

А. В. Черных^{1,2}*

Особенности геохимии современных очагов разгрузки подземных вод юго-западной части Крымского полуострова

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация
* e-mail: ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В работе рассмотрены основные черты геохимии современных очагов разгрузки подземных вод юго-западной части Крымского полуострова. Изучаемые воды разделены на три группы по гипсометрическому уровню: родники низменных равнин; родники на возвышенностях и родники на склонах низких гор. В составе доминируют HCO_3^- и Ca^{2+} , величина общей минерализации варьирует от 214 до 1644 мг/дм³, представлены классы вод от нейтральных (рН 7,11) до слабощелочных (рН 8,2). Выявлены характеристики гидрогеохимического фона в распределении широкого спектра микрокомпонентов (от Li до U). Природный фон имеет схожие черты в распределении изученных групп объектов – концентрации убывают от Si до Ir, In и Be соответственно, наибольшие концентрации имеют Si, Sr, Fe, Br, Ba, B, I, P, Li, Cr, и Al. В составе родниковых вод, разгружающихся на возвышенностях, содержания Ga и Pb превышают значения фона в остальных водах. Среди вод родников склонов низких гор установлены максимальные фоновые значения Sr и Hg.

Ключевые слова: подземные воды, очаги разгрузки, гидрогеохимия, макро- и микрокомпоненты, гидрогеохимический фон, Крымский полуостров

А. V. Chernykh^{1,2}*

Features of the geochemistry of modern sources of groundwater discharge in the southwestern part of the Crimean Peninsula

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

² Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation
* e-mail: ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Abstract. The paper examines the main features of the geochemistry of modern sources of groundwater discharge in the southwestern part of the Crimean Peninsula. The studied waters are divided into three groups according to hypsometric level: springs of low-lying plains; springs on highlands and springs on the slopes of low mountains. The composition is dominated by HCO_3^- and Ca^{2+} , the value of total mineralization varies from 214 to 1644 mg/dm³, water classes range from neutral (pH 7.11) to slightly alkaline (pH 8.2). The characteristics of the hydrogeochemical background in the distribution of a wide range of microcomponents (from Li to U) were revealed. The natural background has similar features in the distribution of the studied groups of objects - concentrations decrease from Si to Ir, In and Be, respectively, the highest concentrations are Si, Sr, Fe, Br, Ba, B, I, P, Li, Cr, and Al. In the composition of spring waters discharged at higher elevations, the contents of Ga and Pb exceed the background values in other waters. Among the waters of springs on the slopes of low mountains, the maximum background values of Sr and Hg were established.

Keywords: groundwater, discharge, hydrogeochemistry, macro- and microcomponents, hydrogeochemical background, Crimean Peninsula

Введение

Изучение состава подземных вод современных областей разгрузки представляет огромную важность при их оценке качества для целей питьевого водоснабжения населения. Согласно UNESCO в мире дефицит ресурсов пресных подземных вод для целей питьевого водоснабжения отмечается на всех континентах, особенно остро этот вопрос стоит для стран Африки, Азии и Латинской Америки [1-7]. Основными источниками воды для хозяйственно бытовых нужд населения Крымского полуострова являются артезианские скважины, водохранилища естественного стока и наливные водохранилища Северо-Крымского канала. В следствие засухи в 10-20х годов этого века, а также взрыва дамбы на Каховском водохранилище в Херсонской области и его обмелении, Крым вновь становится вододефицитным регионом. В случае наступления засушливых маловодных лет в городе Севастополе может сложиться тяжелая ситуация с водоснабжением, как это уже было в истории города в конце 1980-х и начале 1990-х годов, когда население столкнулось с катастрофической нехваткой воды вследствие резкого сокращения водоотбора из Чернореченского водохранилища – основного резервуара пресной воды для города. В связи с этим, необходимо произвести изучение химического состава и первичной оценки пригодности воды родников для безопасного потребления этих вод населением, хозяйственных и бытовых нужд.

Согласно гидрогеологическому районированию регион исследования расположен в пределах Альминского артезианского бассейна и западной части гидрогеологической складчатой области мегаантиклинория Горного Крыма. Изученные современные очаги разгрузки подземных вод представлены родниками, расположенными на различных гипсометрических высотах (а.о.). Все исследуемые объекты были разделены на три группы: первая – родники низменных равнин (0-200 м); вторая – родники на возвышенностях (200-600 м); и третья – родники на склонах низких гор (500-1000 м). Основная часть объектов первой группы располагается в пределах Альминского артезианского бассейна, а также на юго-востоке исследуемой территории, родники второй группы опробованы на юге и северо-востоке региона, третьей – на северном и южном склоне Крымских гор (рис. 1).

Методы и материалы

С 2016 года ведутся экспедиционные работы, изучаются гидрогеологические и гидрогеохимические особенности, вопросы формирования состава подземных вод и их качества на территории Крымского полуострова [8-15]. База данных изученных родников юго-западных районов включает в себя 82 записи полного химического состава 63 объектов.

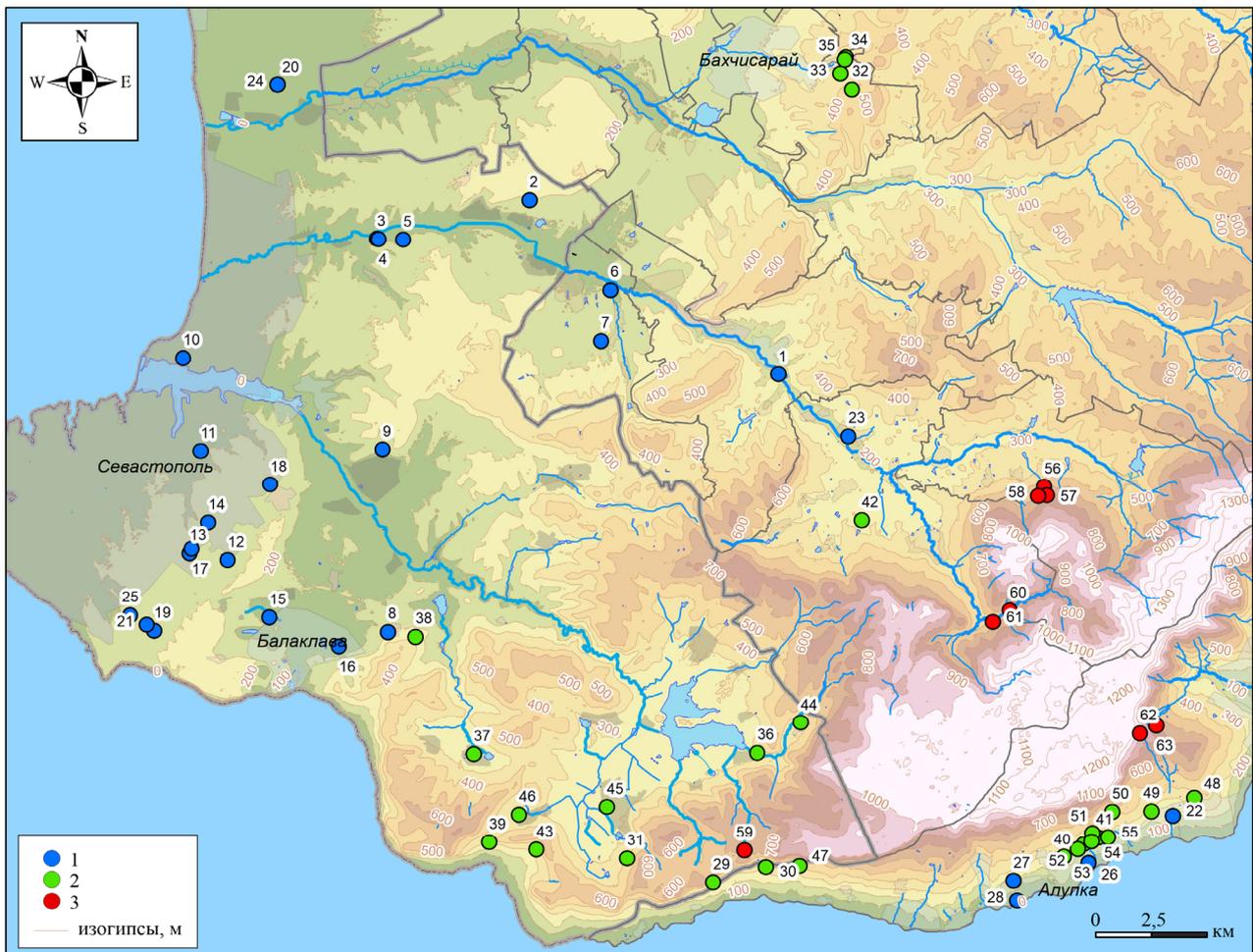


Рис.1 Обзорная карта региона исследований.

1 - родники низменных равнин (0-200 м): 1 – ист. Кулю-Бурунум, 2 – родник Железная бочка, 3 – род. Джевизлык 3, 4 – род. Николаевский, 5 – род. Горный ключ, 6 – ист. Кабарда-Чешме, 7 – ист. Чокрачек, 8 – род. Св. пантелеймона, 9 – род. на Шанхае, 10 – род. на ул. Громова, 11 – род. ул. Ревякина, 12 – род. в ТСН «Родник», 13 – род. в Сарандинакиной балке неорганизованный, 14 – род. на Максимовой даче (р-н 5-го км), 15 – род. «Кадывокский», 16 – род. в Балаклаве, 17 – род. священномученика Климента Римского, 18 – род. в СТ «Родничок», 19 – род. в балке Бермана, 20 – род. в с. Полюшко, 21 – род. в балке Бермана, возле конной базы, 22 – род. Загмата, 23 – фонтан Голубинковский, 24 – род. в с. Полюшко, 25 – род. в СНТ Надежда, 26 – ист. Ферма, 27 – ист. Аджан-Иешме и Фас-Бурла, 28 – ист. Ай-Панда;

2 – родники на возвышенностях (200-600 м): 29 – род. Кильсе-Бурунум, 30 – род. Q 044, 31 – род. Деспита, 32 – ист. Газы Мансур, 33 – род. в Святоуспенском монастыре, 34 – род. VGA-16326, 35 – фонтан на ул. Басенко, 36 – Скельский источник, 37 – фонтан Варналы, 38 – род. «Св. Предтечи», 39 – ист. у Ласпинской смотровой, 40 – род. над Алушкой, 41 – род. Михайловский (малый), 42 – Аджи-Су, 43 – род. Экономический, 44 – источник в с. Колхозное, 45 – ист. Кара-Агач, 46 – ист. Странный, 47 – ист. Мердвен Каясы, 48 – ист. Загмата, 49 – род. Фурунлёр, 50 – ист. Хаста-Баш, 51 – род. Михайловский, 52 – ист. Иванисовская группа и Фурнус, 53 – ист. Шан-Кая, 54 – ист. Кара-Баир, 55 – род. Ускула;

3 – родники на склонах низких гор (500-1000 м): 56 – род. Кок-Шабурла, 57 – род. в дер. Богатырь, 58 – род. севернее дер. Богатырь, 59 – ист. Чертова лестница, 60 – ист. Пания, 61 – род. у входа в Большой Крымский Каньон, 62 – род. на Бахчисарайском шоссе, 63 – род. у Черепашьего озера.

В ходе исследования впервые на единой методической основе был получен уникальный комплекс данных по химическому (макро- и микрокомпонентному – от Li до U) составу вод родников. В ПНИЛ гидрогеохимии ТПУ для определения макро- и микрокомпонентного состава вод применяются химические и физико-химические методы анализа. Определение анионов (фторид-, хлорид-, сульфат-, бромид-, нитрит-, нитрат-, фосфат-ионов) и катионов (кальций, магний, натрий, калий) проводится методом ионной хроматографии. Содержание микрокомпонентов, в том числе редкоземельных элементов, определяется методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Количество органического вещества оценивается по величине перманганатной и бихроматной (ХПК) окисляемости. Методом инверсионной вольтамперометрии проводится определение иодид-иона. Биогенные элементы кремний и фосфор определяются спектрофотометрическим методом. Исследования проводятся на основе аттестованных методик измерений, включенных в Федеральный информационный фонд (аналитики О.В. Чеботарева, Н.В. Бублий, А.С. Погуца, В.В. Куровская, К.Б. Кривцова, Л.А. Ракул). Оценка токсикологических особенностей вод проводилась с использованием действующих нормативных документов: СанПиН 2.1.3684-21, ГОСТ Р 58573-2019, и рекомендаций Всемирной организации по здравоохранению [16-18]. Расчет гидрогеохимического фона (средняя из наиболее часто встречающихся концентраций того или иного компонента в подземных водах) проводился в программном комплексе Statistica 12.0 (StatSoft. Inc.) с использованием функции Descriptive Statistics с расчетами средних, медианных, минимальных и максимальных значений с учетом стандартного отклонения.

Обсуждение

В химическом составе всех изученных вод закономерно доминируют гидрокарбонат-ион и кальций, в некоторых объектах установлены повышенные содержания магния, величина общей минерализации варьирует от 214 до 1644 мг/дм³, при фоновых значениях 471 мг/дм³ (рис. 2а, б). Воды изменяются от нейтральных (рН 7,11) до слабощелочных (рН 8,2), при фоне 7,7.

Воды первой группы наиболее разнообразны по своему химическому составу, выделено 14 химических типов вод. Во всех объектах установлено доминирование гидрокарбонат-иона, при повышенных содержаниях (более 10 % мг-экв) хлорид-иона и сульфат-иона, среди катионов доминирует кальций и натрий, при повышенных содержаниях магния (рис. 2а). Величины общей минерализации вод низменных равнин варьируют от 234 до 1644 мг/дм³, при фоновых значениях 666 мг/дм³ (рис. 2в). Водородный показатель изменяется от 7,1 до 8,1, его фоновые содержания немного превышают нейтральные значения (7,6).

В химическом составе вод родников, разгружающихся на возвышенностях, также доминирует гидрокарбонат-, хлорид- и сульфат-ионы имеют повышенные концентрации в ряде проб, но уже не оказывают значительного влияния на их состав, содержания катионов имеют схожий характер распределения с первой группой вод (рис. 2а).

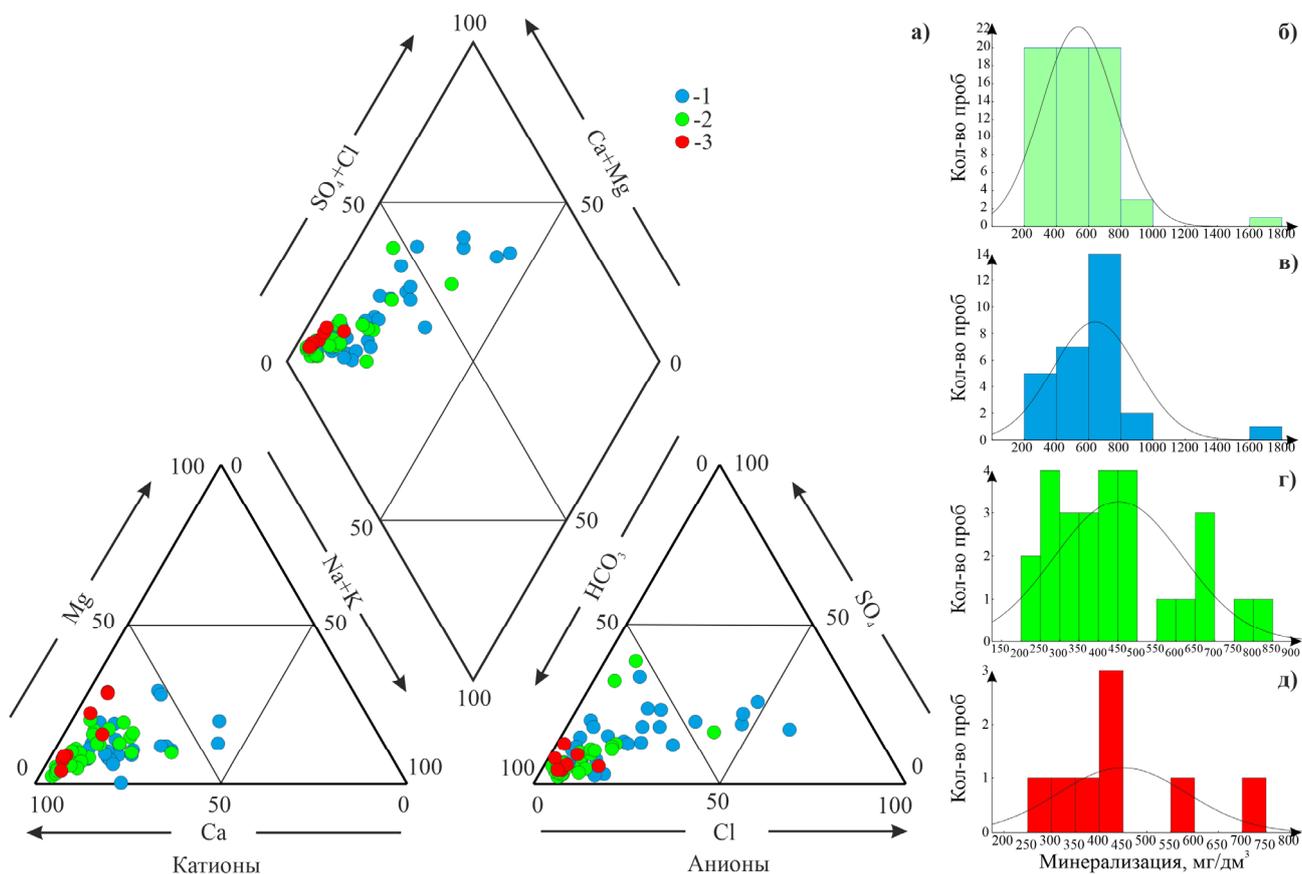


Рис. 2 Диаграмма Пайпера очагов разгрузки подземных вод (а) и гистограммы распределения величины общей минерализации подземных вод во всех очагах разгрузки (б), первой (в), второй (г) и третьей (д) группах. Усл. обозначения см. на рис. 1

Величина общей минерализации изменяется от 214 до 801 мг/дм³, фоновые значения составляют 423 мг/дм³ (рис. 2г). Воды от нейтральных до слабощелочных (рН от 7,3 до 8,2), при доминировании слабощелочных (фоновые значения рН 7,9).

В третьей группе, водах родников склонов низких гор, доминирует гидрокарбонатный кальциевый химический тип, в некоторых объектах установлены повышенные значения хлорид- и сульфат-ионов среди анионного состава, и магния среди катионного (рис. 2а). Диапазон величин общей минерализации меньше, чем во второй и третьей группе вод и составляет от 288 до 716 мг/дм³, фоновые значения идентичны второму типу – 423 мг/дм³ (рис. 2д). Воды щелочные (рН 7,6-7,9), фоновые значения водородного показателя составляют 7,6.

Проведенный сравнительный анализ концентраций микрокомпонентов в пробах и значений ПДК выявил, что на воды низменных равнин оказывается большое влияние антропогенная нагрузка. В них установлены превышения ПДК элементов, поступающих из почвенных удобрений, а также мусорных полигонов. Такие пробы были исключены из последующего анализа, для установления природного гидрогеохимического фона вод.

Установлено, что фоновый состав во всех трех группах имеет схожее распределение – концентрации убывают от Si до Ir, In и Be соответственно, наибольшие концентрации имеют Si, Sr, Fe, Br, Ba, B, I, P, Li, Cr, и Al (рис. 3а). В фоновом составе вод первой группы содержания брома, серебра, сурьмы, лития, урана, йода, кремния и молибдена превышают таковые в остальных группах вод. В водах родников, разгружающихся на возвышенностях, содержания галлия и свинца превышают значения фона в остальных водах, среди вод родников склонов низких гор установлены максимальные фоновые значения стронция и ртути (рис. 3а).

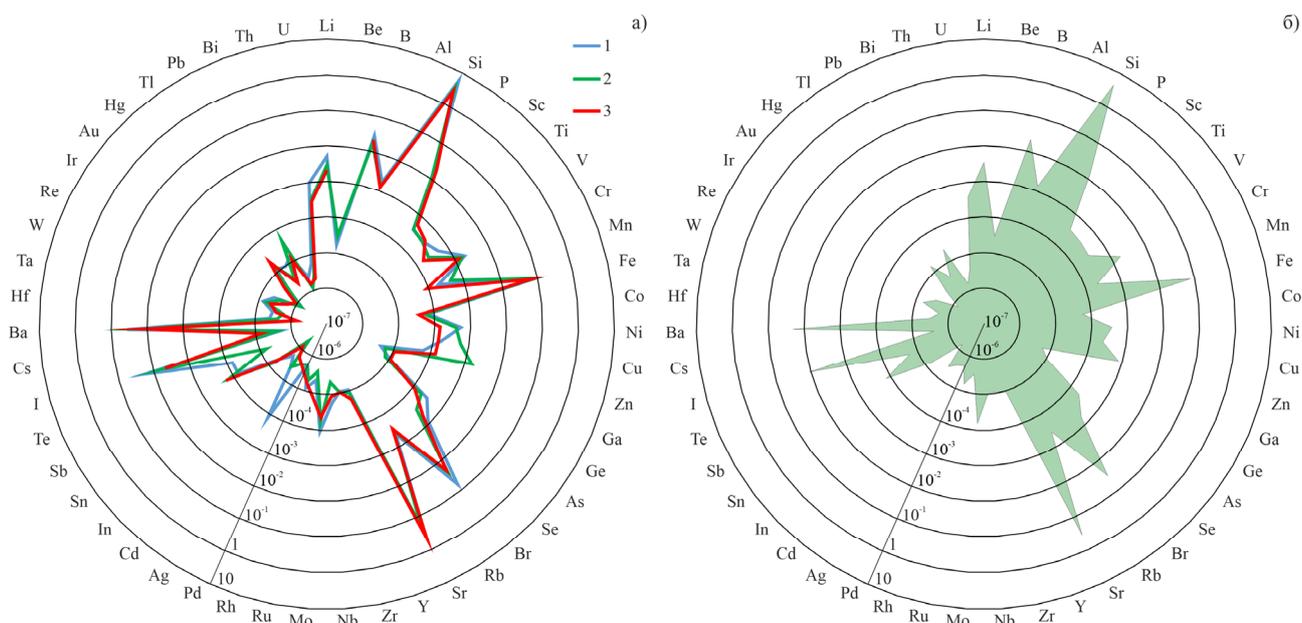


Рис. 3 Лепестковая диаграмма гидрогеохимического фона микрокомпонентов в трех группах родниковых вод (а) и во всех изученных водах (б). Усл. обозначения см. на рис. 1

Фоновые содержания микрокомпонентов во всех группах родниковых вод представлены на рисунке 3б и распределение имеет следующий вид (в порядке убывания, мг/дм³): Si (4,2), Sr (0,36), Fe (0,08), Br (0,03), B (0,021), Ba (0,02), P (0,012), I (0,011), Li (0,003), Cr (17·10⁻⁴), Al (14·10⁻⁴), Zn (8·10⁻⁴), Se (6·10⁻⁴), Rb (4·10⁻⁴), U (3,75·10⁻⁴), Sc (3,72·10⁻⁴), Ni (3,6·10⁻⁴), Ti (3,4·10⁻⁴), V (3,1·10⁻⁴), Cu (2,26·10⁻⁴), Mn (2,24·10⁻⁴), As (20,6·10⁻⁵), Sb (13,6·10⁻⁵), Mo (6,4·10⁻⁵), Co (5,9·10⁻⁵), Be (3,04·10⁻⁵), Pb (2,35·10⁻⁵), Te (1,7·10⁻⁵), Hg (1,5·10⁻⁵), Ge (1,1·10⁻⁵), Y (1,06·10⁻⁵), Zr (9,4·10⁻⁶), Nb (9,3·10⁻⁶), Sn (6,98·10⁻⁶), Rh (6,3·10⁻⁶), W (6,1·10⁻⁶), Ga (5,95·10⁻⁶), Tl (4,2·10⁻⁶), Th (3,95·10⁻⁶), Cd (3,7·10⁻⁶), Hf (3,3·10⁻⁶), Re (2,98·10⁻⁶), Ru (2,95·10⁻⁶), Cs (2,59·10⁻⁶), Ag (2,5·10⁻⁶), Au (2,32·10⁻⁶), Pd (2,1·10⁻⁶), Ta (1,9·10⁻⁶), Bi (1,6·10⁻⁶), Ir (7,1·10⁻⁷), In (7·10⁻⁶).

Заключение

В результате комплексного анализа химического состава современных очагов разгрузки подземных вод юго-западной части Крымского полуострова, установлено, что во всех типах вод доминируют гидрокарбонат-ион и кальций, в некоторых объектах установлены повышенные содержания магния, величина общей минерализации варьирует от 214 до 1644 мг/дм³, при фоновых значениях 471 мг/дм³. Воды от нейтральных (рН 7,11) до слабощелочных (рН 8,2), фоновые значения водородного показателя 7,7. Наиболее разнообразны по своему химическому составу воды родников низменных равнин, где величина общей минерализации изменяется от 234 до 1644 мг/дм³, рН от 7,1 до 8,1. В остальных группах влияние на химический тип вод хлорид- и сульфат-ионов ослабевает, фоновые значения минерализации в них составляет 423 мг/дм³. Фоновый состав во всех трех группах имеет схожее распределение – концентрации убывают от Si до Ir, In и Be соответственно, наибольшие концентрации имеют Si, Sr, Fe, Br, Ba, B, I, P, Li, Cr, и Al. В водах родников, разгружающихся на возвышенностях, содержания галлия и свинца превышают значения фона в остальных водах, среди вод родников склонов низких гор установлены максимальные фоновые значения стронция и ртути. Проведенный сравнительный анализ концентраций микрокомпонентов в пробах и их значений ПДК выявил, что на воды низменных равнин оказывается большое влияние антропогенная нагрузка.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта № 24-27-20031 Российского научного фонда и Правительства Севастополя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mahmoudi N., Nakhaei M., Porhemmat J. Assessment of hydrogeochemistry and contamination of Varamin deep aquifer, Tehran Province, Iran // *Environmental Earth Sciences*. – 2015. – V. 76. – pp. 370-384.
2. Marghade D., Malpe D.B., Rao N.S. Identification of controlling processes of groundwater quality in a developing urban area using principal component analysis // *Environmental Earth Sciences*. – 2015. – V. 74. – №. 7. – pp. 5919-5933.
3. Rawat K.S., Tripathi V.K. Hydro – chemical Survey and Quantifying Spatial Variations of Groundwater Quality in Dwarka, Sub – city of Delhi, India // *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*. – 2015. – V. 96 – № 2. – pp. 99-108.
4. Sankaran S., Sundararajan N., Khadija S. Geochemical Analysis of Groundwater Samples in the Vicinity of Lakes and Drainage Network // *Journal Geological Society of India*. – 2015. – V. 86. – pp. 459-467.
5. Benrabah S., Attoui B., Hannouche M. Characterization of groundwater quality destined for drinking water supply of Khenchela City (eastern Algeria) // *Journal of water and land development*. – 2016. – №. 30(VII-IX). – pp. 13-20.
6. Hassane A. B., Leduc C., Favreau G., Bekins B. A., Margueron T. Impacts of a large Sahelian city on groundwater hydrodynamics and quality: example of Niamey (Niger) // *Hydrogeology Journal*. – 2016. – V. 24. – №. 2. – pp. 407-423.
7. Aloni A., Brenner A. Use of Cotton as a Carbon Source for Denitrification in Biofilters for Groundwater Remediation // *Water*. – 2017. – V. 9. – pp. 714-725.

8. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Особенности гидрогеологии верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2018. – Т. 4 (70). – № 4. – С. 268-288 (в)
9. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Оценка качества подземных вод верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова для целей питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23. – № 4. – С. 52-57 (а)
10. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Новый взгляд на гидрогеологические условия города федерального значения Севастополь // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, Том 330, № 8, 2019. – С. 105-122.
11. Новиков Д.А., Копылова Ю.Г., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Хвощевская А.А. Геохимические типы природных вод Байдарской долины (Крымский полуостров) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2020. – № 17. – С. 401-405.
12. Новиков Д.А., Черных А.В., Хвощевская А.А., Максимова А.А., Деркачев А.С., Дульцев Ф.Ф., Ничкова Л.А., Сигора Г.А., Хоменко Т.Ю., Яхин Т.А. Токсичные элементы в природных водах Севастопольской городской агломерации: распределение, фон, аномалии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333 – № 4. – С. 79-92.
13. Новиков Д.А., Корнеева Т.В., Копылова Ю.Г., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Хвощевская А.А. Первые данные о распределении урана и тория в природных водах Байдарской долины (Крымский полуостров) // Химия в интересах устойчивого развития. – 2021. – Т. 29. – № 4. – С. 461-471.
14. Новиков Д.А., Копылова Ю.Г., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Пыряев А.Н., Хвощевская А.А., Ничкова Л.А., Сигора Г.А., Яхин Т.А. Новые изотопно-гидрогеохимические данные по составу природных вод Байдарской долины (крымский полуостров) // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62. – № 12. – С. 1705-1726.
15. Хвощевская А.А., Новиков Д.А., Копылова Ю.Г., Сметанина И.В., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Роль системы "вода - порода" в процессах формирования состава природных вод Севастопольской городской агломерации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332 – № 1 – С. 118-128.
16. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (с изменениями на 14 февраля 2022 года). – М.: Государственная дума РФ, 2021. – 65 с.
17. ГОСТ Р 58573-2019. Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Риск-ориентированный контроль. – М.: Стандартинформ, 2010. – 18 с.
18. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. – Geneva: World Health Organization, 2017. – 631 p.

© А. В. Черных, 2024