

УДК 551.44: 504.43

Амеличев Г. Н.¹

Формирование и режим карстовых вод в междуречье Большого и Малого Салгира (Симферополь, Республика Крым)

¹УМНЦ Институт спелеологии и карстологии Таврической академии КФУ имени В. И. Вернадского, Симферополь
e-mail: lks0324@yandex.ru

Аннотация. Работа посвящена изучению условий формирования карстовых вод, их гидрогеологического и гидрохимического режима в юго-восточной части города Симферополя для понимания причин активизации карста и оценки питания подземных вод Равнинного Крыма. Выявлены основные водоносные горизонты, направление движения вод в них и источники разгрузки. Водобалансовыми исследованиями определена величина антропогенных утечек из водопроводно-канализационной сети. Установлены закономерности годового распределения температуры воды в источниках междуречья. В ходе анализа гидрохимических показателей выдвинута гипотеза о частичном питании источника Чокурча и р. Малый Салгир водами неокомского водоносного горизонта. Она подтверждается материалами изотопных исследований.

Ключевые слова: карстовые воды; водный баланс; подземный сток; источник; питание; изотопный состав воды.

Введение

Активное хозяйственное освоение закарстованных территорий требует тщательного изучения тех потенциальных угроз и опасностей, которые присущи карсту. В связи с новыми теориями и концепциями, которые в последние годы получили развитие в отечественной карстологии, необходимо по-новому оценить и реинтерпретировать карстовые явления на участках с высокой плотностью застройки и концентрацией населения. При этом подходы, базирующиеся на оценке карстовой опасности, должны быть связаны с быстро изменяющимися, высокодинамичными условиями карстообразования. Такими условиями являются карстовые воды и их агрессивность (способность растворять горные породы). Их диагностическая функция начинает проявляться еще на стадии формирования и тесно связана с режимом водообменных процессов и характером влияния внешних по отношению к карстовой геосистеме факторов. Проведенные в течение трех лет мониторинговые наблюдения за поверхностным и подземным стоком в городской черте Симферополя позволяют сформировать новые представления об особенностях функционирования карстово-водоносных систем и их роли в активизации карстовых процессов. Поэтому цель данного сообщения – выявление условий формирования запасов карстовых вод и гидрогеологического режима их функционирования в пределах небольшого урбанизированного участка Внутренней гряды. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: оценка геолого-геоморфологических условий карстообразования; количественное определение водно-балансовых

составляющих; анализ гидрологических и физико-химических параметров водных объектов территории и др. Кроме традиционных гидрогеологических, геоморфологических и карстолого-спелеологических методов использовались методы математической статистики, изотопного опробования и анализа вод и др.

Общая характеристика территории

Объектом данного исследования является северная оконечность междуречья Салгира (далее – Большого, или Б. Салгира) и Малого Салгира (далее – М. Салгира), расположенная в пределах юго-восточной и центральной частей города Симферополя (рис. 1).

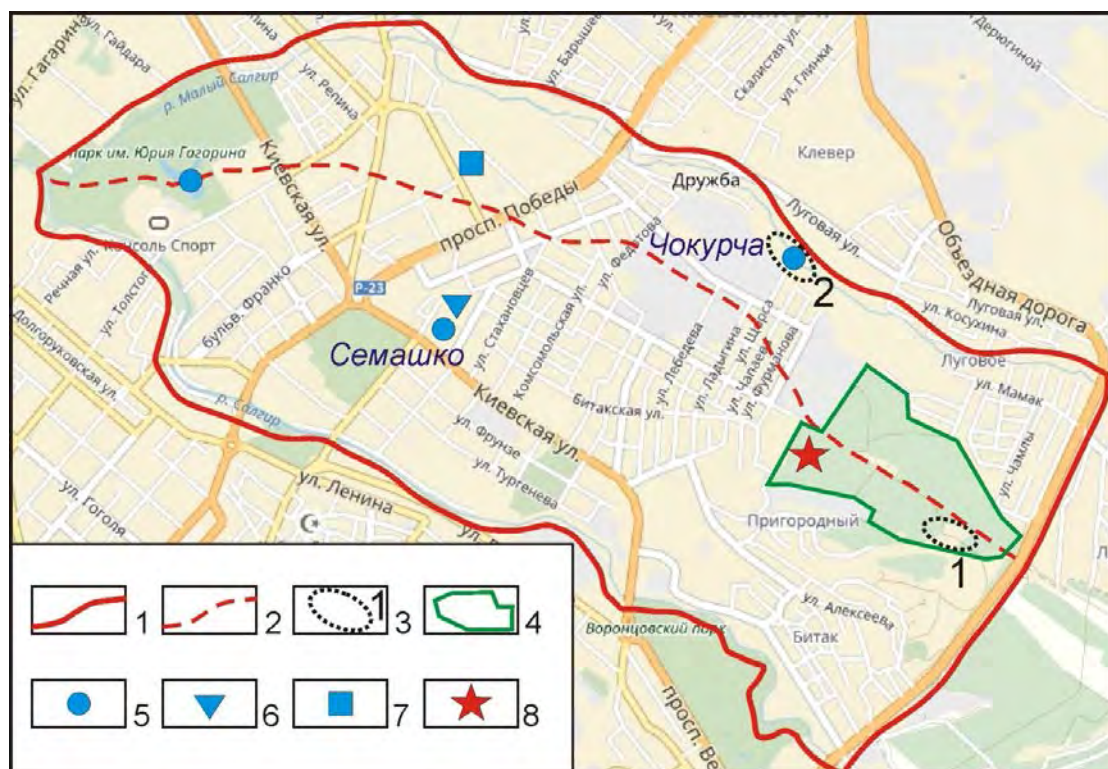


Рис. 1. Положение междуречья Б. и М. Салгира и его объектов изучения

1 – границы междуречья, 2 – водораздельная линия, 3 – контуры гипогенно-карстовых кластеров и их номера (1 – Битакский, 2 – Чокурчинский), 4 – особо охраняемая природная территория ландшафтно-рекреационный парк «Битак», 5 – источники, 6 – скважина, 7 – колодец, 8 – подземная полость (по геофизическим данным)

Междуречное пространство в орографическом плане представляет собой фрагмент Внутренней гряды Предгорного Крыма с примыкающей частью Северной продольной депрессии, ограниченный с юго-запада руслом Б. Салгира, а с северо-востока и севера – руслом М. Салгира (непосредственно до слияния этих рек). Юго-восточной границей является городская черта, совпадающая с Ялтинской обьездной автодорогой, пересекающей Битакскую куэсту. Проведение

этой границы также обусловлено проходящим здесь контактом юрских и мел-палеогеновых пород. В пределах контура указанных границ площадь участка составляет 7,5 км². Водораздельная линия междуречья вытянута с северо-запада на юго-восток более чем на 5 км. У впадения М. Салгира в Б. Салгир она имеет минимальную абсолютную отметку 234 м, а на южном окончании – максимальную 363 м. Водораздел делит территорию на два разных по площади и характеру рельефа склона: пологое правобережье Б. Салгира (4,8 км²) и крутое левобережье М. Салгира (2,7 км²). Асимметрия склонов обусловлена историей развития речных долин и характером тектонических движений в неоген-четвертичное время [1]. На западном склоне междуречья эта история запечатлена в комплексе надпойменных террас, насчитывающем четыре уровня [2].

Климатические условия являются одним из ключевых факторов для формирования запасов подземных вод в междуречье, понимания динамики водообменных процессов и обоснования режима функционирования гидрогеологической системы участка. Основные характеристики климата Битакской куэсты такие же, как на расположенном восточнее междуречье М. Салгира и Абдалки [3]. Здесь представлен полусухой, теплый, с мягкой зимой климат [4]. Самым теплым месяцем считается июль (22°C), самым холодным – январь (-1°C). Средняя годовая температура воздуха по наблюдениям автора составляет 11,5°C. Зимой характерны частые оттепели, приводящие к быстрому таянию снега и активной инфильтрации талых вод. Среднее годовое количество осадков за период наблюдений в 2014–2016 гг. составило 539 мм [5]. Величина испарения определена по «Климатическому атласу Крыма» и достигает 450 мм [6]. Малое количество эффективных осадков и развитие хорошо проницаемых террасовых отложений не способствуют формированию поверхностного стока в междуречье. Кроме того, густо заселенная часть междуречья оснащена дренажными системами, отводящими ливневый сток. Естественные и природоподобные ландшафты приурочены к юго-восточной возвышенной части куэсты, где расположена особо охраняемая природная территория – ландшафтно-рекреационный парк «Битак».

Геолого-геоморфологические условия

Геологическая трактовка территории долгое время основывалась на разработках М. В. Муратова [7] и его последователей. Ее положения зафиксированы на геологической карте Горного Крыма масштаба 1:200000, подготовленной С. В. Пивоваровым [8]. Начиная с 90-х гг. прошлого века, взгляды на геологическое строение Крыма в целом и Симферополя в частности начинают меняться в связи с появлением новых идей в региональной геодинамике. Современные представления о структурно-геологическом строении Симферополя и его окрестностей базируются на теории актуалистической геодинамики [9–11]. На рисунке 2 представлен фрагмент геологической карты с уточненной детализацией размещения структурных элементов и глубинным разрезом, охватывающим относительно тонкий, полого залегающий мел-кайнозойский чехол неокиммерид и сложные дислокации киммерийского структурного этажа с Предгорной сутурой и крупной Симферопольской антиклиналью, подстилаемой мощной зоной меланжа [12]. Участок междуречья

располагается в пределах одного структурного элемента – Куэстовой моноклинали, представляющей собой толщу мел-палеогенового возраста, которая полого падает на северо-запад под углами 5–20°.

Для характеристики условий карстообразования наибольший интерес представляет строение толщи мел-кайнозойского чехла (мощность до 1 км) и чередование в нем компетентных и некомпетентных пород разной проницаемости и карстуемости.

В основании геологического разреза южной части междуречья залегают битакские конгломераты средней-верхней юры, которые обнажаются в окрестностях Симферопольского водохранилища и вдоль р. Салгир ниже плотины. Они имеют мощность около 5 км, залегают у поверхности субвертикально, являясь нерастворимыми и слабопроницаемыми для поровых вод. При наличии трещин их коллекторские свойства улучшаются. Битакские конгломераты с разрывом и угловым несогласием перекрываются невыдержанными по мощности (1–5 м), часто выклинивающимися железистыми буро-желтыми известняками готерив-баррема с кварцевой галькой и прослоями зеленой глины. Тем не менее с этими отложениями связан водоносный горизонт на южной окраине Симферополя. Он вскрывается рядом колодцев в днище долин Б. и М. Салгира. Возможно его водами частично питается источник Чокурча. Судя по хорошей обводненности горизонта и стабильной разгрузке из него карстовых вод на смежном участке он обладает хорошей канализованностью.

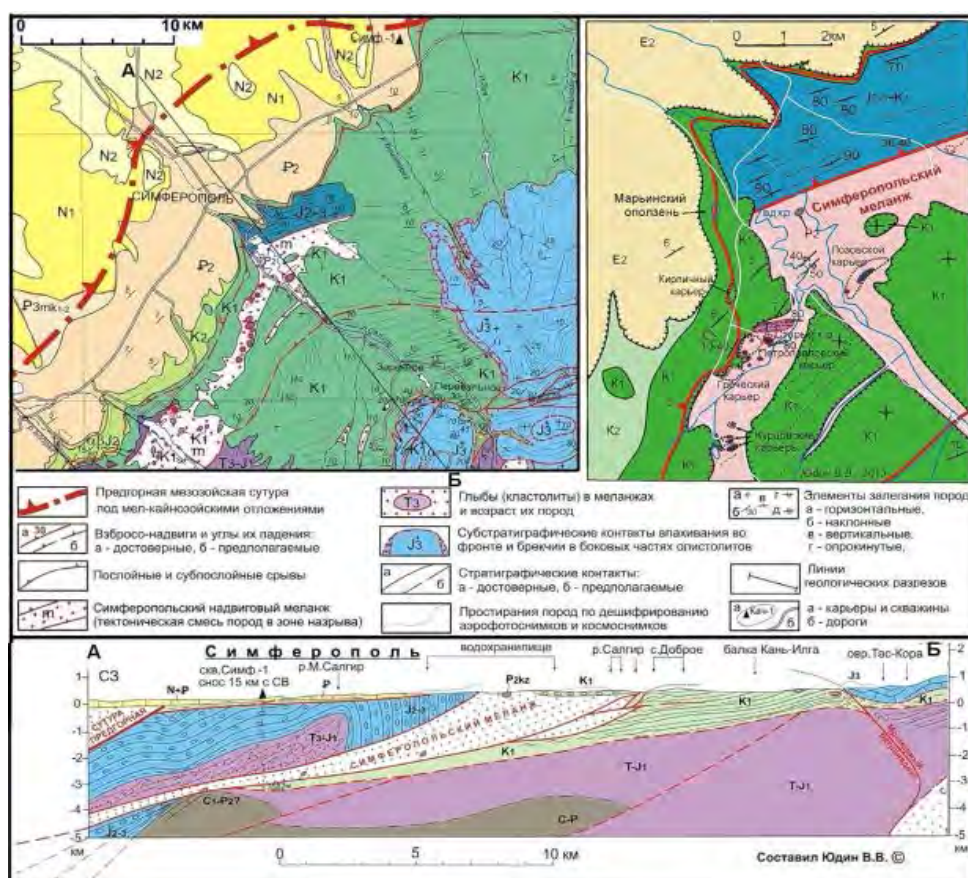


Рис. 2. Геологическая карта с детализацией и разрез района Симферополя [12]

Вверх по разрезу неокомские отложения сменяются маломощными глинами аптского и альбского ярусов, которые совместно с вышележащими глинами бахчисарайского яруса эоцена создают условия для формирования напорных вод в неокомском водоносном комплексе. Верхнюю часть междуречного разреза образуют нуммулитовые известняки симферопольского яруса среднего эоцена, которые под углами $15-20^\circ$ падают на северо-запад. Их бронирующая структурный склон толща на битакском и чокурчинском участках речных долин прорыва срезается 20–30 метровыми обрывами. Общая мощность нуммулитовых известняков составляет 50–60 м. В толще карбонатов междуречного массива развит среднеэоценовый водоносный горизонт. Глубина залегания карстовых вод в нем достигает 10–15 м. Коэффициенты фильтрации известняков сильно варьируют (0,002–5,8 м/сут.), достигая максимальных показателей в приразрывных зонах [13]. В средней части структурного склона Битакской куэсты нуммулитовые известняки с согласием перекрываются толщей верхнего эоцена, состоящей из мергелей бодракского и альминского ярусов. Они также выполняют Северное межгрядовое понижение и подстилают локальные выходы красноцветных кизилджарских отложений (фрагмент плиоценовой поверхности выравнивания) и ареалы четвертичного аллювия террас и поймы в долинах Б. и М. Салгира [14].

С аллювиальными отложениями террас и поймы Б. и М. Салгира связаны выходы нескольких карстовых источников. Источник Семашко ($44,956650^\circ$ с. ш., $34,114890^\circ$ в. д.) расположен на правом берегу Б. Салгира, на территории Республиканской клинической больницы им. Семашко (рис. 3).



Рис. 3. Фото и геоморфологическая схема размещения источника Семашко

1 – поверхности надпойменных террас и их номера, 2 – уступы между соседними террасами, 3 – здания, 4 – источник Семашко, 5 – палеорусло ручья.

Каптаж источника находится в основании уступа третьей надпойменной террасы, на абсолютной отметке 255 м. Он состоит из каменной стенки-тумбы, вплотную стоящей к уступу террасы, с вмонтированной в нее сливной трубой.

Общая высота уступа, несколько измененного при планировке территории, составляет около 10 м, уклон поверхности 25°. Аллювий в склоне террасы представлен красноцветными суглинками, кварцевой и песчаниковой галькой. Сток родника уходит в городскую канализацию. В прошлом он уходил в аллювий второй надпойменной террасы, на которой ныне находится Детский парк, и в наиболее влажные годы вызывал подтопление этой территории. Местные старожилы указывают, что родник известен с начала XX века. Его якобы целебной водой пользовался местный знахарь, лечивший людей, а впоследствии вокруг была построена больница.

Источник Чокурча (44,960859° с.ш., 34,134775° в.д.) расположен на левом берегу р. М. Салгир, на территории Луговской районной больницы (рис. 4).



Рис. 4. Фото и геоморфологическая схема размещения источника Чокурча

1 – поверхности надпойменных террас и их номера, 2 – уступы между соседними террасами, 3 – обрывы Битакской куэсты, 4 – источник Чокурча, 5 – здания.

Каптаж источника представляет собой бетонный бассейн размерами 0,5×1,0 м и глубиной 0,5 м, со дна которого выходит струя родниковой воды. Накопившиеся воды выходят через сливную трубу диаметром 2 дюйма и изливаются в реку. Каптажный бассейн заложен в основании уступа первой надпойменной террасы и частично в русловом аллювии реки, однако воды в нем имеют совершенно другие, отличные от речных гидрохимические и гидрофизические параметры. Только в период паводков речные воды могут попадать в каптаж, но это явление кратковременное.

Пруд в парке отдыха им. Гагарина расположен в пределах первой надпойменной террасы р. Б. Салгир. Толща террасы представлена хорошо проницаемыми гравийно-галечниковыми отложениями с прослоями и линзами суглинков. Ее мощность в прирусловых участках может достигать 5 м. Аллювий подстилают слабопроницаемые мергели верхнего эоцена, способствующие накоплению подземных вод в кровле. А. Н. Олиферов [15] считает, что генетически Гагаринский пруд представляет собой старицу приустьевого меандра реки. С этим можно согласиться, добавив, что условия повышенной обводненности на этом участке также связаны с частичной разгрузкой карстовых

вод эоценового водоносного горизонта, которые при погружении под мергели приобретают напор и восходящий вектор движения, реализуемый через зоны трещиноватости в тех же мергелях. Через эти отложения разгрузка осуществляется в аллювий первой надпойменной террасы, где происходит рассредоточение стока. При сооружении Гагаринского пруда в 60-х гг. прошлого века эта гидрогеологическая система была вскрыта, что существенно облегчило заполнение искусственного котлована ключевыми и аллювиальными водами.

Яркими индикаторами, указывающими на длительную, устойчивую и локализованную работу сосредоточенного подземного стока, являются зоны высокой закарстованности и подземные полости. В пределах междуречья их относительно высокая плотность наблюдается на двух участках-кластерах (рис. 1), соответствующих бортам долин прорыва Б. и М. Салгира через Внутреннюю гряду – крутому склону над микрорайоном Битак и обрывам урочища Чокурча (микрорайон Луговое). Такое аномальное развитие пустотности полностью соответствует закономерности размещения гипогенно-карстовых форм в пределах речных долин Предгорного Крыма и подтверждается морфоскульптурными, спелеоседиментационными и минералогическими диагностическими критериями [14; 16]. На Битакском участке, вытянутом на 400–500 м по правобережью Б. Салгира, широко представлены современные карстовые образования – карры и мелкие каменицы. Они обрамляют более крупные формы – гроты, ниши и фрагменты вертикальных каналов специфической морфологии, которые, согласно концепции гипогенного карста [17], трактуются как реликтовые (бывшие подземные) морфоскульптуры. Размеры реликтовых гротов и навесов достигают 2–2,5 м в высоту, 3–5 м в ширину и 1–2 м в глубину. Фрагменты вертикальных каналов, представляющих собой половинки разрушенных склоновым отступанием пещер, развиты в высоту до 5–7 м. В отличие от гротов, карнизов и ниш, развивающихся стратиформно, они секут слои горных пород вкрест их простирания, часто используя вертикальную трещиноватость. Сохранившиеся фрагменты реликтовых пещер расположены рядом, но почти полностью засыпаны мелкоземом и бытовым мусором. Их морфометрические характеристики в настоящее время определить трудно. Для этого необходимо провести раскопки. Еще в начале XX в. П. А. Двойченко [18], описывая минералы пещер в окрестностях Симферополя, упоминал эти подземные формы как доступные для человека. Анализ морфологии привходовых частей, наличие мытых сводов сферической формы, зон ячеистого и губчатого растворения по контуру полостей, кластерное внутридолинное расположение указывает на гипогенно-карстовое происхождение этих подземных форм.

Второй участок развития карстовых форм находится в урочище Чокурча (микрорайон Луговое). Здесь крутым, местами обрывистым восточным склоном вскрываются нуммулитовые известняки, которые образуют крупные высотой до 20 м полуостанцовые формы-бастионы. К отдельным слоям этих обнажений приурочены стратиформные зоны кавернозности с размерами каверн до первых десятков сантиметров. Отдельные карстовые каналы диаметром до 20–30 см, изгибаясь, уходят в глубину породы. Как и на Битакском участке, здесь имеются вертикальные полуканалы-желоба, развитые на крутых стенках обнажений. В нижней части обрывов известно несколько пещер и гротов, которые связаны с палеолитическими стоянками первобытного человека [14]. Все многообразие

карстовых форм, включая источник Чокурча, сосредоточено на 500-метровом отрезке долины. Такое кластерное расположение, морфология и функциональная взаимосвязь реликтовых форм дают основание рассматривать Чокурчинский карстовый участок как имеющий гипогенное происхождение.

Данные геофизических исследований, выполненных Д. В. Ивлевым в 2010 г. с применением технологии пассивной магнитно-резонансной локации недр, позволяют предположить, что между двумя кластерами под водоразделом междуречья имеются и другие карстовые полости довольно больших размеров. Учитывая относительную молодость вскрытия эоценовых известняков на поверхности [19] и то, что современные климатические условия слабо благоприятны для развития карста, следует признать, что эти полости также имеют глубинный генезис. Освободившись в период вскрытия эрозионными врезами от напорных вод, они перешли в реликтовое состояние, и ныне выполняют дренажную функцию в эоценовом водоносном комплексе, проводя к области разгрузки свободные подземные воды. О том, что под водоразделом хорошо выражена гидродинамическая зона сезонных колебаний уровня карстовых вод с годовой амплитудой в несколько метров, свидетельствуют материалы анализа провалообразования в междуречье. Так, 10.05.2012 на ул. Лермонтова, 7 образовался провал глубиной 8 м на месте засыпанного 32 года назад колодца. После засыпки колодца грунтовые воды в нем продолжали менять свои уровни в зависимости от малой или высокой обводненности водоносного горизонта. Это стимулировало развитие суффозионных и карстовых процессов в зоне колебания. Вынос материала из нижней части засыпки колодца на фоне вибрационного эффекта от проезжающих у дома автомобилей сопровождался проседанием всей тампонажной колонны со скоростью 1 м за 4 года [20].

Водно-балансовые исследования

Для оценки количества воды и понимания особенностей ее пространственно-временного распределения внутри междуречного пространства был использован водно-балансовый подход. Согласно ему годовой приход, расход и аккумуляция воды в междуречье могут быть представлены с помощью уравнения водного баланса, которое для района исследования записывается в упрощенном виде:

$$x + z_1 = y_2 + w_2 + z_2,$$

где x – жидкие и твердые осадки, z_1 – конденсация водяного пара, y_2 – поверхностный (речной) сток за пределы участка, w_2 – подземный сток за пределы бассейна, z_2 – испарение с поверхности бассейна. Все элементы рассчитываются в миллиметрах.

Выполненные по результатам трехгодичных наблюдений водобалансовые исследования позволили на количественном уровне определить соотношение элементов приходной и расходной частей балансового уравнения [21]. Учитывая орографическую изолированность Битакской куэсты и отсутствие подземного подтока с юга, где обнажаются некарстующиеся конгломераты, единственным естественным источником питания эоценового водоносного горизонта являются атмосферные осадки. Их количество за период наблюдений составило 539 мм. Эксперименты по выявлению конденсационного питания в междуречье

результатов не дали. Поэтому конденсация исключена из приходной статьи баланса. Поверхностные водотоки внутри территории также отсутствуют. Для определения расходной статьи баланса были выполнены расходометрические работы на всех основных водопунктах междуречья. В результате установлено, что суммарный подземный сток с этой территории составляет 79 л/с, что соответствует годовому объему 2941660 м³, модулю стока 10,5 л/с·км² и слою стока 332 мм. Величина испарения по оценке И. П. Веда [6] составляет 450 мм. Таким образом, после определения составляющих водного баланса, уравнение принимает вид неравенства:

$$539 \neq 332 + 450,$$

из которого следует, что образующийся в правой части уравнения излишек в 143 мм может формироваться исключительно за счет местных антропогенных утечек из водопроводно-канализационной сети. Аналогичный результат был получен в соседнем междуречье М. Салгира и Абдалки при изучении химической (карстовой) денудации [22].

Водный, термический и химический режим карстовых вод

Режим карстовых вод на междуречье Б. и М. Салгира ранее специально не изучался. Имеющиеся данные наблюдений за родниками Семашко и Чокурча позволяют в общих чертах рассмотреть этот вопрос. В таблице 1 приведены материалы трехлетних наблюдений за их водностью, температурой и гидрохимическими параметрами.

Таблица 1.

Осредненные данные трехлетних наблюдений за электропроводностью (C₁, C₂, μS), соленостью (S, ppt), минерализацией (TDS, г/л), температурой (t, °C) и расходом (Q, л/с) карстовых источников междуречья Б. и М. Салгира

Название	C ₁	C ₂	S	TD S	t	Q
Семашко	0,5 20	0,6 68	0,3 1	0,4 36	13, 5	0,2 4
Чокурча	0,7 34	0,9 48	0,4 9	0,6 16	12, 9	0,3 3

Графики изменения расходов родников Семашко и Чокурча (рис. 5), построенные по фактическим данным замеров, указывают на характерные для карстовых источников, крайне неравномерные внутригодовое и межгодовое распределения водности, иллюстрируемые пилообразным строением ломаной линии.

На обоих графиках отмечается повышенная водность в 2015 г. и низкая в 2014 и 2016. Для внутригодового распределения характерен меженный период в апреле–мае и августе–сентябре. В зимнее время частые оттепели и связанное с ними таяние снега не позволяют опускаться расходам на критически низкие

отметки. Относительно тесная (0,65) корреляция расходов обоих родников указывает на единство источников формирования вод и близость режимов водообмена.

Изучение термического режима родниковых вод показало, что годовые межгодовые колебания носят циклический характер (рис. 6) и с некоторым запаздыванием следуют за колебаниями температуры воздуха. При средней температуре воздуха в междуречье $11,5^{\circ}\text{C}$, средняя годовая температура воды в роднике Семашко составляет $13,5^{\circ}\text{C}$, а в роднике Чокурча – $12,9^{\circ}\text{C}$. Разница в температуре вод может быть связана с экспозиционными условиями водосборных площадей, глубиной залегания водоносной толщи и теплофизическими свойствами пород, которые участвуют в аккумуляции и передаче воды из области питания в область разгрузки.

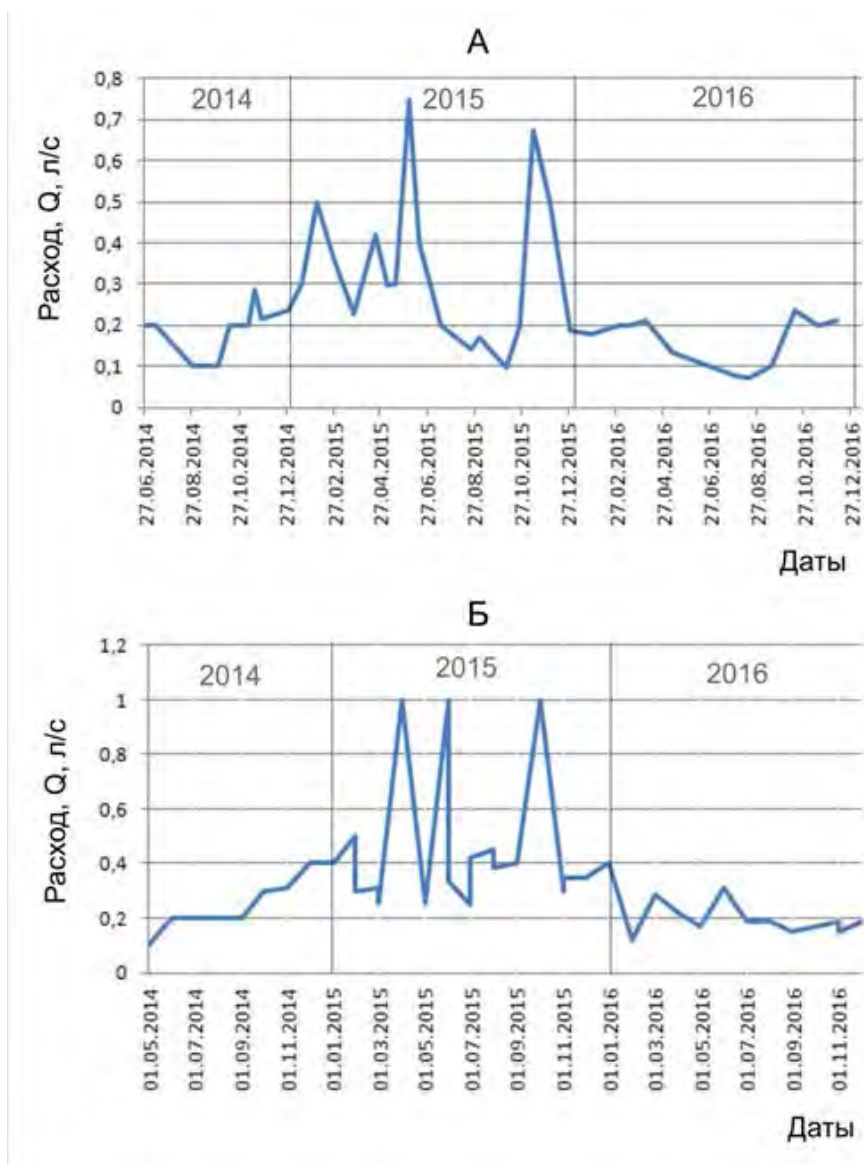


Рис. 5. Изменения расходов воды в родниках Семашко (А) и Чокурча (Б) за 2014–2016 гг.

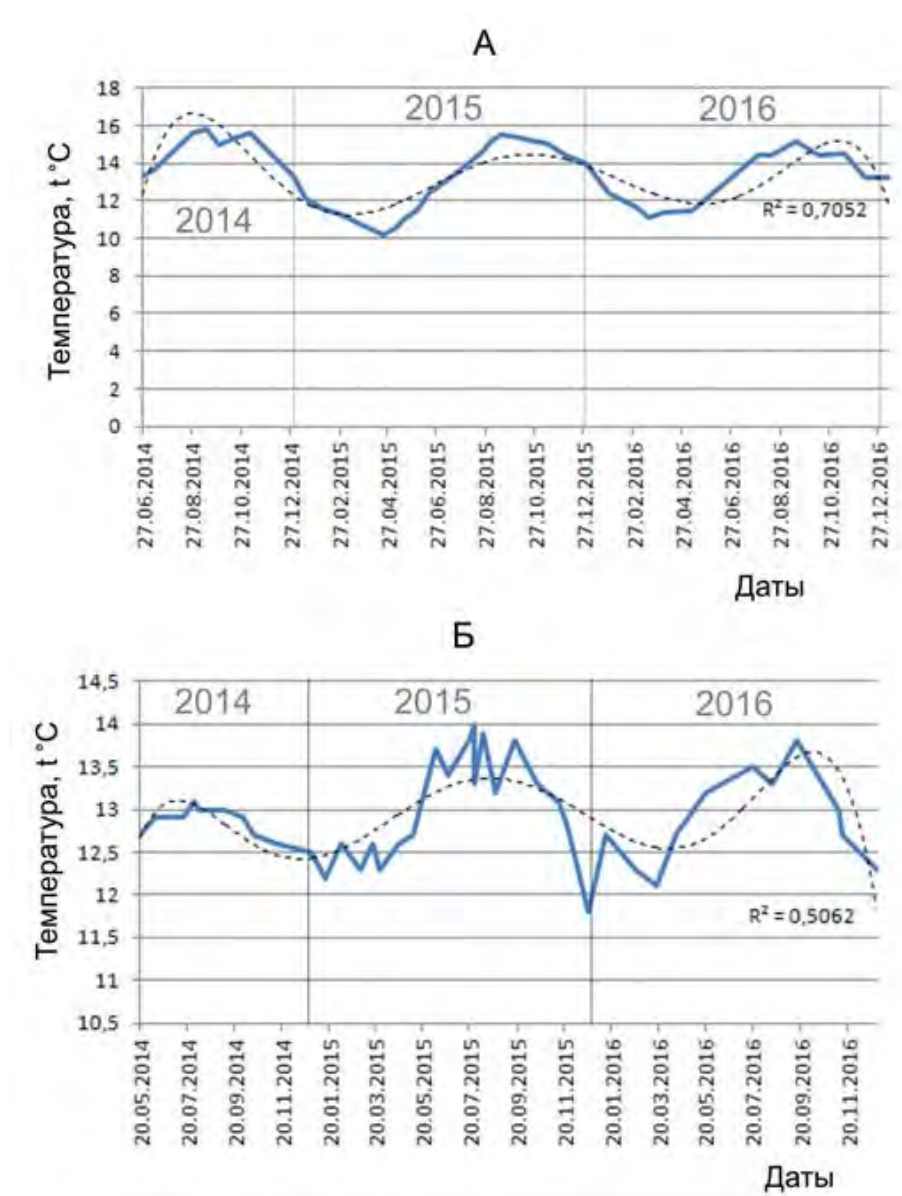


Рис. 6. Изменения температуры воды в родниках Семашко (А) и Чокурча (Б) за 2014–2016 гг.

Межгодовая цикличность родника Семашко выражена более ярко, что подтверждается высоким коэффициентом аппроксимации тренда (пунктир на графике). В течение трех лет максимальные температуры воды источника Семашко приходились на сентябрь, а минимальные – на март–апрель. Годовая амплитуда температур составляла в 2015 г. 5,2°C, в 2014 – 4,9°C, в 2016 – 4,1°C. По сравнению с источником Чокурча изменчивость температуры в три раза выше, что указывает на менее стабильные и менее защищенные от внешнего влияния условия, в которых формируется гидротермическое поле.

Межгодовая термическая цикличность источника Чокурча выражена хуже. Максимальные температуры воды наблюдаются в июле (иногда в сентябре), а

минимальные – в декабре–январе. Наибольший размах температур наблюдался в 2015 г. и составлял 2,2°C. В 2014 г. амплитуда была минимальной – 0,6°C, а в 2016 – 1,7°C. Для внутригодового хода температур характерна мелко контрастная изменчивость, указывающая на сильное влияние стороннего фактора, которым, вероятнее всего, выступает р. М. Салгир во время паводков. Именно в периоды зимних оттепелей и летних ливней, когда уровни воды в М. Салгире существенно поднимаются, наблюдаются значительные скачки температуры, связанные с попаданием речной воды в каптаж родника. Тем не менее коэффициент вариации температур здесь минимальный и составляет 0,04. Относительно высокая термодинамическая стабильность указывает на хорошую изолированность вод от влияния внешних температур. С учетом близкого залегания готерив-барремского водоносного комплекса, положения в фокусе Чокурчинского гипогенно-карстового кластера и отличий от источника Семашко по величине минерализации можно предположить здесь наличие гидрогеологического окна с частичной разгрузкой напорных неокотских вод. Тем не менее превалирующую роль в питании источника Чокурча играют воды эоценового горизонта.

Гидрохимический режим карстовых источников Семашко и Чокурча изучался с позиции электропроводности воды и ее минерализации. Для этого использовался автономный портативный кондуктометр ЕС 300.

Известно, что химически чистая вода – плохой проводник электричества. Электропроводность воды немного увеличивается с повышением температуры и сильно возрастает с увеличением минерализации. В последнем случае важное значение имеет также химический состав, т. к. при равной минерализации двух растворов выше электропроводность будет в том из них, где больше ионов Cl^- и K^+ . Они влияют значительно сильнее, чем другие ионы [3].

На рисунке 7, характеризующем фактическое распределение показателей электропроводности, учитывающей температуру, и минерализации за весь период наблюдений, отмечается практически идентичный характер обеих кривых в обоих источниках. Это говорит о том, что электропроводность почти полностью контролируется минерализацией карстовых вод. Степень сближения красной и синей линий зависит от температуры, обеспечивающей некоторый прирост электропроводности.

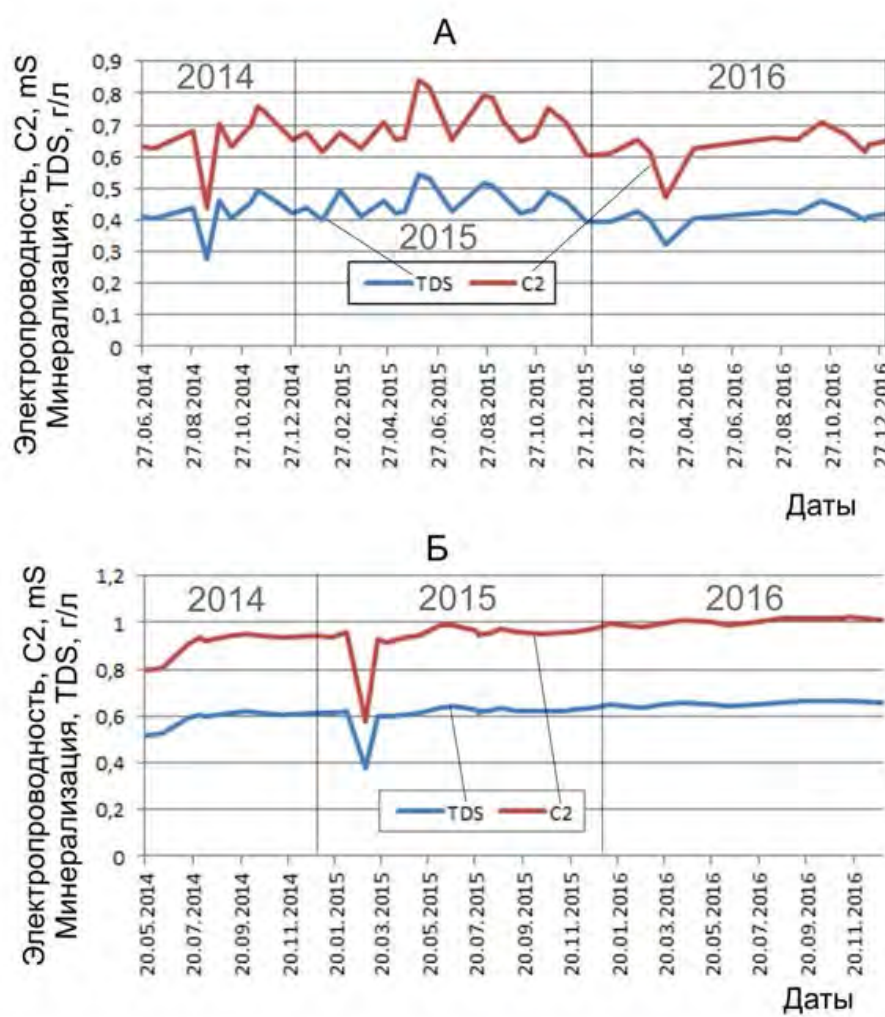


Рис. 7. Совмещенные графики электропроводности (C₂) и минерализации (TDS) воды в родниках Семашко (А) и Чокурча (Б) по материалам наблюдений 2014–2016 гг.

Выявить межгодовую цикличность гидрохимических показателей на обоих графиках не удалось. Низкие значения коэффициента аппроксимации свидетельствуют, что формирование электропроводности и минерализации в целом не зависят от сезонных факторов.

Характер кривой минерализации источника Семашко имеет высокую изменчивость вне зависимости от сезонов года (амплитуда более 0,2 г/л). Минимумы кривой связаны с ливнями в сентябре 2014 г. и активным таянием снега в марте 2016 г. Высокие значения минерализации, резко чередующиеся с минимумами в 2015 г., связаны с «поршневым» эффектом выдавливания «старых» высокоминерализованных вод «молодыми» низко минерализованными талыми и/или ливневыми водами. Такой активный водообмен обусловил изменчивость минерализации, более чем в два раза превышающую аналогичный показатель в источнике Чокурча. Среднегодовые показатели минерализации источника Семашко в 2014–2015 гг. увеличились с 0,426 до 0,459 г/л. Однако в

отличие от тенденции, наблюдаемой в источнике Чокурча, в 2016 г. концентрация солей здесь снизилась до 0,411 г/л.

Характер минерализации источника Чокурча имеет вид плавно нарастающей кривой, прерываемой глубокой депрессией, которая наблюдалась в феврале–марте 2015 г. и была связана с большим паводком на р. М. Салгир. Коэффициент вариации за весь период наблюдений составил 0,08. Осредненные за год данные по минерализации свидетельствуют, что этот показатель из года в год увеличивается. Так, в 2014 г. он составил 0,591, в 2015 г. – 0,608, а в 2016 г. – 0,654 г/л. Объяснить эту тенденцию можно несколькими причинами: 1) снижением объемов вод, поступающих из эоценового водоносного горизонта, приводящим к ускоренной потере агрессивности и быстрому насыщению потоков, доходящих к месту разгрузки; 2) увеличением доли более минерализованных и агрессивных вод, поступающих из готерив-барремской толщи, вследствие интенсивного растворения и расширения подводящего канала.

Разовые данные изотопного опробования источника Чокурча указывают, что его воды несколько смещены в сторону утяжеления (на 0,2–0,3 ‰) по кислороду и облегчены (на 2–3 ‰) по дейтерию относительно локальной линии метеорных вод, рассчитанной для Крыма [23]. Выявленный сдвиг может рассматриваться как косвенный признак участия вод готерив-барремского водоносного горизонта в питании источника. Воды этого горизонта из ныне затампонированной напорной скважины, расположенной на территории больницы им. Семашко, отбирались неоднократно. Они имеют существенно облегченный состав ($\delta^{18}\text{O} = -11,9\text{‰}$; $\delta^2\text{H} = -77,7\text{‰}$). По отношению к локальной линии метеорных вод здесь наблюдается аналогичный чокурчинскому сдвиг по кислороду и дейтерию. Минерализация вод из нижнемеловых отложений превышает 1,2 г/л, что в 2–3 раза выше, чем такой же показатель из эоценового горизонта. Изотопное опробование источника Семашко не проводилось.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сформулировать несколько основных выводов.

1. В приповерхностной мел-кайнозойской части разреза междуречья сосредоточено три водоносных горизонта: нижний – готерив-барремский, средний – эоценовый и верхний – четвертичный. Первый из них приобретает напорный характер еще в средней части склоновой моноклинали, второй – в нижней части, воды третьего – постоянно свободны.

2. Движение карстовых вод основного эоценового горизонта Битакской куэсты осуществляется к северо-западу в соответствии с моноклиной. В области транзита, судя по годовым колебаниям уровня вод и нарастающей к низовьям минерализации, происходит активный водообмен, сопровождаемый спелеогенезом. Выходы подземного стока на поверхность сосредоточены в трех источниках: Семашко, Чокурча, Гагаринский пруд.

3. Выявлено два реликтовых карстовых кластера на противоположных склонах междуречья, маркирующих зоны древнего концентрированного стока (разгрузки). Оба участка лежат над вскрытыми (вскрывающимися) водоносными отложениями готерив-баррема. Битакское гидрогеологическое окно сформировалось раньше.

Приуроченные к нему гипогенно-карстовые формы – проводники палеостока в значительной степени разрушены и/или прикрыты террасовыми комплексами Б. Салгира. Гидрогеологическое окно в пределах Чокурчинского кластера, судя по комплексу выявленных признаков, слабо функционирует. Сохранность реликтовых карстовых форм в его пределах выражена намного лучше.

4. Проведенные водобалансовые исследования позволили выявить превышение расходной статьи баланса над приходной. Выявленный избыток стока связывается с антропогенными утечками из водонесущих коммуникаций города.

5. Анализ параметров водного и термического режима свидетельствует об их яркой внутригодовой цикличности и межгодовой изменчивости, связанной с суммарным количеством осадков. Характер вариаций минерализации таких закономерностей не демонстрирует. Химический режим в значительной степени зависит от интенсивности выпадающих осадков и количества талых вод. При совместном анализе режимных характеристик источников Семашко и Чокурча выявлены дополнительные факты, указывающие на возможность частичного питания последнего водами неокотского водоносного горизонта. Этот вывод подтверждается материалами изотопных исследований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым в рамках научного проекта № 16-45-910583, код р_а.

Литература

1. Лысенко Н. И. О находке остатков *Equus sussenbornensis* Wurst из террасовых отложений Горного Крыма // Бюлл. МОИП, отд. Геологии. Т. XXXV (2). – 1960. – С. 123–125.
2. Лысенко Н. И. О причинах асимметрии речных долин // Изв. ВГО, т. 98. – 1966. – С. 357–361.
3. Амеличев Г. Н., Олиферов А. Н., Новикова Ф. Н. Гидрологические особенности р. Абдалка (Симферополь) в области питания артезианского бассейна Равнинного Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2017. – Т. 3 (69), № 1. – С. 161–176.
4. Важов В. И. Целебный климат. – Симферополь: Таврия, 1979. – 80 с.
5. База данных о состоянии метеозлементов Симферополя [Электронный ресурс]. URL: http://gr5.ua/Архив_погоды_в_Симферополе (дата обращения: 14.06.2017)
6. Ведь И. П. Климатический атлас Крыма. – Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. – 112 с.
7. Муратов М. В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. – М., 1960. – 267 с.
8. Геологическая карта Горного Крыма (масштаб 1:200000) / Под ред. Н. Е. Деренюк. – Киев, 1984.
9. Юдин В. В. Геологическая карта и разрезы Горного, Предгорного Крыма. Масштаб 1:200000. – Симферополь: Крымская АН – Союзкарта, 2009.
10. Юдин В. В. Геодинамика Крыма. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. – 336 с.
11. Юдин В. В. Геология Крыма. Фотоатлас. – Симферополь: ИТ Ариал, 2017. – 160 с.

12. Юдин В. В. Геология и геодинамика района Симферополя // Спелеология и карстология. – 2014. – № 12. – С. 42–56.
13. Дублянская Г. Н., Дублянский В. Н. Теоретические основы изучения парагенезиса карст – подтопление. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1998. – 214 с.
14. Амеличев Г. Н., Дмитриева А. Ю., Самохин Г. В. Гипогенный карст Симферополя (Предгорный Крым) и его эволюция // Спелеология и карстология. – 2012. – № 8. – С. 50–62.
15. Олиферов А. Н. Водоемы Симферополя // Устойчивый Крым. Симферополь – южная столица. – Симферополь: Доля, 2001. – С. 276–283.
16. Климчук А. Б., Тимохина Е. И., Амеличев Г. Н., Дублянский Ю. В., Шпётль К. Гипогенный карст Предгорного Крыма и его геоморфологическая роль. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. – 204 с.
17. Климчук А. Б. Гипогенный спелеогенез, его гидрогеологическое значение и роль в эволюции карста. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. – 180 с.
18. Двойченко П. А. Минералы Крыма // Записки Крымского ОЕ. – Симферополь, 1914. – Т. 4. – 208 с.
19. Климчук А. Б., Тимохина Е. И., Амеличев Г. Н., Дублянский Ю. В., Штаубвассер М. Возраст рельефа Внутренней гряды Горного Крыма по U/Th датировкам кальцитовых отложений карстовых полостей // Доклады НАН Украины. – Киев, 2012. – № 7. – С. 88–96.
20. Амеличев Г. Н., Светлов Р. С., Тимохина Е. И., Науменко В. Г. Просадка на улице Лермонтова в Симферополе [Электронный ресурс]. URL: <http://institute.speleoukraine.net/uisk-news/140-2012-05-13-07-20-30> (дата обращения: 19.08.2017).
21. Амеличев Г. Н., Задорожный В. С. Особенности формирования карстовых вод в междуречье Большого и Малого Салгира (Симферополь, Республика Крым) // Дни науки КФУ им. В. И. Вернадского. Сборник тезисов участников III научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых, 2017 (в печати).
22. Амеличев Г. Н., Токарев С. В., Вахрушев Б. А. Химическая денудация как показатель активизации карста в пределах урбанизированных территорий Крыма (на примере восточной части Симферополя) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2017. – Т. 3 (69). – № 1. – С. 177–191.
23. 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.

Amelichev G. N.

***Formation and regime of karst waters in the
interfluvium of the Large Salgir and the Small
Salgir rivers (Simferopol, Crimea)***

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Taurida Academy,
Simferopol, Russian Federation
e-mail: lks0324@yandex.ru

Abstract. The paper is dedicated to study of formation conditions, hydrogeological and hydrochemical regimes of karst waters in south-eastern part of Simferopol city for understanding of karst energization reasons and for evaluation of recharge of groundwater of the Plane Crimea. The main aquifer, directions of groundwater movement and their discharging springs were revealed. The amount of anthropogenic leakages from water-pipes and sewage systems was assessed by water-balance investigations. The regularities of annual dynamic of spring water temperature were defined. By analysis of hydrochemical marks a hypothesis about partial recharge of the Chokurcha spring and the Small Salgir river by waters of Neokom aquifer were proposed. The isotope investigation data confirms it.

Keywords: karst water, water balance, groundwater flow, spring, recharge, isotope composition of water.

References

1. Lysenko N.I. O nahodke ostatkov Equus sussenbornensis Wusti iz terrasovyh otlozhenij Gornogo Kryma // Byull. MOIP, otd. Geologii. T. XXXV (2). 1960. S.123-125.
2. Lysenko N.I. O prichinah asimmetrii rechnyh dolin // Izv. VGO, t. 98. 1966. S.357-361.
3. Amelichev G.N., Oliferov A.N., Novikova F.N. Hidrologicheskie osobennosti r. Abdalka (Simferopol') v oblasti pitaniya artezijskogo bassejna Ravninnogo Kryma // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2017. T. 3 (69). № 1. S. 161-176.
4. Vazhov V.I. Celebnyj klimat. Simferopol': Tavriya, 1979. 80 s.
5. Baza dannyh o sostoyanii meteoehlementov Simferopol'ya [Elektronnyj resurs]. URL: http://rp5.ua/Arhiv_pogody_v_Simferopole (data obraschenija 14.06.2017).
6. Ved' I.P. Klimaticheskij atlas Kryma. Simferopol': Tavriya-Plyus, 2000. 112 s.
7. Muratov M.V. Kratkij ocherk geologicheskogo stroeniya Krymskogo poluostrova. M., 1960. 267 s.
8. Geologicheskaya karta Gornogo Kryma (masshtab 1:200000) / Pod red. N.E. Derenyuk. Kiev, 1984.
9. Yudin V.V. Geologicheskaya karta i razrezy Gornogo, Predgornogo Kryma. Masshtab 1:200000. Simferopol': Krymskaya AN - Soyuzkarta. 2009.
10. Yudin V.V. Geodinamika Kryma. Simferopol': DIAJPI, 2011. 336 s.
11. Yudin V.V. Geologiya Kryma. Fotoatlas. Simferopol': IT Arial, 2017. 160 s.
12. Yudin V.V. Geologiya i geodinamika rajona Simferopol'ya // Speleologiya i karstologiya. 2014. №12. S. 42-56.

13. Dublyanskaya G.N., Dublyanskij V.N. Teoreticheskie osnovy izucheniya paragenezisa karst – podtoplenie. Perm': Izd-vo Perm. un-ta, 1998. 214 s.
14. Amelichev G.N., Dmitrieva A.YU., Samohin G.V. Gipogennyj karst Simferopolya (Predgornyj Krym) i ego ehvolyuciya // Speleologiya i karstologiya. 2012. №8. S. 50-62.
15. Oliferov A.N.. Vodoemy Simferopolya // Ustojchivyy Krym. Simferopol' – yuzhnaya stolica. Simferopol': Dolya, 2001. S. 276-283.
16. Klimchuk A.B., Timohina E.I., Amelichev G.N., Dublyanskij YU.V., SHpyotl' K. Gipogennyj karst Predgornogo Kryma i ego geomorfologicheskaya rol'. Simferopol': DIAJPI, 2013. 204 s.
17. Klimchuk A.B. Gipogennyj speleogenez, ego gidrogeologicheskoe znachenie i rol' v ehvolyucii karsta. Simferopol': DIAJPI, 2013. 180 s.
18. Dvojchenko P.A. Mineraly Kryma // Zapiski Krymskogo OE. Simferopol', 1914. t.4. 208 s.
19. Klimchuk A.B., Timohina E.I., Amelichev G.H., Dublyanskij YU.V., SHtaubvasser M. Vozrast rel'efa Vnutrennej gryady Gornogo Kryma po U/Th datirovkam kal'citovyh otlozhenij karstovyh polostej // Doklady NAN Ukrainy. Kiev. 2012. №7. 88-96.
20. Amelichev G.N., Svetlov R.S., Timohina E.I., Naumenko V.G. Prosadka na ulice Lermontova v Simferopole [Elektronnyj resurs]. URL: <http://institute.speleoukraine.net/uisk-news/140-2012-05-13-07-20-30> (data obraschenija 19.08.2017).
21. Amelichev G.N., Zadorozhnyj V.S. Osobennosti formirovaniya karstovyh vod v mezhdurech'e Bol'shogo i Malogo Salgira (Simferopol', Respublika Krym) // Dni nauki KFU im. V.I. Vernadskogo Sbornik tezisov uchastnikov III nauchnoj konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, studentov i molodyh uchenyh. 2017. (v pechaty).
22. Amelichev G.N., Tokarev S.V., Vahrushev B.A. Himicheskaya denudaciya kak pokazatel' aktivizacii karsta v predelah urbanizirovannyh territorij Kryma (na primere vostochnoj chasti Simferopolya) // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2017. T. 3 (69). № 1. S. 177-191.
23. Dublyanskij YU.V., Klimchuk A.B., Amelichev G.N., Tokarev S.V., Shpyotl' K. Izotopnyj sostav atmosferyh osadkov i karstovyh istochnikov severo-zapadnogo sklona Krymskih gor // Speleologiya i karstologiya. 2012. №9. S. 14-21.

Поступила в редакцию 15.07.2017 г.