deposits of the Rodnikovskoye deposit, Sevastopol") / Kon'ko S.I., Simferopol', 2012, 261 p. **(in Russian)**.
 19. *SanPiN 2.1.4.1074-01. Pit'evayavoda. Gigienicheskietrebovaniya k kachestvuvodytsentralizovannykhsistempit'evogovodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Gigienicheskietrebovaniya k obespecheniyubezopasnostisistemgoryachegovodosnabzheniya* (SanPiN 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water systems) / Utv. Gl. gos. sanitarnymvrachom RF 28 iyunya 2010 g. no. 74 s izmeneniyamina 2 apr.2018, M., 2018, 125 p. **(in Russian)**.
 20. *GOST R 51232-98. Vodapit'evaya. Obshchietrebovaniya k organizatsiiimetodamkontrolyakachestva* (GOST R 51232-98. Drinking water. General requirements for the organization and methods of quality control) / M.: FGUP "STANDARTINFORM"(Publ.), 2010, 18 p. **(in Russian)**.
 21. *GN 2.1.5.1315-03. Predel'nodopustimyekontsentratsii (PDK) khimicheskikhveshchestv v vodevodnykhob"ektovkhozyaistvenno-pit'evogoikul'turno-bytovogovodopol'zovaniya* (GN 2.1.5.1315-03. Maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in water in water bodies of domestic and drinking and cultural and domestic water use) / Utv. Gl. gos. sanitarnymvrachom RF 30 apr. 2003. no. 78. M., 2003, 94 p. **(in Russian)**.
 22. *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum* / Geneva: World Health Organization (Publ.), 2007, 631 p. **(in English)**.
 23. *Agriculture Handbook 60* / Richards L.A. USA: USDA (Publ.), 1954, 160 p. **(in English)**.
 24. *Classification and use of irrigation waters* / Wilcox L.V. U.S. Department of Agriculture. Circ, Washington, DC (Publ.), 1955, 969 p. **(in English)**.
 25. Doneen L.D. *The influence of crop and soil on percolating water*. // In: Proceedings of the 1961 biennial conference on ground water recharge. 1962, pp 156–163. **(in English)**.
 26. *Irrigation water quality* / Camberato J. USA: Turfgrass Program, Clemson University (Publ.), 2011, 10 p. **(in English)**.
 27. *Irrigation water quality criteria* / Bauder T.A., Waskom R.M., Sutherland P.L, Davis J.G. USA: Colorado State University Extension Report (Publ.), 2013, 306 p. **(in English)**.
 28. *Irrigation with saline water* / Palliwal K.V. New Delhi: ICARI Monograph no. 2, 1972, p 198. **(in English)**.
 29. Kelly W.P. *Use of saline irrigation water* // *Soil Sci*, 1963, no. 95, pp. 355–391. **(in English)**.
 30. Khan T.A., Abbasi M.A. *Synthesis of parameters used to check the suitability of water for irrigation purposes* // *Int J Environ Sci*, 2013, no. 3 (6), pp. 2031–2038. **(in English)**.
 31. *Management of saline soils and water* / Gupta S.K., Gupta I.C. New Delhi: Oxford and IBM Publ Co (Publ.), 1987, 399 p. **(in English)**.

32. 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, no. 313, pp. 182–194. **(in English)**.
33. Saleh A., Al-Ruwaih F., Shehata M. *Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait* // J. Arid Environ, 1999, no. 42, pp. 195–209. **(in English)**.
34. Sinclair A.J. *Selection of thresholds in geochemical data using probability graphs* // J Geochem Explor, 1974, no. 3, pp. 129–149. **(in English)**.
35. Gibbs R.J. *Mechanisms controlling world water chemistry* // Science, 1970, no. 170, pp. 1088–1090. **(in English)**.