

УДК 556.3

С. В. Токарев¹
И. В. Токарев²
Г. Н. Амеличев¹

Изучение условий питания водоносных комплексов в неогеновых отложениях Равнинного Крыма с использованием метода стабильных изотопов

¹ Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, г. Симферополь
e-mail: tokcrimea@list.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования изотопного состава вод неогеновых водоносных комплексов Равнинного Крыма (водозаборы Нежинский, Просторненский, Новогригорьевский) и предполагаемых источников их питания в предгорной и горной частях Крымского полуострова (атмосферные осадки, поверхностные и подземные воды). Изотопный состав вод изучаемых водозаборов оказался существенно «легче» среднего состава современных атмосферных осадков и мелких источников подземных вод в основной области питания артезианских бассейнов. Близкие содержания стабильных изотопов в изучаемых подземных водах и в водотоках в предгорье (реки Бююк-Карасу, Зуя, Бурульча, Бештерек) могут указывать на преимущественное питание неогеновых водоносных комплексов за счет поглощения речных вод в местах выхода на поверхность трещиноватых закарстованных известняков неогена.

Ключевые слова: подземные воды, артезианский бассейн, Равнинный Крым, стабильные изотопы воды, неогеновые водоносные комплексы, водозабор, область питания.

Введение

Крымский полуостров является вододефицитным в связи с нахождением в широтной полосе, с одной стороны, находящейся южнее границы современного распространения основных траекторий циклонических масс воздуха, поступающих с Атлантического океана, а с другой – изолированной от проникновения муссонов с юга засушливыми областями Передней Азии и восточного Средиземноморья. Наиболее критично, в плане обеспечения водой, положение равнинной части полуострова. С 1920-х годов на этой территории велась разведка запасов подземных вод [1], однако в связи с их ограниченностью обеспечение Равнинного Крыма водой с 1960-х годов осуществлялось за счет днепровской воды, подаваемой по Северо-Крымскому каналу.

После прекращения подачи воды в канал в 2014 г. разведанные ранее месторождения были расконсервированы и решающее значение для питьевого и хозяйственного водоснабжения приобрели подземные воды. Подчеркнем, что данную ситуацию следует рассматривать исключительно как временное решение проблемы. Для примера следует привести ситуацию в юго-восточной Испании (провинция Альмерия) [2], Италии [3] и Греции [4], где бесконтрольный водоотбор привел к сверхэксплуатации подземных горизонтов. В результате скорости снижения уровней (напоров) подземных вод в этих регионах местами

достигали метры и даже десятки метров в год, что имеет в настоящее время катастрофические последствия для сельского хозяйства, несмотря на переход к прогрессивным (например, капельным) методам полива.

Сложившаяся в Равнинном Крыму ситуация требует выработки нового подхода к эксплуатации водных ресурсов региона, в частности, построения интегрированной системы, позволяющей принимать обоснованные текущие и перспективные управленческие решения в указанной области. На наш взгляд, одним из элементов такой системы должна быть иерархия взаимосвязанных актуализируемых в реальном масштабе времени математических (компьютерных) моделей подземных и поверхностных водных объектов. Построение такой иерархии, в том числе параметрическое наполнение моделей и их обоснованная генерализация при переходе от локального (объектового) к региональному (обобщенному) масштабу, может быть выполнено только с использованием инновационных методов исследований.

В данной работе представлены результаты изучения условий формирования подземных вод Равнинного Крыма на основе данных об их изотопном составе, то есть содержаниях стабильных изотопов – дейтерия (^2H) и кислорода-18 (^{18}O), входящих в молекулу воды. Методы, использующие указанные трассеры, получили широкое применение в гидрологических и гидрогеологических исследованиях за рубежом, поскольку изотопный состав природных вод является характеристикой, которая позволяет изучать их возраст, генезис и историю эволюции прямыми методами.

Материалы и методы

Атмосферные осадки на континентах определяет начальный изотопный состав поверхностных и инфильтрационных вод, являясь отправной точкой для дальнейших построений. Между содержанием дейтерия и кислорода-18 в атмосферных осадках Мира существует тесная связь, описываемая уравнением [5; 6]:

$$\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10 \quad (1).$$

В процессе фазовых переходов воды в системах жидкость \rightarrow твердая фаза и жидкость \leftrightarrow пар происходит разделение (фракционирование) изотопов водорода и кислорода таким образом, что тяжелые изотопы (^2H , ^{18}O) накапливаются в более конденсированной фазе. При испарении и конденсации (наиболее значимые процессы для обсуждаемой территории) пар обедняется тяжелыми изотопами, а контактирующая вода обогащается ими. Содержание дейтерия и кислорода-18 в воде после ее попадания в подземные горизонты не изменяется по сравнению с исходным содержанием в атмосферных осадках, за исключением областей современной вулканической (термальной) активности (границная температура $\sim 80^\circ\text{C}$), где может происходить обмен кислорода карбонатов на кислород воды.

Коэффициенты фракционирования являются функциями температуры, соответственно, изотопный состав осадков обусловлен распределением температур в пространстве и времени. В связи с этим концентрации дейтерия и кислорода-18 в осадках уменьшаются с увеличением широты и абсолютных

отметок местности, а также в холодные сезоны года и холодные климатические эпохи. На этой основе можно производить пространственную привязку области питания и определение времени формирования запасов подземных вод, а также оценивать роль привлекаемых ресурсов.

Мониторинг среднемесячного изотопного состава атмосферных осадков выполнялся по методике GNIP (Global Network on Isotopes in Precipitation) в 2009–2011 гг. на северном макросклоне Крымских гор в г. Симферополе (N 44.98°, E 34.15°, высота 290 м н. у. м.) и на плато массива Чатырдаг (N 44.80°, E 34.29°, высота 980 м н. у. м.) [7], а в 2015–2016 гг. в г. Симферополе (та же точка) и на плато массива Караби (N 44.87°, E 34.51°, высота 980 м н. у. м.) (рис. 1).

В июне 2016 г. производилось единовременное обследование водотоков и артезианских вод. Реки Биюк-Карасу, Зуя, Бурульча и Бештерек опробовались на участках, где они пересекают выходы трещиноватых закарстованных известняков среднеэоценового и сарматского водоносных комплексов, то есть в потенциальной области питания изучаемых подземных вод (рис. 1). Уровень водности на момент опробования оценивается как средний.



Рис. 1. Распространение неогеновых водоносных комплексов и точки опробований на изотопный состав на гидрогеологической схеме Крыма (гидрогеологическое районирование по [1; 8]). Гидрогеологические районы 1-го порядка: I – южная часть Причерноморского артезианского бассейна, II – складчатая область Горного Крыма. Гидрогеологические районы 2-го порядка: 1 – южная часть Северо-Сивашского бассейна, 2 – Тарханкутско-Новоселовское поднятие, 3 – Белогорский бассейн, 4 – Альминский бассейн, 5 – Симферопольское поднятие, 6 – Керченская система малых артезианских бассейнов. Серой пунктирной линией показана северная граница области питания неогеновых водоносных комплексов Равнинного Крыма. А–Б – линия гидрогеологического разреза (см. рис. 2).

Среди крупных водозаборов подземных вод Равнинного Крыма опробованы Нежинский, Просторненский и Новогригорьевский, эксплуатирующие мэотическо-понтический комплекс Белогорского артезианского бассейна с 2015 г.

Пробы отбирались в 15 мл толстостенные пластиковые виалы, которые хранились до анализа в прохладном темном месте. Опробование сопровождалось термометрическими и кондуктометрическими измерениями с помощью прибора SanXin SX723.

Определение содержания дейтерия и кислорода-18 в образцах за 2015–2016 гг. производилось в Ресурсном центре «Ренгенодифракционных методов» (Научный парк Санкт-Петербургского государственного университета) на лазерном анализаторе Picarro L 2120-i. Используются стандарты МАГАТЭ – V-SMOW-2, GISP, SLAP, и Геологической службы США – USGA45 и USGS46. Все результаты выражены, как это общепринято, в промилле относительно среднего состава океанической воды (SMOW). Неопределенность измерений составляет $\pm 0,1$ ‰ по кислороду-18 и ± 1 ‰ по дейтерию.

Описание объекта

Равнинный Крым в гидрогеологическом отношении относится к южному борту Причерноморского артезианского бассейна [8]. Структурные элементы в фундаменте бассейна обуславливают выделение гидрогеологических районов второго порядка – Альминского, Белогорского, Индоло-Кубанского, Северо-Сивашского артезианских бассейнов, районов Тарханкутско-Новоселовского и Симферопольского поднятий, Керченской системы малых артезианских бассейнов (рис. 1).

Водоносными являются отложения нижнего мела (готерив-барремский комплекс), палеогена (палеоценовый и среднеэоценовый комплексы) и неогена (среднемиоценовый, сарматский и мэотическо-понтический комплексы). Водоупорными – апт-альбские и некоторые верхнемеловые горизонты, мощная толща майкопских отложений (олигоцен-нижний миоцен), маломощный, но выдержанный по площади горизонт ниже- и среднесарматских глин (рис. 2).

Областью питания бассейна является Предгорный Крым, где верхнемеловые, палеогеновые и неогеновые слоистые толщи приподняты, наклонены на север-северо-запад и экспонированы на поверхности Внутренней и Внешней гряд Крымских гор (рис. 2). В восточном секторе область питания бассейна распространяется и на северные склоны Главной гряды, где экспонированы нижнемеловые отложения, протягивающиеся в Равнинный Крым. Здесь также вероятен переток из верхнеюрских известняков, формирующих ресурсы на Главной гряде. Питание происходит как путем инфильтрации осадков, так и за счет поглощения подруслового стока рек северного склона Главной гряды, в местах, где они прорезают меловые, палеогеновые и неогеновые отложения.

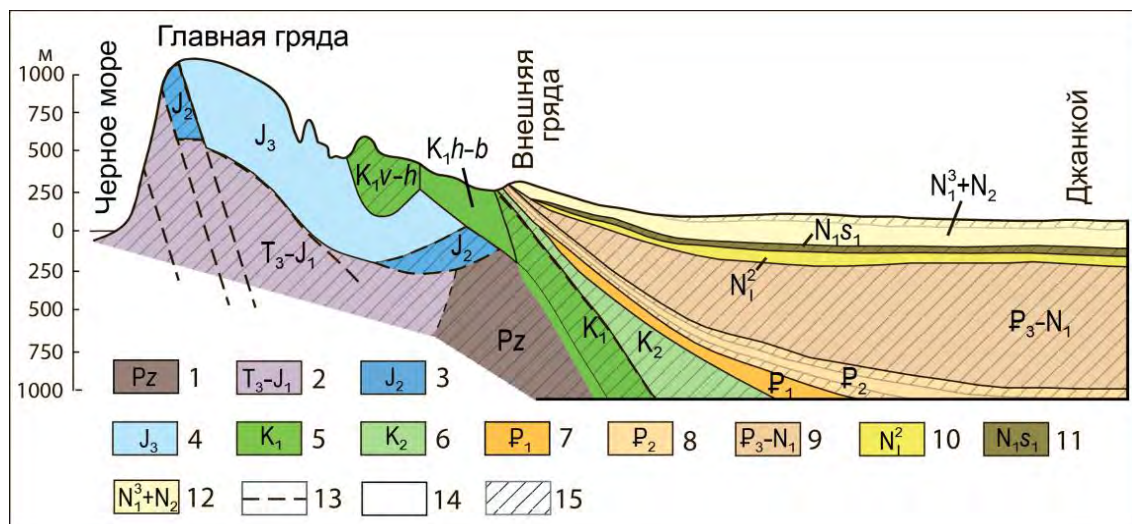


Рис. 2. Упрощенный гидрогеологический разрез восточного сектора Крымских гор и Равнинного Крыма по линии А–Б (см. рис. 1) (по С. Л. Пугач [1]): 1 – палеозойские метоморфизированные породы, 2 – флишевые отложения верхнего триаса – нижней юры (таврическая серия), 3 – песчано-глинистые и конгломератовидные породы средней юры, 4 – закарстованные известняки верхней юры с трещинно-карстовыми водами, 5 – песчаники, конгломераты и известняки нижнего мела, 6 – известняки и мергели верхнего мела, 7 – известняки и мергели палеоцена, 8 – известняки и мергели эоцена, 9 – глины олигоцена-нижнего миоцена (майкопская серия), 10 – пески и известняки среднего миоцена, 11 – глины нижнего и среднего сармата, 12 – известняки и пески верхнего миоцена и плиоцена с глинами вверху, 13 – линии тектонических разрывов, 14 – водоносные комплексы и горизонты, 15 – водоупорные пласты.

В Равнинном Крыму наибольшее значение для водоснабжения имеют подземные воды неогеновых отложений, в частности, мэотическо-понтический водоносный комплекс. Просторненский, Нежинский и Новогригорьевский водозаборы имеют планируемую суммарную производительность около 200 тыс. м³/сут.

В пределах Белогорского и Северо-Сивашского бассейнов и антиклинальных прогибов между ними мэотическо-понтический водоносный комплекс имеет сплошное распространение. Водовмещающие породы представлены преимущественно пористыми известняками-ракушечниками, реже оолитовыми и мергелистыми в различной степени закарстованными известняками с прослоями мергелей. В Белогорском бассейне обводнены преимущественно кварцевые и ракушечные пески и песчаники с прослоями глины, значительно реже – ракушечные известняки. Описываемый комплекс подстилается нижнемэотическими глинами, мергелями и мергелистыми известняками. В некоторых местах (северное крыло Альминского бассейна, отдельные участки Новоселовского поднятия) водоупорные отложения нижнего мэотиса отсутствуют и в состав водоносного комплекса также входят и сарматские отложения. Кровлю комплекса в большей части составляют песчано-глинистые отложения среднего и верхнего плиоцена.

Суммарная мощность водоносных отложений мэотиса и понта колеблется от 7 до 65 м. Комплекс вскрыт при бурении на глубинах от 3 до 244 м. Наибольшая глубина его залегания отмечена в Белогорском бассейне. Воды комплекса на большей части его распространения напорные и только на крыльях бассейнов, а также в южной части Новоселовского поднятия, имеют свободную поверхность. Минерализация вод на большей части Равнинного Крыма колеблется от 0,3 до 1,0 г/л, по составу преобладают гидрокарбонатные кальциевые воды [1].

Предшествующая оценка ресурсов и темпов водообмена в понт-мэотис-сарматских отложениях производилась на основе постоянно действующей гидрогеологической модели [9]. Согласно ее результатам, средний темп водообмена в комплексе равен 1800 лет. Наиболее интенсивный водообмен происходит в юго-западной части бассейна, где за счет латерального водопоступления с предгорий он составляет 150 лет. Интегральный темп водообмена составляет 90 лет. В восточной части Равнинного Крыма (Белогорский артезианский бассейн), где расположены ключевые объекты настоящего исследования, темп водообмена в водоносных горизонтах составляет в среднем 1300 лет, изменяясь по отдельным лентам тока от 100 до 2000 лет. Запасы подземных вод водоносного комплекса понт-мэотис-сарматских отложений исчисляются в 330 км³.

Результаты и обсуждение

До последнего времени в Крыму изотопные методы использовались ограниченно, преимущественно в его горной части [7; 10; 11], а также при изучении сопочных вод грязевых вулканов Керченского полуострова [12; 13; 14; 15; 16]. Ранее авторами выполнено комплексное изотопное исследование минеральных вод готерив-барремского водоносного комплекса в Равнинном Крыму (Пятихаткинское месторождение) [17].

Основой для проведения изотопных исследований подземных вод являются данные об изотопном составе атмосферных осадков, обеспечивающих питание гидрогеологических структур. Систематические исследования подобного рода в Крыму проводились в 2009–2011 г. Украинским институтом спелеологии и карстологии совместно с университетом Инсбрука (Австрия) [7], а также авторами в 2015–2016 г. для области питания Белогорского артезианского бассейна. Статистические данные по осадкам приведены в таблице 1.

Таблица 1.
Статистические характеристики по изотопному составу атмосферных осадков

| Место | Высота, м н. у. м. | Период наблюдений | Среднее | | ЛЛМВ | Источник |
|-------------|--------------------|-------------------|---------------------------|------------------------|---|------------|
| | | | $\delta^{18}\text{O}$, ‰ | $\delta^2\text{H}$, ‰ | | |
| Симферополь | 290 | 2009–2011 | -7,4 | -50,2 | $\delta^2\text{H} = 7,0 \times \delta^{18}\text{O} + 3,2$ | [7] |
| | | 2015–2016 | -6,0 | -40 | $\delta^2\text{H} = 7,0 \times \delta^{18}\text{O} + 1,9$ | эта работа |
| Чатырдаг | 980 | 2009– | -8,6 | -57,8 | $\delta^2\text{H} = 7,0 \times \delta^{18}\text{O} + 3,2$ | [7] |

| | | | | | | |
|-----------------|-----|---------------|------|-----|---|------------|
| | | 2011 | | | | |
| Караби- яйла | 980 | 2015– 2016 | -8,4 | -55 | $\delta^2\text{H} = 7,3 \times \delta^{18}\text{O} + 6,1$ | эта работа |

Результаты опробования водозаборов даны в таблице 2, поверхностных водотоков – в таблице 3.

Таблица 2.

Результаты опробования месторождений подземных вод мэотическо-понтического комплекса Равнинного Крыма 20.06.2016 г.

| Водозабор | Т, °С (на излив) | Минерализация (TDS), г/л | $\delta^2\text{H}$, ‰ | $\delta^{18}\text{O}$, ‰ |
|-------------------|------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| Нежинский | 19,9 | 0,471 | -9,8 | -71 |
| Новогригорьевский | - | - | -10,2 | -69 |
| Просторненский | 15,7 | 0,6 | -10,5 | -65 |

Таблица 3.

Результаты опробования постоянных водотоков в области питания Белогорского артезианского бассейна 20.06.2016 г.

| Точка отбора | Расход*, м ³ /с | Т, °С | Минерализация (TDS), г/л | $\delta^2\text{H}$, ‰ | $\delta^{18}\text{O}$, ‰ |
|---|----------------------------|-------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| р. Бештерек, выход известняков эоцена | 0,15 | - | - | -8,9 | -64 |
| р. Биюк-Карасу, выход известняков эоцена | 2 | 17,3 | 0,358 | -9,9 | -69 |
| р. Биюк-Карасу, выход известняков неогена | 2 | 19,1 | 0,339 | -9,8 | -62 |
| р. Бурульча, выход известняков эоцена | 0,4 | 16,9 | 0,293 | -9,7 | -64 |
| р. Зуя, выход известняков эоцена | 0,1 | 24 | 0,648 | -9,1 | -66 |

* – ориентировочно.

Выяснено, что все опробованные воды находятся в близком соответствии с локальной линией метеорных вод (ЛЛМВ). Пробы воды мэотическо-понтического водоносного комплекса характеризуются значительным обеднением содержания тяжелых изотопов по сравнению со среднегодовым составом атмосферных осадков в области питания (рис. 3). Это можно объяснить тем, что питание подземных вод Равнинного Крыма происходит главным образом за счет атмосферных осадков холодного периода, имеющих более легкий изотопный состав, в то время как осадки теплого периода в основном расходуются на испарение и транспирацию.

Изотопный состав вод мезотическо-понтического водоносного комплекса близок составу вод рек в краевой части области питания комплекса – восточной части Крымского Предгорья (рис. 3). Опробование выполнялось в летний период, когда влияние летних изотопически тяжелых осадков уже должно было сказываться на речном стоке. В то же время необходимо учитывать, что реки Биюк-Карасу и Зуя в верхнем течении зарегулированы крупными водохранилищами, что должно нивелировать сезонные вариации изотопного состава. По грубым оценкам срок водообмена водохранилищ на р. Биюк-Карасу составляет от полугода до года. Кроме того, реки Биюк-Карасу и Бурульча питаются преимущественно крупными карстовыми источниками Горного Крыма, которые, как правило, характеризуются облегченным изотопным составом, близким к зимним осадкам, при этом сохраняя свою стабильность в течение всего года [7]. Обнаруживаемое различие в составе поверхностных и подземных вод Равнинного Крыма можно считать непринципиальным. Отсюда следует, что нельзя исключать возможность инфлюационного питания водоносного комплекса водами указанных рек в местах контакта их русел с выходящими на поверхность проницаемыми известняками неогена.

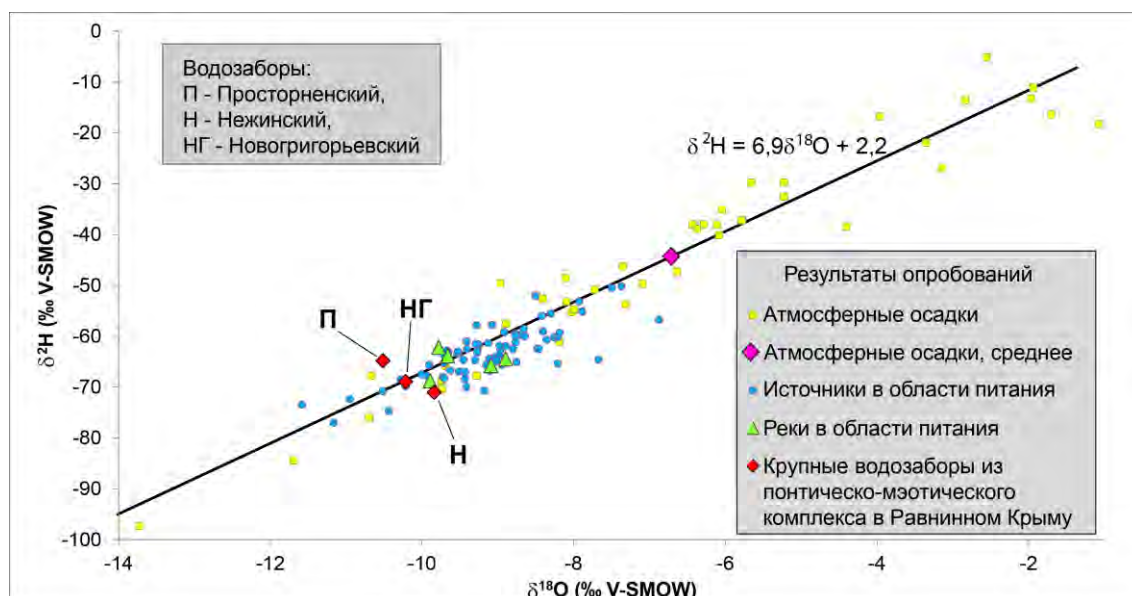


Рис. 3. Содержание изотопов $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в опробованных водопрооявлениях (локальная линия метеорных вод показана прямой черного цвета).

Все источники, опробованные в Горном и Предгорном Крыму (основная область питания артезианских бассейнов Равнинного Крыма), относятся к постоянно действующим естественным выходам подземных вод, дренирующим верхнюю часть зоны свободного водообмена. Они относятся к водоносным комплексам среднего эоцена и верхней юры, из которых в области их погружения потенциально может происходить (локально, на участках выклинивания водоупорной майкопской серии или вертикально секущих ее зон повышенной проницаемости) переток вод в выше расположенные водоносные комплексы неогена.

Опробованные источники в большинстве своем имеют несколько утяжеленный изотопный состав в сравнении с подземными водами мэотическо-понтического комплекса и водами рек Бююк-Карасу и Бурульча (рис. 3). Последнее объясняется тем, что опробованные водопроявления относятся, главным образом, к мелким источникам с незначительными площадями дренирования и глубинами циркуляции. Поэтому на их изотопном составе определенно должно было сказаться утяжеление изотопного состава осадков в теплый период года, так как в этой области влияние эвапотранспирации на потерю осадков снижается в силу изменения ландшафтных условий.

Полученные изотопные данные согласуются с ранее выполненным [1] отнесением вод неогенового комплекса к зоне активного водообмена. Формирование их ресурсов очевидно происходит под действием инфильтрации атмосферных осадков в Предгорном Крыму, а также за счет поглощения части подруслового потока в области пересечения долинами рек зон выхода трещиноватых известняков, входящих в указанные комплексы пород, на земную поверхность.

На основе гидрогеологического моделирования темп водообмена в понт-мэотис-сарматских отложениях изучаемого района характеризуется величиной порядка 100–1000 лет [9]. Возможно, этим объясняется разница в изотопном составе подземных вод артезианского бассейна и современного состава источников его питания. То есть в настоящее время водозаборы извлекают воду, поступившую в подземную гидросферу во время малого ледникового периода, завершение которого относят к концу XIX в. Предположительно, с наращиванием объемов забора вод эта разница будет нивелироваться в связи с принудительным ускорением темпов водообмена.

Выводы

В результате анализа изотопного состава подземных вод мэотическо-понтического водоносного комплекса в пределах Белогорского артезианского бассейна (водозаборы Нежинский, Просторненский, Новогригорьевский) и предполагаемых источников его питания (атмосферные осадки, подземные воды и поверхностные воды в горной и предгорных частях полуострова), было выяснено следующее:

– подтверждены ранее полученные характеристики атмосферных осадков, распределение которых во времени описывается локальной линией метеорных вод $\delta^2\text{H} = 7,0 \times \delta^{18}\text{O} + 2,5$ для Симферополя (высота 290 м н. у. м.), $\delta^2\text{H} = 7,0 \times \delta^{18}\text{O} + 3,2$ для Чатырдага (980 м н. у. м.) и $\delta^2\text{H} = 7,3 \times \delta^{18}\text{O} + 6,1$ для Караби-яйлы (980 м н. у. м.);

– воды понтическо-мэотического водоносного комплекса по изотопному составу соответствуют локальной линии метеорных вод, что подтверждает их метеорное происхождение без значительного воздействия вторичных процессов, например, испарения;

– воды комплекса характеризуются некоторым обеднением тяжелых изотопов по сравнению со среднемноголетним составом атмосферных осадков в области питания, что объясняется преимущественной инфильтрацией атмосферных осадков холодного периода;

– изотопный состав вод изучаемого комплекса близок составу вод рек в краевой части области питания комплекса – восточной части Крымского Предгорья, что указывает на возможность питания комплекса речными водами в местах контакта русел водотоков с выходящими на поверхность проницаемыми известняками неогена;

– малодебитные источники подземных вод в Горном и Предгорном Крыму в большинстве своем имеют несколько утяжеленный изотопный состав в сравнении с подземными водами мезотическо-понтического комплекса, что указывает на различие в условиях их формирования и преимущественно местное питание мелких родников;

– формирование вод, извлекаемых вновь организованными водозаборами – Нежинским, Просторненским и Новогригорьевским, очевидно, происходило в недалеком прошлом (порядка 100–500 лет), когда наблюдались несколько более холодные климатические условия, на что указывают различия в изотопном составе подземных вод артезианского бассейна и современного состава источников его питания.

Наиболее значительным из действующих в настоящее время источников питания изучаемых водозаборов видится поглощение вод р. Биюк-Карасу – самого полноводного водотока в области питания бассейна. Для уточнения выводов необходимы постановка мониторинга на водотоках и продолжение мониторинга атмосферных осадков.

Авторы выражают благодарность специалисту Ресурсного центра «Рентгенодифракционных методов» (Научный парк Санкт-Петербургского государственного университета) И. А. Крайнюковой за выполнение лабораторного анализа проб воды.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым в рамках научного проекта № 16-45-910579, код р. а.

Литература

1. Гидрогеология СССР. Том VIII. Крым / Ред. В. Г. Ткачук. – М.: Недра, 1970. 364 с.
2. Pulido-Bosch A., Navarrete F., Molina L., Martinez-Vidal J. L. Quantity and quality of groundwater in the Campo de Dalías (Almería, SE Spain) // *Water Science and Technology*. 1991. Vol. 24(11). P. 87–96.
3. Antonellini M., Mollema P., Giambastiani B., Bishop K., Caruso L., Minchio A., Gabbianelli G. Salt water intrusion in the coastal aquifer of the southern Po Plain, Italy // *Hydrogeology Journal*. 2008. Vol. 16(8). P. 1541–1556.
4. Daskalaki P., Voudouris K. Groundwater quality of porous aquifers in Greece: a synoptic review // *Environmental Geology*. 2008. Vol. 54(3). P. 505–513.
5. Craig H. Isotopic variations in meteoric waters // *Science*. 1961. № 133 (3465). P. 1702–703.
6. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // *Tellus*. 1964. Vol. 19. P. 435–463.
7. Дублянский Ю. В., Климчук А. Б., Амеличев Г. Н., Токарев С. В., Шпётль К. Изотопный состав атмосферных осадков и карстовых источников северо-

- западного склона Крымских гор // Спелеология и карстология, 2012. № 9. С. 14–21.
8. Лущик А. В., Морозов В. И., Мелешин В. П., Кондрашов В. М. и др. Подземные воды карстовых платформенных областей Украины. – Киев: Наук. думка, 1981. 200 с.
 9. Шестопалов В. М., Лялько В. И., Огнянник Н. С. и др. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в естественных условиях. – Киев: Наукова думка, 1989. 288 с.
 10. Селецкий Ю. В., Приблуда В. Д., Поляков В. Д., Исаев Н. В., Якубовский А. В. Использование концентрации тяжелого изотопа кислорода при изучении подземных вод закарстованных карбонатных массивов Горного Крыма // Водные ресурсы, 1982. № 4. С. 85–90.
 11. Каюкова Е. П. Формирование изотопного состава природных вод Горного Крыма под влиянием естественных процессов // Вестник СПбГУ, 2016. № 2. С. 11–26.
 12. Валяев Б. М., Гринченко Ю. И., Ерохин В. Н. Изотопный облик газов грязевых вулканов // Литология и полезные ископаемые, 1985. № 1. С. 72–87.
 13. Гемп С. Д., Дуброва Н. В., Несмелова З. Н. Изотопный состав углерода углеродосодержащих газов CH₄ и CO₂ грязевых вулканов Керченско-Таманской области // Геохимия, 1970. № 2. С. 243–247.
 14. Шнюков Е. Ф., Гнатенко Г. И., Нестеровский В. А., Гнатенко О. В. Грязевой вулканизм Керченско-Таманского региона. Киев: Наукова думка, 1992. 200 с.
 15. Лаврушин В. Ю. Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления / Труды ГИН. Вып. 599, 2012. 338 с.
 16. Ершов В. В., Левин Б. В. Новые данные о вещественном составе продуктов деятельности грязевых вулканов Керченского полуострова // Доклады академии наук. Геохимия, 2016. Том 471. № 1. С. 1–6.
 17. Амеличев Г. Н., Токарев И. В., Токарев С. В., Крайнюкова И. А., Бурлакова Н. С. Комплексная оценка возраста и установление условий формирования минеральных вод «Бишули» (Равнинный Крым) на основе изотопно-геохимических данных // Учёные записки Крымского Федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология, 2017. № 2. С. 130–150.

Tokarev S. V.¹
Tokarev I. V.²
Amelichev G.N.²

The study of recharge conditions for aquifer systems in Neogen sediments of the Plain Crimea by use of stable isotopes method

¹V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Taurida Academy, Simferopol, Russian Federation
e-mail: tokcrimea@list.ru

²Saint-Petersburg state University, Saint-Petersburg

Abstract. The paper gives the results of research of isotope composition of Neogen aquifer systems groundwater in the Plain Crimea (Nejinsky, Prostronensky and

Novogrigirievsky intakes) and the supposed sources of their recharge in foremountainous and mountainous regions of the Crimean peninsula (atmospheric precipitation, surface and underground water). It was found out that isotope composition of groundwater intakes is significantly «lighter» than average composition of modern precipitation and composition of small groundwater springs in the main recharge area of artesian basins. Comparable values of stable isotopes in studied groundwater and in streams in the foremountains (Biyuk-Karasu, Zuya, Burulcha, Beshterek rivers) may indicate the predominant recharging of Neogen aquifers by swallowing of stream waters in the areas of Neogen fissured karstified limestone outcrops.

Keywords: groundwater, artesian basin, the Plain Crimea, water stable isotopes, Neogen aquifers, water intake, recharge area.

References

1. Hidrogeologija SSSR. Tom VIII. Krym (Hydrogeology of the USSR. Volume VIII. Crimea) / Red. V.G. Tkachuk. M.: Nedra (Publ.), 1970. 364 p. (in Russian)
2. Pulido-Bosch A., Navarrete F., Molina L., Martinez-Vidal J. L. Quantity and quality of groundwater in the Campo de Dalías (Almería, SE Spain) // Water Science and Technology. 1991. Vol. 24(11). P. 87-96.
3. Antonellini M., Mollema P., Giambastiani B., Bishop K., Caruso L., Minchio A., Gabbianelli G. Salt water intrusion in the coastal aquifer of the southern Po Plain, Italy // Hydrogeology Journal. 2008. Vol. 16(8). P. 1541-1556.
4. Daskalaki P., Voudouris K. Groundwater quality of porous aquifers in Greece: a synoptic review // Environmental Geology. 2008. Vol. 54(3). P. 505-513.
5. Craig H. Isotopic variations in meteoric waters // Science. 1961. № 133 (3465). P. 1702-1703.
6. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // Tellus. 1964. Vol. 19. P. 435-463.
7. Dubljanskij Ju.V., Klimchuk A.B., Amelichev G.N., Tokarev S.V., Shpjotl' K. Izotopnyj sostav atmosferynyh osadkov i karstovyh istochnikov severo-zapadnogo sklona Krymskih gor (Isotope composition of atmospheric precipitation and karst springs of the North-Western slope of the Crimean mountains) // Speleologija i karstologija. 2012. № 9. P. 14-21. (in Russian).
8. Lushhik A.V., Morozov V.I., Meleshin V.P., Kondrashov V.M. et al. Podzemnye vody karstovyh platformennyh oblastej Ukrainy (Groundwater of karst platform regions of Ukraine). Kiev: Nauk. Dumka (Publ.), 1981. 200 p. (in Russian).
9. Shestopalov V.M., Ljal'ko V.I., Ognjannik N.S. et al. Vodoobmen v gidrogeologicheskikh strukturah Ukrainy: Vodoobmen v estestvennyh uslovijah (Waterflow in the hydrogeological structures of Ukraine. Waterflow in natural condition). Kiev: Nauk. Dumka (Publ.), 1989. 288 p. (in Russian).
10. Seleckij Ju.V., Pribluda V.D., Poljakov V.D., Isaev N.V., Jakubovskij A.V. Ispol'zovanie koncentracii tjazhelogo izotopa kisloroda pri izuchenii podzemnyh vod zakarstovannyh karbonatnyh massivov Gornogo Kryma (Use of heavy oxygen isotope concentration in study of groundwater of karstified carbonate massifs in Mountainous Crimea) // Vodnye resursy. 1982. №4. P. 85-90. (in Russian).
11. Kajukova E.P. Formirovanie izotopnogo sostava prirodnyh vod Gornogo Kryma pod vlijaniem estestvennyh processov (Formation of isotope composition of waters

- in Mountainous Crimea by influence of natural processes) // Vestnik SPbGU. 2016. № 2. P. 11-26. (in Russian).
12. Valjaev B.M., Grinchenko Ju.I., Erohin V.N. Izotopnyj oblik gazov grjazevyh vulkanov (The isotope signature of gases of mud volcanoes) // Litologija i poleznye iskopaemye. 1985. №1. P. 72-87. (in Russian).
 13. Gemp S.D., Dubrova N.V., Nesmelova Z.N. Izotopnyj sostav ugleroda uglerosoderzhashhih gazov CH₄ i CO₂ grjazevyh vulkanov Kerchensko-Tamanskoj oblasti (The isotope composition of carbon of the carbon-containing gases CH₄ and CO₂ of mud volcanoes in Kerch-Taman region) // Geohimija. 1970. №2. P.243-247. (in Russian).
 14. Shnjukov E.F., Gnatenko G.I., Nesterovskij V.A., Gnatenko O.V. Grjazevoj vulkanizm Kerchensko-Tamanskogo regiona (Mud volcanism of the Kerch-Taman region). Kiev: Nauk. Dumka (Publ.), 1992. 200 p. (in Russian).
 15. Lavrushin V.Ju. Podzemnye fljuidy Bol'shogo Kavkaza i ego obramlenija (Underground fluids of the Great Caucasus and its surrounding) / Trudy GIN. Vyp. 599. 2012. 338 p. (in Russian).
 16. Ershov V. V., Levin B.V. Novye dannye o veshhestvennom sostave produktov dejatel'nosti grjazevyh vulkanov Kerchenskogo poluostrova (The new data on matter composition of Kerch peninsula mud volcanoes activity products) // Doklady akademii nauk. Geohimija. 2016. Vol. 471. № 1. P. 1-6. (in Russian).
 17. Amelichev G.N., Tokarev I.V., Tokarev S.V., Kraynyukova I.A., Burlakova N.S. Kompleksnaja ocenka vozrasta i ustanovlenie uslovij formirovanija mineral'nyh vod «Bishuli» (Ravninnyj Krym) na osnove izotopno-geohimicheskikh dannyh (The «Bishuli» mineral waters (the Crimean Plains): comprehensive evaluation of its age and conditions of formation on the base of isotope-geochemical data) // Uchjonye zapiski Krymskogo Federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija. 2017. № 2. P. 130-150. (in Russian).

Поступила в редакцию 02.12.2017 г.