

РАЗДЕЛ 2.
ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ.
ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ.
ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.44

**ПОДЗЕМНЫЕ КАРСТОВЫЕ ВОДЫ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ
Р. АБДАЛКА (СИМФЕРОПОЛЬ, ПРЕДГОРНЫЙ КРЫМ)**

Амеличев Г.Н.

*Таврическая академия ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация
E-mail: iks0324@yandex.ru*

Статья посвящена изучению условий формирования подземного стока карстовых вод в верховьях бассейна р. Абдалка (Симферополь, Крым). Приводятся сведения о гидрогеологической и гидрохимической изученности участка. Впервые даны средние многолетние характеристики электропроводности, минерализации, температуры и расхода карстовых источников Верхний ключ и Белый ключ, которые обеспечивают постоянный сток р. Абдалка. Установлена высокая синхронизация реакции источников на события, происходящие в области питания зимой-весной и примерно месячная задержка в летне-осенний период. Для обоих источников выделяется два схожих внутригодовых периода с прямой и обратной зависимостью между расходом и температурой воды. Электропроводность и минерализация таких связей не выявляют. Следовательно, формирование электрохимических показателей происходит уже после разделения карстово-водоносной системы на самостоятельные питающие каналы каждого источника. Режимные наблюдения за источниками используются при мониторинге сейсмической активности региона.

Ключевые слова: подземный сток, карстовые воды, водный режим, источник, электропроводность, минерализация, температура, расход.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение механизмов функционирования карстово-водоносных систем в условиях естественных и нарушенных техногенезом обстановок является одной из основных задач, которую приходится решать при оценке экологического состояния карста, определении признаков его активизации, расчете карстовой опасности территории и ряде других теоретических и прикладных исследований, выявления сейсмической активности региона. Особенно актуально изучение условий формирования, движения, разгрузки карстовых вод и сопровождающего эти процессы спелеогенеза в обстановке урбанизированных территорий, где происходит или ожидается перепланировка естественных ландшафтов с целью их облагораживания, приспособления под хозяйственные и социальные нужды. Как откликнутся на эти грядущие изменения подземные воды и карстовые полости, по которым осуществляется естественный сток, станет понятно, если детально изучить поведение карстово-водоносных систем в условиях их ненарушенного природного функционирования. Это позволит обоснованно подходить к выявлению

экологических аномалий, связанных с вмешательством человека, и определять методы по стабилизации экологической обстановки.

Восточная окраина Симферополя – это участок Предгорного Крыма, включающий бассейн р. Абдалка, который активно осваивается за последнюю четверть века. Территории, сложенные карстующимися породами и содержащие динамические запасы подземных вод, всё чаще вовлекаются в хозяйственный оборот и через систему многочисленных индикаторов транслируют сигналы происходящих изменений. Автор самостоятельно и в составе разных научных коллективов с 2014 г. проводит наблюдения за группой гидрохимических и термических индикаторов, а также расходами поверхностных и подземных вод Симферополя. В качестве объектов данного исследования выбраны два крупных карстовых источника Верхний ключ и Белый ключ, которые долгое время до публикации 2017 г. [1] считались истоком р. Абдалка (рис. 1).

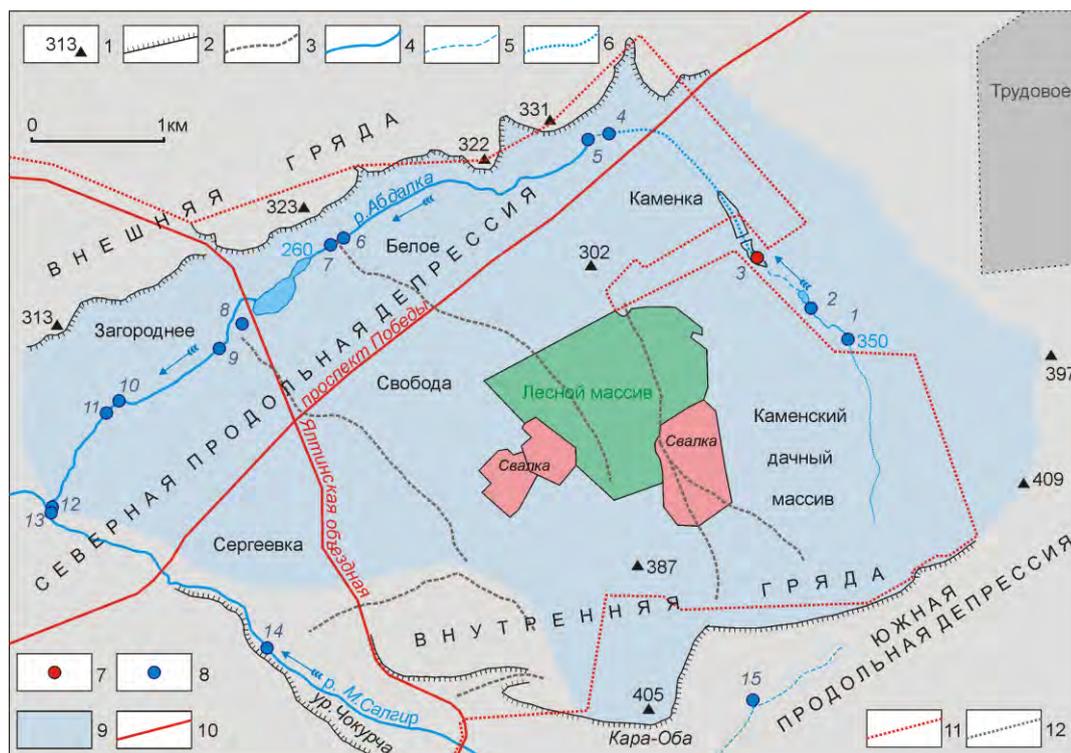


Рис. 1. Положение бассейна реки Абдалка и карстовых источников в пределах восточной окраины Симферополя

Орография: 1 – высоты и их абсолютные отметки (м), 2 – обрывы, 3 – балки; гидрография: 4 – постоянные водотоки, 5 – временные водотоки, 6 – подземное течение р. Абдалка, 7 – понор-поглотитель, 8 – источники (1 – Исток, 2 – Каптаж, 4 – Верхний ключ, 5 – Белый ключ, 6 – Белый-2, 7 – Белый-1, 8 – Сергеевский, 9 – Малый, 10 – Мостовой (Поворот), 11 – Ковчег, 12 – Титова-1, 13 – Титова-2, 14 – Чокурча, 15 – Кара-Оба); 9 – площадь речного бассейна, 10 – основные дороги города, 11 – городская черта, 12 – границы сел.

Цель данного сообщения – выявление условий формирования и режима карстовых вод источников с помощью показателей электропроводности, минерализации, температуры и расхода по данным многолетних наблюдений. Среди задач, решаемых в работе – выявление стокоформирующих факторов и их параметров, анализ режимных гидрогеологических ситуаций, выявление закономерностей сезонной изменчивости гидрохимических показателей и др. В ходе исследований применялся широкий спектр гидрогеологических, гидрологических, карстолого-спелеологических и математико-статистических методов. Для оперативного сбора гидрохимической информации использовались автономные кондуктометры ЕС-300 и Sanxin, которые фиксируют электрохимические показатели (электропроводность, соленость, минерализацию) и температуру воды. Расход определялся в пунктах с известной площадью водного сечения путем ее умножения на скорость потока, замеренную поплавковым способом. Сбор данных осуществлялся в ходе маршрутных наблюдений с периодичностью 1-3 раза в месяц в течение 2014-2018 гг.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ УЧАСТКА

Сведений о подземных водах на восточной окраине Симферополя в литературе мало. Основным источником информации о подземном стоке являются карстовые родники, которые сконцентрированы у русла р. Абдалка. Однако даже о них – главных для населения пунктах питьевых вод в эпоху, предшествовавшую централизованному водоснабжению, сведения отсутствуют. Опросы местных старожилов показали, что в 50-х гг. прошлого века в верхнем течении р. Абдалка был углублен и каптирован один из наиболее крупных родников, получивший впоследствии название Белый ключ. В связи с тем, что поверхностный сток по Каменской балке (б. Край воды) в это время уже не проходил стали считать родник Белый ключ истоком р. Абдалка [2]. В 80-х гг. прошлого века мониторинговые наблюдения за подземными водами Симферополя осуществлял Институт «КрымГИИНТИЗ» [3]. Из 47 пробуренных наблюдательных скважин 9 располагались в бассейне р. Абдалка. Отмечалось, что в эоценовых известняках симферопольского яруса глубина залегания подземных вод варьирует в пределах 5-13,5 м, а годовая амплитуда колебания уровней изменяется от 0,3 до 1,8 м. Указывается на необходимость учета при водобалансовых исследованиях грунтовой конденсации и антропогенных утечек из водонесущих систем.

Активные эколого-гидрологические исследования подземных вод восточной части Симферополя развернулись в 2000-х гг. в связи с проблемой Симферопольского полигона твердых бытовых отходов [4]. Было установлено, что воды, тяготеющие к Каменской балке, находятся в экологически благополучном состоянии. Подземный сток, формирующийся в недрах балки, проходящей под полигоном ТБО, пополняет эоценовый водоносный горизонт и фиксируется в скважинах микрорайона между Свободой и Каменкой за пределами токсичностью (рис. 2).

Источники Верхний и Белый ключ, выходящие в русле р. Абдалка между окончанием Каменской балки и микрорайоном Белое, хоть и упоминаются в литературе, но нигде не охарактеризованы. Их воды активно используются населением Каменского дачного массива, в том числе и как питьевые. Они поддерживают постоянство стока р. Абдалка и играют важную экологическую роль в долине. Поэтому характеристика условий формирования, залегания и движения их вод выступает основой выявления и анализа водного режима, определения экологических параметров и качества воды.

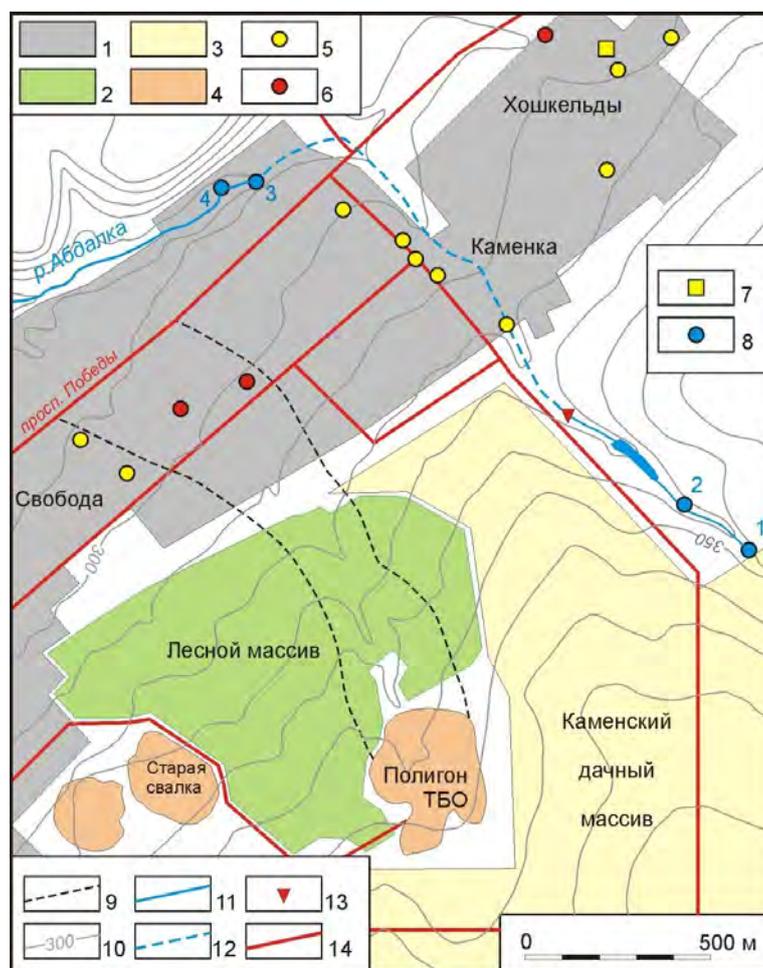


Рис. 2. Схема размещения Симферопольского полигона ТБО и пунктов наблюдения за подземными водами [4], с изменениями и дополнениями

Территории: 1 – промышленной и селитебной застройки, 2 – лесного массива, 3 – Каменского дачного массива. 4 - Симферопольского полигона ТБО. Водопункты: 5 – скважины с водами умеренной и низкой токсичности, 6 – скважины с

**ПОДЗЕМНЫЕ КАРСТОВЫЕ ВОДЫ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ
Р. АБДАЛКА (СИМФЕРОПОЛЬ, ПРЕДГОРНЫЙ КРЫМ) ОБСТАНОВКИ...**

высокотоксичными водами, 7 – колодцы, 8 – основные карстовые источники (1 – Исток, 2 – Каптаж, 3 – Верхний ключ, 4 – Белый ключ); 9 – зона загрязнения подземных вод тяжелыми металлами полигона ТБО; 10 – горизонталы, м; 11 – поверхностный сток р. Абдалка; 12 – подземное течение р. Абдалка; 13 – понор Раков; 14 – основные автодороги.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА

Для понимания условий формирования стока большое значение имеют географические факторы (геология, рельеф, климат, почвенно-растительный покров, техногенное влияние). Район, в пределах которого происходит аккумуляция подземного стока, располагается на структурном склоне Свободской куэсты (участок Внутренней гряды Предгорного Крыма в Симферополе). Рельеф здесь развивается в нуммулитовых известняках симферопольского яруса среднего эоцена, которые бронируют поверхность моноклинали. Детальными исследованиями условий залегания пород на участке установлено, что пласты известняков падают к северо-западу под углом 2-3°. Поверхность рельефа падает в этом же направлении, но имеет в среднем уклон 1,8°. Это приводит к тому, что в приречной части куэсты мощность известняков за счет денудационного среза уменьшена до 30-35 м, а в днище Северной продольной депрессии их кровля находится под перекрывающей толщей верхнего эоцена (рис.3). Мощность известняков здесь достигает 40-50 м.

В основании известняков симферопольского яруса залегают мергели и глины бахчисарайского яруса нижнего эоцена. Их мощность составляет несколько метров. Через несогласный контакт они подстилаются глинами и алевролитами альбского яруса нижнего мела. Представляющая альб мамакская толща здесь имеет пониженную (до 10 м) мощность. Местами глины выходят на поверхность на аструктурном склоне Свободской куэсты, обращенном к с. Строгоновка. Их водоупорные свойства приводят к появлению здесь ряда небольших источников (например, Кара-Оба), воды которых стекают к р. М. Салгир. В нижней части аструктурного склона куэсты и в днище Южной продольной депрессии обнажаются конгломераты и песчаники битакской свиты. Они составляют основание геологического разреза.

Благодаря хорошим коллекторским свойствам нуммулитовых известняков и водоупорной роли глин бахчисарайского и альбского ярусов на участке представлен среднеэоценовый водоносный горизонт. Его питание осуществляется со всей поверхности моноклиналичного склона за счет атмосферных осадков и антропогенной деятельности (полив, утечки). Разгрузка карстовых вод на исследованном участке в верховьях р. Абдалка происходит в двух местах - в Каменской балке, где располагается исток реки (родники Исток и Каптаж), и в Северной продольной депрессии, где подземная Абдалка выходит на поверхность в виде источников Верхний и Белый ключ. В первом случае разгрузка связана с вскрытием балкой реликтовой зоны закарстованности, по которой осуществляется

слабый дренаж из водоносного горизонта [5]. Во втором случае разгрузка связана с эрозионным вскрытием верхнеэоценовой покрывки из мергелей и кровли среднеэоценовых известняков, включающих одноименный водоносный горизонт. Поскольку на этом участке подземные воды начинают приобретать напор, источник Белый ключ имеет восходящий характер, способствует усиленной подпитке четвертичного аллювиального горизонта. Согласно теоретическим представлениям [6] такой тип разгрузки называется наземным, а подтип – долинным. По характеру выходов воды на участке выделяются нисходящие (Верхний ключ, Исток, Каптаж) и восходящие (Белый ключ) источники.

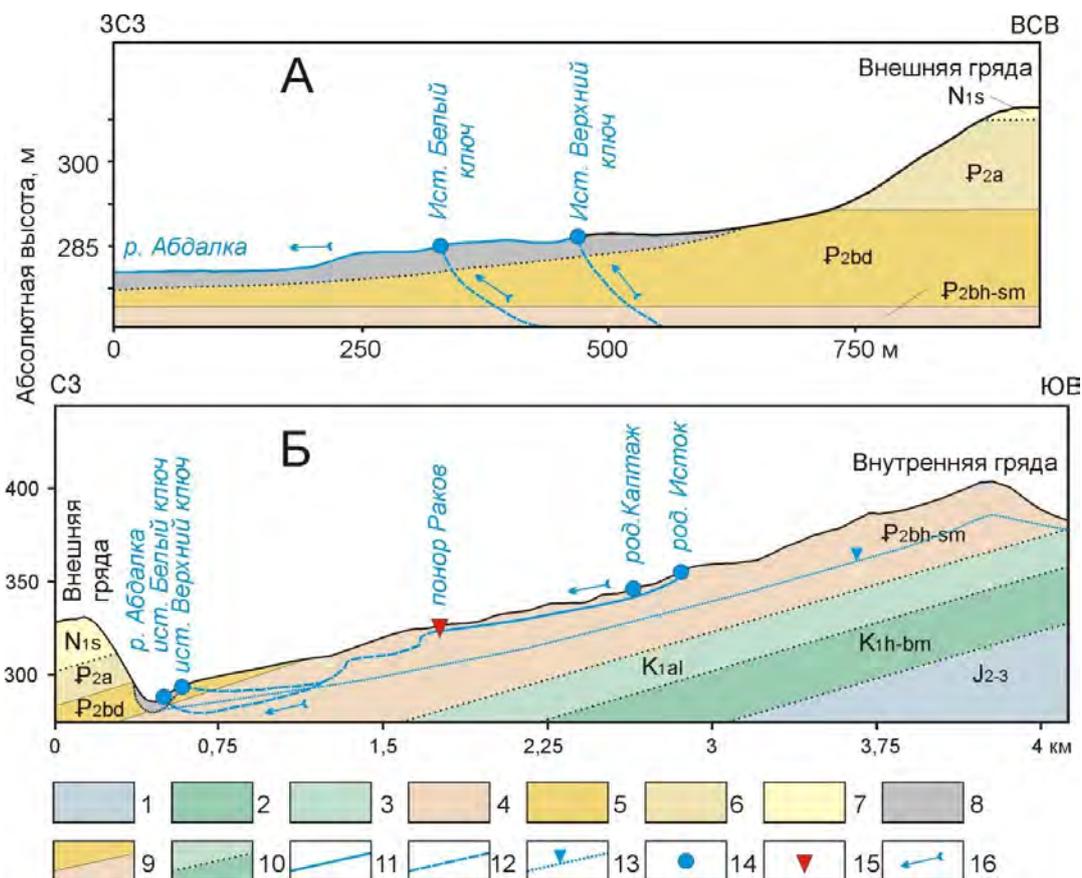


Рис.3. Субсеквентный (А) и консеквентный (Б) фрагменты гидрогеологических профилей долины р. Абдалка в области разгрузки источников Верхний ключ и Белый ключ.

Горные породы: 1 – битакская свита конгломератов, песчаников и гравелитов средней-верхней юры; 2 – готерив-барремская толща известняков, глин, конгломератов нижнего мела; 3 – альбские глины, аргиллиты, песчаники нижнего мела; 4 – бахчисарайско-симферопольская толща известняков, мергелей, глин

ПОДЗЕМНЫЕ КАРСТОВЫЕ ВОДЫ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ
Р. АБДАЛКА (СИМФЕРОПОЛЬ, ПРЕДГОРНЫЙ КРЫМ) ОБСТАНОВКИ...

нижнего и среднего эоцена; 5 – бодракские отложения мергелей и глин верхнего эоцена; 6 – альминские отложения глин и мергелей верхнего эоцена; 7 – сарматские известняки, песчаники, конгломераты верхнего миоцена; 8 – четвертичный аллювий. Контакты пород: 9 – согласные, 10 – несогласные. Водотоки: 11 – поверхностные, 12 – подземные; 13 – уровень среднеэоценового водоносного горизонта; 14 – карстовые источники; 15 – поглотитель карстовых вод; 16 – направление стока.

Базовыми элементами в формировании режима карстовых вод на участке являются количество осадков и испарение. По данным В.И. Важова [7] многолетняя норма осадков в Симферополе составляет 501 мм, а относительной влажности - 59% [8]. Архивы местных метеостанций за период наблюдений 2014-2017 гг. [9] демонстрируют тенденцию увеличения средних показателей, связанных с увлажненностью (осадки 539 мм, относительная влажность 73%), и снижения температуры воздуха (как главного фактора, влияющего на испарение). Тем не менее, межсезонный режим этих метеозлементов остается постоянным (рис. 4). Снежный покров на участке бывает ежегодно, но отличается маломощностью и крайней неустойчивостью. В питании карстовых вод он играет минимальную роль. Большое значение для водного баланса имеет испарение. Его годовая величина определяется как разность между суммой годовых осадков и средним многолетним стоком. Для Симферополя по данным И.П. Веда [10] испарение составляет 450 мм. Расчеты, выполненные по данным мониторинга последних лет и с учетом только нормы поверхностного стока, дают 404 мм.

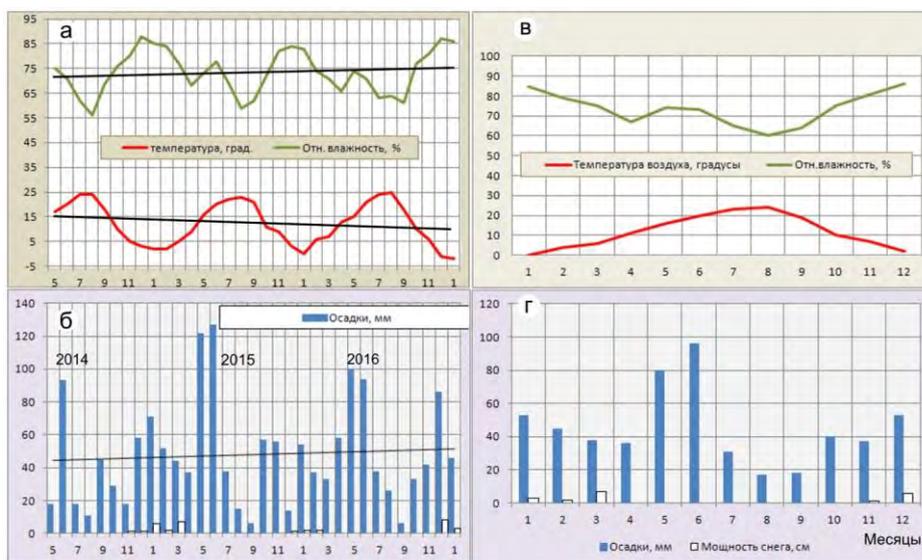


Рис. 4. Распределения температуры и относительной влажности воздуха (а), осадков и снегового покрова (б) в течение мая 2014 – января 2017 гг. и те же параметры (в, г) внутри генерализованного года.

Почвенно-растительный покров в бассейне реки Абдалка испытал существенную техногенную трансформацию. В естественных условиях здесь были представлены средней и малой мощности дерново-карбонатные щебенчатые почвы, развивающиеся на известняках эоцена. На них произрастали петрофитные степи. В настоящее время площадь таких ландшафтов сократилась до 25%. Вовлечение эродированных почв и петрофитных степей в хозяйственное освоение (дачные массивы), усиление водности за счет искусственных поливов, привело к росту водообильности карстовых источников в верховьях реки. Однако в среднем течении и в низовьях количество подземных вод и их качество в связи с замусориванием и техногенным вмешательством существенно снизились.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПУНКТОВ РАЗГРУЗКИ КАРСТОВЫХ ВОД

В ходе длительного направленного взаимодействия карстующихся пород и подземных вод формируются карстово-водоносные системы, в составе которых выделяются области питания, транзита и разгрузки [11]. В полной мере это относится и к верховьям р. Абдалка. Здесь в пределах верхней части структурного склона куэсты происходит поступление рассеянного поверхностного стока в виде осадков, талых и поливных вод, которые вследствие высокой проницаемости известняков относительно быстро проникают в приповерхностную эпикарстовую зону и, насытив ее, движутся в недра, восполняя запасы среднеэоценового водоносного горизонта. Высокая агрессивность поступающих вод способствует развитию карстового процесса, но их ограниченное количество и кратковременное появление сдерживают формирование выразительных карстовых форм.

В области транзита осуществляется преимущественно латеральное движение подземных вод по водоносному горизонту к области разгрузки. Доля питающих вод с поверхности здесь существенно сокращается вследствие увеличения мощности почвенного горизонта, развития урбанизированных территорий, затрудняющих перевод поверхностного стока в подземный.

Область питания характеризуется выходом на поверхность части подземного стока в виде родников и реки. Поскольку все области гидравлически связаны можно при отсутствии гидрогеологических характеристик в областях питания и транзита судить о них по водному, термическому и химическому режиму родников в области разгрузки. Для этого рассмотрим условия заложения и динамику гидрологических показателей двух источников Верхний ключ и Белый ключ. Характеристики еще двух расположенных на участке родников Исток и Каптаж приведены ранее в работе [5].

Источник Верхний ключ располагается на восточной окраине Симферополя в днище Северной продольной депрессии. Здесь под горой Медведь (331 м), что находится на Внешней гряде, карстовые воды, поглощенные в поноре Раков Каменской балки в 1,5 км к юго-востоку, пройдя под землей, вновь появляются на поверхности на абсолютной отметке 286 м. В период существования искусственных водоемов в Каменской балке этот источник был постоянно действующим. После

**ПОДЗЕМНЫЕ КАРСТОВЫЕ ВОДЫ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ
Р. АБДАЛКА (СИМФЕРОПОЛЬ, ПРЕДГОРНЫЙ КРЫМ) ОБСТАНОВКИ...**

исчезновения ставок он стал пересыхать в летнее время, именно тогда, когда прекращается сток в понор Раков. В таблице 1 приведены средние значения и изменчивость электропроводности, минерализации, температуры и расхода источника, рассчитанные с 2014 г. с учетом только тех периодов, когда имелся сток.

Таблица 1

Статистические характеристики показателей гидрохимии, температуры и расхода карстовых вод источников Верхний и Белый ключ за 2014-2018 гг.

Источник	Электропроводность, мСм/см		Минерализация, г/л		Температура, °С		Расход, л/с	
	средняя	C_v	средняя	C_v	средняя	C_v	средний	C_v
Верхний ключ	1,137	0,02	0,739	0,03	12,5	0,08	2,9	0,83
Белый ключ	1,275	0,18	0,827	0,18	12,4	0,01	26,6	0,48

C_v – коэффициент вариации

Каптаж источника представляет собой бетонную плиту со ступенями, ведущими к воде (рис. 5, а). Он был благоустроен в 60-70-х гг. крымской милицией по соседству со стрельбищем. Позже рядом была построена водокачка, ведущая отбор воды в многоэтажные дома микрорайона Каменка.



Рис.5. Карстовые источники Верхний ключ (а) и Белый ключ (б)

Источник Белый ключ располагается в 150 м к западу от источника Верхний ключ на отметке 284 м (рис. 5, б). Из этого источника собственно и начинается постоянный сток р. Абдалка (Белая). Это крупный очаг разгрузки воклюзского (напорного) типа. Выход подземных вод здесь настолько активный, что на дне

наблюдается перемешивание песка. Средний расход воды более 26 л/с, минерализация 0,827 г/л, температура 12,4 °С.

В 70-х гг. каптаж этого источника представлял собой круглый бассейн диаметром около 4 м и глубиной более 2 м, выложенный диким камнем и огороженный на высоту более 1 м пильным ракушечником. Со временем ограда разрушилась, и бассейн заилился, поэтому основной грифон изливающейся воды сместился за пределы бассейна, размыв его стенку. Периодически местными жителями бассейн очищается от мусора. Здесь осуществляется забор питьевой и технической воды для населения Каменского массива.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выявления условий формирования подземного стока и установления связанных с ним закономерностей для обоих источников были построены графики распределения электрохимических (электропроводность, минерализация) показателей, температуры и расхода воды, построенные по фактическим данным наблюдений за 2014-2018 гг. (рис. 6).

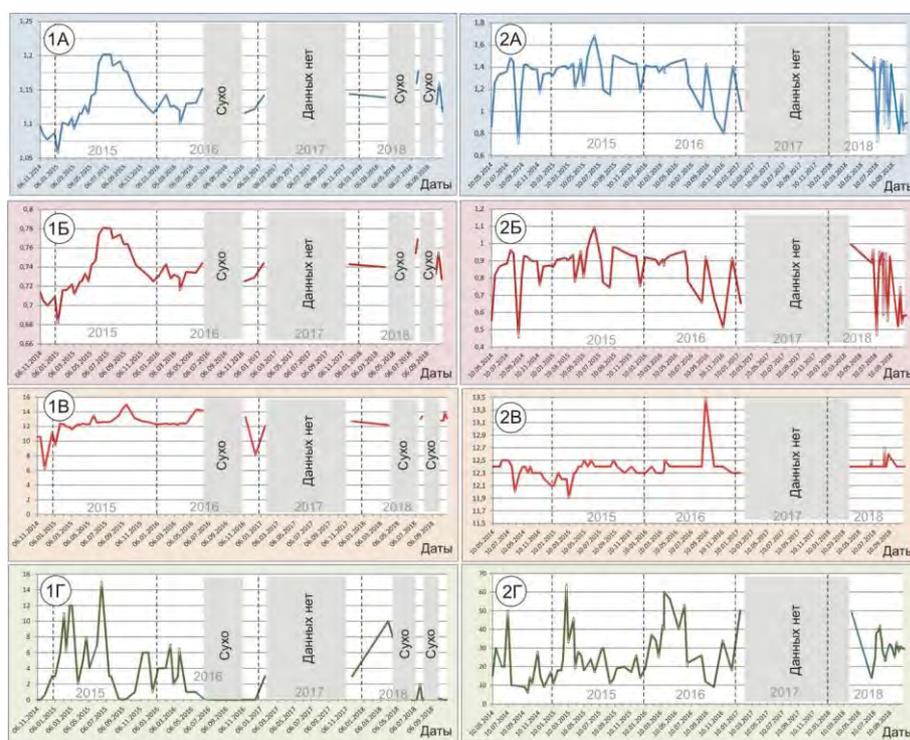


Рис. 6. Ход электропроводности (А, мСм/см), минерализации (Б, г/л), температуры (В, °С) и расхода (Г, л/с) воды родников Верхний ключ (1) и Белый ключ (2) в 2014-2018 гг.

ПОДЗЕМНЫЕ КАРСТОВЫЕ ВОДЫ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ
 Р. АБДАЛКА (СИМФЕРОПОЛЬ, ПРЕДГОРНЫЙ КРЫМ) ОБСТАНОВКИ...

В ходе анализа графиков не было выявлено ярко выраженных закономерностей (кроме расходов, где фиксируется межгодовая цикличность). Поэтому, учитывая неравномерный временной шаг проведенных замеров и период отсутствия части наблюдений в 2017 г., все многолетние данные были усреднены по месяцам и представлены в виде генерализованного года (рис. 7).

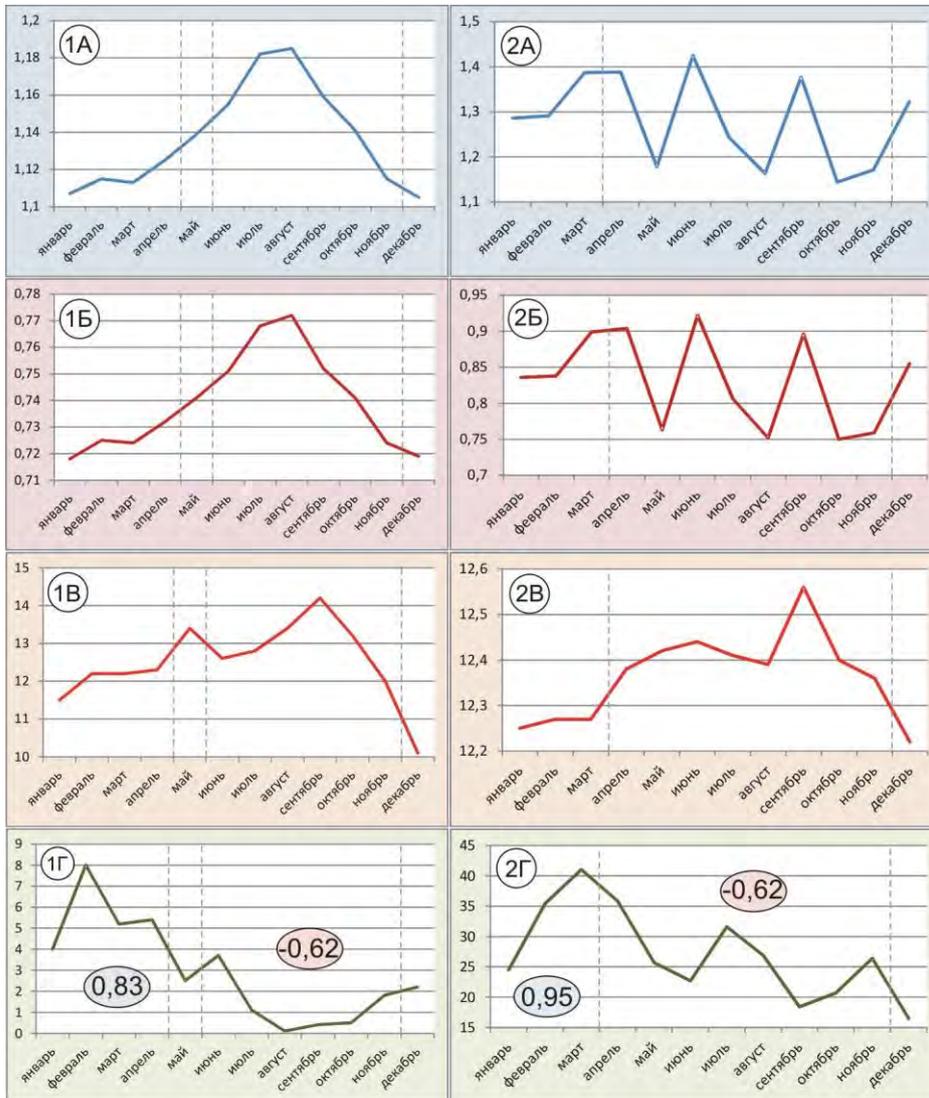


Рис. 7. Генерализованное внутригодовое распределение электропроводности (А, мСм/см), минерализации (Б, г/л), температуры (В, °С) и расхода (Г, л/с) воды родников Верхний ключ (1) и Белый ключ (2)

Генерализированные за 5-летие графики внутригодового хода электропроводности и минерализации источника Верхний ключ (рис. 7, 1А, 1Б) демонстрируют понятную из-за их взаиморасчетности синхронную динамику. Абсолютные максимальные показатели приходятся на август, минимальные – на январь-декабрь. Внутригодовая амплитуда электропроводности составляет 0,08 мСм/см, минерализации – 0,054 г/л. Отмеченные максимумы совпадают с межнным периодом источника (1Г), когда он зачастую даже пересыхает. Понятно, что малые количества воды в нем в это время активно прогреваются, и, в соответствии с известным отставанием водных термических экстремумов от воздушных, достигают абсолютного годового максимума только в сентябре (1В). Еще один малый (майский) максимум температур синхронно связан с малым минимумом расхода. Наличие последнего вероятно объясняется сработкой зимне-весенних запасов карстовых вод в питающем канале Верхнего ключа. Майские дожди, которые знаменуют начало летнего максимума осадков, полностью уходят на пополнение дефицита воды в эпикарстовой зоне и отражаются увеличением расхода источника только в июне. Влияние на электропроводность и минерализацию второстепенный экстремум не оказывает.

Обращает на себя внимание особенность взаимосвязи расхода и температуры источника. В целом между ними низкая (коэффициент корреляции $r = -0,39$) годовая зависимость. Однако если разбить год на три периода – декабрь-апрель, май, июнь-ноябрь, то взаимосвязь между показателями в первом и последнем временных отрезках приобретает значимые величины (0,83; -0,62), но противоположный характер зависимости. Переход от прямой связи параметров к обратной происходит в мае, т.е. в период, когда карстово-водоносная система, питающая источник, начинает пополняться первыми осадками летнего максимума. С чем связана такая особенность, пока остается загадкой. Обусловленное сложными связями с расходом температурное распределение в значительной степени (0,71; 0,70) контролирует характер электропроводности и минерализации.

Характер графиков внутригодового распределения электрохимических параметров источника Белый ключ свидетельствует о существенных различиях в условиях их формирования по сравнению с источником Верхний ключ, несмотря на то, что они оба выходят на поверхность практически в одном гидрогеологическом узле и одной геоморфологической аномалии [1]. На графиках (рис. 7, 2А, 2Б) фиксируются три синхронных и сходных по величине максимума электропроводности и минерализации, приходящихся на март-апрель, июнь и сентябрь. Между ними три аналогичных минимума (май, август, октябрь). Годовая амплитуда электропроводности составляет 0,281 мСм/см, минерализации – 0,172 г/л. Это примерно в 3 раза выше, чем размах значений в Верхнем ключе. Формирование весеннего максимума электрохимических показателей в источнике Белый ключ происходит на фоне роста температуры и расхода воды (2В, 2Г). Если весенний рост температур понятен, то увеличение расходов на фоне снижающегося количества осадков можно объяснить только запаздыванием отклика подземного стока на малый зимний максимум осадков и наложением снеготаяния. Июньский и сентябрьский максимумы электропроводности и минерализации синхронны

минимальным расходом Белого ключа и соответствующим им максимумам температур воды.

Минимальные значения электрохимических показателей источника Белый ключ труднообъяснимы. Если в случае с источником Верхний ключ у этих показателей наблюдается тесная корреляция с температурой, то у Белого ключа зависимость от температуры и расхода отсутствует. Майский минимум фиксируется на фоне растущих температур и снижающихся расходов и совпадает с началом летнего максимума осадков. Это может указывать на наличие близкой приповерхностной области питания, быстро реагирующей на приход первых порций низко минерализованных осадков в составе карстовых вод. Второй минимум в августе синхронен с минимумом температуры и приходится на спад расхода источника в период годового минимума осадков. В это же время максимальных масштабов достигают процессы конденсации влаги. Вероятно, они и обеспечивают глубокое снижение электрохимических показателей. Октябрьский минимум по условиям образования сходен с майским. Это отклик на осеннее увеличение осадков.

Как и у источника Верхний ключ, у Белого ключа наблюдается низкий коэффициент корреляции ($r = -0,28$) между расходом воды и ее температурой. Если применить использованный ранее прием разбиения года на интервалы с высокой теснотой связи между показателями, получим два периода – декабрь-март (0,95) и апрель-ноябрь (-0,62), очень схожие и по времени и по характеру связей с Верхним ключом. Еще одним доказательством единства термического и расходомерического режимов обоих источников являются их тесные корреляционные связи между температурами (0,86) и дебитами (0,64).

Приведенные материалы свидетельствуют об общем питании источников из единой карстово-водоносной системы. Разница в их годовом распределении электропроводности и минерализации указывает, что эти параметры формируются уже после разделения карстово-водоносной системы на самостоятельные питающие каналы каждого источника. Растянутый одномодальный характер электрохимических показателей источника Верхний ключ говорит его более спокойной динамике, о приближении к типу грунтовых источников. Годовая амплитуда температур более 4°C указывает на ограниченность проходящих водных потоков (следствие ограниченности подводящих каналов), что приводит к их более активному нагреванию и остыванию в летнее и зимнее время. Летние пересыхания и выбросы грязи в начале работы после межени – свидетельства постепенного заиливания его сифонных каналов, усиления обезвоживания и дальнейшей переориентации стока в сторону источника Белый ключ. Последний ведет себя совершенно иначе. Он не пересыхает ни при каких ситуациях. Рисунок его гидрографа имеет ярко выраженный пилообразный характер, что свойственно типичным карстовым источникам. При анализе конкретных синоптических и гидрологических ситуаций в бассейне р. Абдалка установлено, что Белый ключ слабо, с замедлением реагирует на паводки. Это говорит о значительных внутренних емкостях системы, питающей источник.

Его температурная кривая имеет низкую (0,01) вариативность, что свидетельствует о стабильных условиях термической гомогенизации вод, обеспечиваемой слабым влиянием поверхностного прогрева (охлаждения), активным турбулентным перемешиванием подземных потоков (во всяком случае, в зоне напорной разгрузки), малой изменчивостью теплоемкостных и теплопроводящих свойств водовмещающих горизонтов. Такие свойства характерны для вод карстовых каналов-полостей, заложенных глубоко в пределах водоносного горизонта и связанных с обширными водосборными площадями и крупными объемами подземных резервуаров.

Полученные результаты носят предварительный характер и должны быть верифицированы с помощью других приемов и методов, в частности с использованием метода стабильных изотопов кислорода и водорода воды.

ВЫВОДЫ

В ходе выполненных исследований установлено, что ключевую роль в формировании карстовых вод, питающих источники Верхний ключ и Белый ключ, играют осадки, инфлюационный сток р. Абдалка у понора Раков и антропогенные подземные воды, формирующиеся на садовых и селитебных массивах в результате полива и утечек. Эти воды в области разгрузки перераспределяются между источниками неравномерно. Большая часть подземного стока выходит в источнике Белый ключ, обеспечивая его постоянство, высокий дебит, стабильную температуру. Источник Верхний ключ отличается частым летним пересыханием, относительно контрастными по сезонам температурами.

Наблюдается относительно высокая синхронизация реакции вод источников на события (осадки, появление и исчезновение инфлюационного стока и т.п.), происходящие в области питания зимой-весной (система высокого заполнения) и примерно месячная задержка в летне-осенний период (система низкого заполнения). В последнем случае, учитывая расстояние между понором Раков и источником Верхний ключ, можно рассчитать среднюю скорость движения карстовых вод, которая составит (1,5 км/30 суток) 50 м/сут.

Анализ совмещенных графиков распределения температурных и расходометрических характеристик родниковых вод внутри генерализованного за весь период наблюдений года показал, что между режимами расходов и температур обоих источников имеется достоверная статистическая связь. В каждом из источников при изучении взаимосвязи расход-температура внутри года выделяется два периода с прямой и обратной зависимостью рассматриваемых параметров. Это свидетельствует о том, что питание источников осуществляется из единой карстово-водоносной системы.

Электропроводность и минерализация источников не обнаруживают значимой связи. Внутригодовые вариации их значений в случае с Верхним ключом можно объяснить контролирующим влиянием температуры, а в случае с Белым ключом – объяснению почти не поддаются. Здесь для понимания причин некоррелирующейся вариабельности необходимы дополнительные исследования с привлечением

**ПОДЗЕМНЫЕ КАРСТОВЫЕ ВОДЫ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ
Р. АБДАЛКА (СИМФЕРОПОЛЬ, ПРЕДГОРНЫЙ КРЫМ) ОБСТАНОВКИ...**

методов стабильных изотопов воды. Тем не менее, можно констатировать, что формирование электрохимических показателей происходит уже после разделения карстово-водоносной системы на самостоятельные питающие каналы каждого источника. Нарушение выявленных закономерностей, обусловленных потоком глубинных флюидов, можно рассматривать как предвестники сейсмических событий

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и Совета Министров РК в рамках проектов 18-45-910007 p_ф и 16-05-00996 А.

Список литературы

1. Амеличев Г. Н., Олиферов А. Н., Новикова Ф. Н. Гидрологические особенности реки Абдалка (Симферополь) в области питания артезианского бассейна Равнинного Крыма // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 3 (69). №1. 2017. С. 161–176.
2. Тимченко З.В. Реки Симферополя // Устойчивый Крым. Симферополь – южная столица. Киев-Симферополь: Сонат, 2001. С.264-275.
3. Кальфа Т.Ф. Экологическое состояние подземных вод Симферополя // Уч. Записки ТНУ. - Серия: география. 2007. Т.20(59). №2. С.188-193.
4. Аблаева Л.А., Ботян З.Ф. Симферопольский полигон твердых бытовых отходов: проблемы и решения // Устойчивый Крым. Симферополь – южная столица. Киев-Симферополь: Сонат, 2001. С.54-60.
5. Амеличев Г.Н., Галкина М.В. Карст и подземные воды в истоке р. Абдалка (Симферополь, Крым) // Сб. тезисов участников IV научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского», Т.2. Таврическая академия. Симферополь, 2018. С.275-276.
6. Дублянский В.Н., Кикнадзе З.К. Гидрогеология карста Альпийской складчатой области СССР. М.: Наука, 1984. 128 с.
7. Вазов В.И. Целебный климат. Симферополь: Таврия, 1979. 80 с.
8. Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма / Под ред. К.Т. Логвинова, М.Б. Барабаш. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 317 с.
9. База данных о состоянии метеоэлементов Симферополя [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://tr5.ua/Архив_погоды_в_Симферополе.
10. Ведь И.П. Климатический атлас Крыма. Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. 120 с.
11. Дублянский В.Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. Л.: Наука, 1977. 180 с.

**KARST GROUNDWATER IN THE UPPER REACH OF ABDALKA
RIVER (SIMFEROPOL, THE CRIMEAN PIEDMONT)**

Amelichev G.N.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Educational Methodical Research
Center «Institute of Speleology and Karstology», Simferopol, Russian Federation
E-mail: lks0324@yandex.ru*

The paper is devoted to study the condition of karst waters flow in the upper reaches of the river Abdalka basin (Simferopol, Crimea). In the course of the studies performed, it was established that the key role in the formation of karst waters feeding the Verhny Kluch and Bely Kluch springs have precipitation, swallowing flow of the Abdalka river in

Rakov ponor and anthropogenic groundwater formed on the garden and residential areas as a result of irrigation and leaks. These waters are distributed unevenly among the springs in the discharge area. Predominant portion of groundwater flow discharged through Bely Kluch spring providing its permanence, high flow rate and stable temperature. Verhny Kluch spring demonstrates frequent summer drying and relatively contrast in seasons temperatures.

There is a relatively high synchronization of the response of springs waters to events (precipitation, the appearance and disappearance of the swallowing flow, etc.) occurring in the recharge area in winter-spring (high filling system) and approximately a month delay in summer-autumn period (low filling system). Taking into account the distance between the Rakov ponor and the Verhny Kluch springs, in the latter case it is possible to calculate the average velocity of karst waters movement (1.5 km / 30 days) 50 m / day.

An analysis of the combined graphs of the distribution of temperature and flow characteristics of the spring waters within the year generalized for the entire observation period showed that there is a reliable statistical relationship between the flow rates and water temperatures in both springs. In each of the springs, when studying the relationship of flow-temperature within a year, two periods are distinguished with a direct and inverse dependence of the considered parameters. This indicates that the springs are recharged from a same karst groundwater system.

The electrical conductivity and mineralization of the springs show no significant correlation. Intra-annual variations of their values in the case of the Verhny Kluch can be explained by controlling influence of temperature, but in the case of the Bely Kluch, it is almost impossible to explain them. To understand the causes of uncorrelated variability, additional studies are needed involving stable water isotopes method. Nevertheless, it can be stated that the formation of electrochemical parameters of waters occurs after the karst groundwater system is divided into independent channels recharging each springs.

Keywords: underground runoff, karst water, water regime, source, electrical conductivity, mineralization, temperature, flow rate.

References

1. Amelichev G. N., Oliferov A. N., Novikova F. N. *Gidrologicheskie osobennosti reki Abdalka (Simferopol') v oblasti pitaniya artezijskogo bassejna Ravninnogo Kryma // Uchyonye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. Tom 3 (69). №1. 2017. S.161–176.*
2. Timchenko Z. V. *Reki Simferopolya // Ustojchivyy Krym. Simferopol' – yuzhnaya stolica. Kiev-Simferopol': Sonat, 2001. S.264-275.*
3. Kal'fa T. F. *Ehkologicheskoe sostoyanie podzemnyh vod Simferopolya // Uch. Zapiski TNU. Seriya: geografiya. 2007. T.20(59). №2. S.188-193.*
4. Ablaeva L. A., Botyan Z. F. *Simferopol'skij poligon tverdyh bytovyh othodov: problemy i resheniya // Ustojchivyy Krym. Simferopol' – yuzhnaya stolica. Kiev-Simferopol': Sonat, 2001. S.54-60.*
5. Amelichev G. N., Galkina M. V. *Karst i podzemnye vody v istoke r. Abdalka (Simferopol', Krym) // Sb. tezisov uchastnikov IV nauchno-prakticheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, studentov i molodyh uchenyh «Dni nauki KFU im. V.I. Vernadskogo», T.2. Tavricheskaya akademiya. Simferopol', 2018. S.275-276.*

ПОДЗЕМНЫЕ КАРСТОВЫЕ ВОДЫ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ
Р. АБДАЛКА (СИМФЕРОПОЛЬ, ПРЕДГОРНЫЙ КРЫМ) ОБСТАНОВКИ...

6. Dublyanskij V. N., Kiknadze Z. K. *Gidrogeologiya karsta Al'pijskoj skladchatoj oblasti SSSR*. M.: Nauka, 1984. 128 s.
7. Vazhov V. I. *Celebnyj klimat. Simferopol': Tavriya*, 1979. 80 s.
8. *Klimat i opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya Kryma* / Pod red. K. T. Logvinova, M.B. Barabash. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 317 s.
9. *Baza dannyh o sostoyanii meteochlementov Simferopolya* [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://rp5.ua/Arhiv_pogody_v_Simferopole.
10. Ved' I. P. *Klimaticheskij atlas Kryma. Simferopol': Tavriya-Plyus*, 2000. 120 s.
11. Dublyanskij V. N. *Karstovye peshchery i shahty Gornogo Kryma*. L.: Nauka, 1977. 180 s.