

4. Ронов А. Б., Балуховский А. Н. Климатическая зональность материков и тенденции изменений

климата в позднем мезозое и кайнозое. // Литология и полезные ископаемые, 1981. – № 5 – С. 118–136.

ПРИРОДА РАДИОАКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Д. А. Новиков^{1,2}, Т. В. Корнеева¹, А. А. Хвашевская³, М. С. Мельгунов⁴, Н. Г. Сидорина⁵,
А. А. Коханенко⁵, А. В. Черных¹, А. А. Максимова¹, Ф. Ф. Дульцев¹, А. С. Деркачев¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

Новосибирск, Россия, NovikovDA@ipgg.sbras.ru

²Новосибирский государственный университет

Новосибирск, Россия

³Томский политехнический университет

Томск, Россия, unpc_voda@mail.ru

⁴Институт геологии и минералогии СО РАН

Новосибирск, Россия, mike@igm.nsc.ru

⁵Сибирский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства
Северск, Россия, sidorinang@med.tomsk.ru

NATURE OF RADIOACTIVITY OF THE MINERAL WATERS OF THE CRIMEAN PENINSULA

D. A. Novikov^{1,2}, T. V. Korneeva¹, A. A. Khvashevskaya³, M. S. Melgunov⁴, N. G. Sidorina⁵,
A. A. Kokhanenko⁵, A. V. Chernykh¹, A. A. Maksimova¹, F. F. Dultsev¹, A. S. Derkachev¹

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS

Novosibirsk, Russia, NovikovDA@ipgg.sbras.ru

²Novosibirsk State University

Novosibirsk, Russia

³National Research Tomsk Polytechnic University

Tomsk, Russia, unpc_voda@mail.ru

⁴Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS

Novosibirsk, Russia, mike@igm.nsc.ru

⁵Siberian Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency
Seversk, sidorinang@med.tomsk.ru

The first data on the radionuclide composition (²³⁸U, ²³²Th и ²²²Rn) of mineral waters from 23 deposits and occurrences at the Crimean Peninsula are presented. Prevailing waters are characterized by SO₄-Cl-HCO₃ Na, Cl Na, SO₄-HCO₃ Mg-Ca-Na, SO₄-Cl Mg-Na composition, with TDS from ultrafresh to brine (0.4–202.9 g/dm³) and a broad variety of the geochemical parameters from sharply reductive to oxidative. The concentrations of natural radionuclides in the waters are (mg/dm³): ²³⁸U (6.3 • 10⁻⁷ – 5.9 • 10⁻²), ²³²Th (7.1 • 10⁻⁷ – 4.7 • 10⁻⁴). The activity of water-dissolved radon (²²²Rn) varies from 0.1 to 13.2 Bq/l. The ²³²Th/²³⁸U ratio is within the range 1.37 • 10⁻³ – 5.94. The uranium isotope ratio (γ) ²³⁴U/²³⁸U in the waters varies from 1.4 to 7.1, with the activity of uranium isotopes (mBq/l): ²³⁴U (0.3–46), ²³⁸U (0.2–11).

Введение

Минеральные воды в Крыму весьма разнообразны и известны с античных времен. Первые упоминания источников минеральных вод в научной литературе встречаются в работах Н. И. Андрусова, а их детальные исследования были начаты позднее в начале XX века и отражены в работах В. А. Обручева, С. П. Попова, А. С. Моисеева, М. М. Фомичева и Л. А. Яроцкого. Наиболее крупное обобщение по минеральным водам Крыма выполнено в многотом-

нике Гидрогеология СССР [8]. В 1980 г. под редакцией А. Е. Бабинец вышла в свет сводная работа по минеральным водам Украинской ССР [17].

Несмотря на длительный период изучения минеральных вод Крымского полуострова следует отметить, что до сих пор в научной литературе остаются не рассмотренными механизмы формирования их состава. Практически не изучен их изотопный состав, распределение радиоактивных и редкоземельных элементов. В последние годы вопросы по гидрогеохимии минеральных вод Крыма поднимались в ра-

ботах Г. Н. Амеличева и др. [4], К. Д. Бабовой и др. [5], А. С. Кайсинова и др. [10], Д. А. Новикова и др. [1–2, 13–16].

Крым обладает большим рекреационным потенциалом, важнейшими составляющими которого являются минеральные воды и грязи. Отсюда возникает необходимость иметь актуальные сведения об их изотопно-геохимических особенностях, включая распределение радионуклидов.

Материалы и методы

В настоящей работе представлены актуальные данные по 23 месторождениям и проявлениям минеральных вод Крыма (рис. 1). Гидрогеохимическое опробование этих объектов (25 проб) проводилось во время полевых работ 2019–2020 гг. Непосредственно на объектах было выполнено определение pH, Eh, температуры, содержания растворенного O_2 , HCO_3^- с помощью оборудования (Hanna HI9125, кислородомер АКПМ-1-02Л) и полевой гидрогеохимической лаборатории. Измерение содержаний ^{222}Rn в водах проводилось на комплексе «Альфарад плюс» в день отбора пробы. Лабораторное изучение химического состава методами титриметрии, ионной

хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводилось в ПНИЛ гидрогеохимии ИШПР ТПУ. Данные по общей β -активности вод, а также активностях ^{234}U , ^{238}U получены после предварительной радиохимической пробоподготовки в ИГМ СО РАН. Выделение групп и типов минеральных вод выполнялось в Испытательной лаборатории природных лечебных ресурсов ФГБУ СибФНКЦ ФМБА России согласно ГОСТ 54316-2020 [9].

Результаты и их обсуждение

Изученные воды значительно отличаются по химическому составу, геохимическим параметрам среды и содержаниям специфических компонентов (H_2SiO_3 , H_3BO_3 , I, Br, Se). Доминируют воды SO_4 –Cl– HCO_3 Na, Cl Na, SO_4 – HCO_3 Mg–Ca–Na, SO_4 –Cl Mg–Na состава с широкой вариацией по величине общей минерализации от 0,4 до 202,9 г/дм³. По геохимической обстановке воды можно разделить на две разновидности: с восстановительными (Eh от –330,2 до –22,3 мВ, pH от 7,3 до 9,1 и содержанием $O_{2раств.}$ 0,79–6,48 мг/дм³) и окислительными (Eh +22,1 – +158,5 мВ; pH 7,0–8,4; $O_{2раств.}$ от 2,73–6,92 мг/дм³) условиями. Следует отметить, что ряд водопроводов требует до-

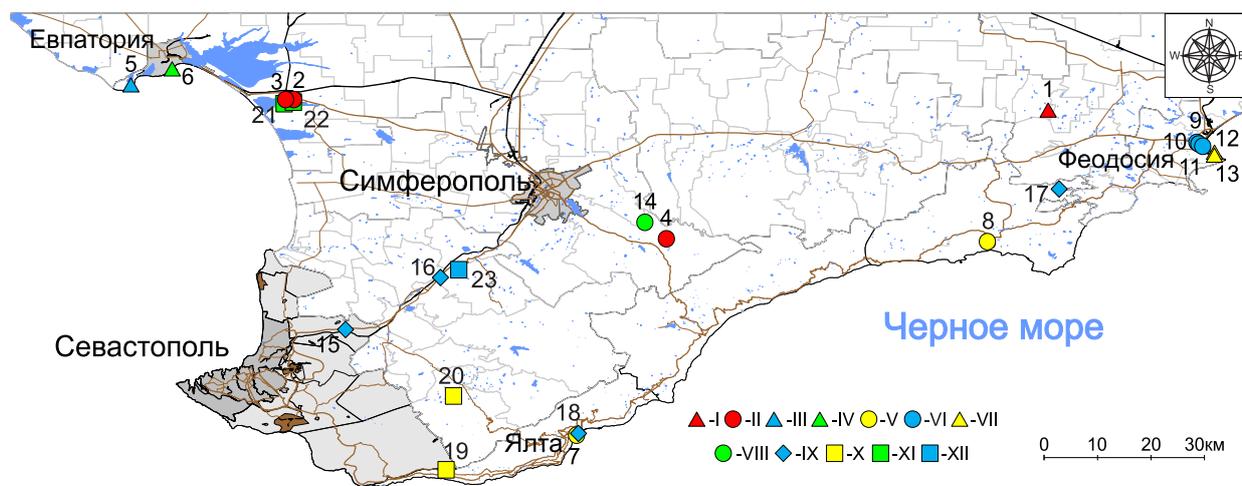


Рис. 1. Местоположение изученных месторождений и проявлений минеральных вод на территории Крымского полуострова

Типы минеральных вод: I – Ходыженский (1 – Айвазовское месторождение, глубина скважины 200 м); II – Карачинский (2 – Сакское месторождение, Санаторий им. Пирогова Министерство обороны РФ, глубина скважины 1001 м; 3 – Сакское месторождение, термальные воды, глубина скважины 960 м; 4 – скважина «У Геологов», Красные пещеры); III – Омский (5 – Евпаторийское месторождение, пансионат Чайка, скважина 10 (6243), термальная вода, интервал 980–1050 м, г. Евпатория); IV – Калининградский (6 – бюет Карникитская вода, г. Евпатория); V – Владикавказский (7 – бюет № 1 в Приморском парке, г. Ялта; 8 – Судакское месторождение, скважина № 6709 (старый номер 76), глубина 270 м); VI – Анапский (9 – Феодосийское месторождение, скважина № 6614, глубина 200 м; 10 – Феодосийское месторождение, скв. № 6616, глубина 206 м; 11 – бюет, вода Феодосийская, г. Феодосия); VII – Сибирский (12 – Карантин 3, г. Феодосия; 13 – Карантин 2, г. Феодосия); VIII – Ачалукский тип (14 – скважина у с. Дружное); IX – минеральные питьевые столовые воды (15 – скважина у часовни Николая Чудотворца, с. Верхнесадовое; 16 – скважина рядом с с. Глубокий Яр; 17 – термальный источник выше с. Щebetовка; 18 – бюет на ул. Чехова, г. Ялта; 19 – минеральный источник «Жабья радость»); X – маломинерализованные хлоридные кальциево-натриевые йодные (20 – минеральные воды Аджи-Су, каптаж в один колодец); XI – крепко рассольные хлоридные натриевые борные бромные (21 – Сакское озеро, Восточный бассейн, г. Саки; 22 – рапа для бальнеолечения, Санаторий им. Пирогова Министерство обороны РФ, г. Саки); XII – пресные гидрокарбонатно-сульфатные натриевые (23 – Севастьяновская сероводородная скважина).

Таблица 1. Радионуклидный состав минеральных вод Крымского полуострова

Тип	№ на рис. 1	Дата отбора	Eh, мВ	рН, д.е.	M, мг/дм ³	Элементы, мг/дм ³		Активность, мБк/дм ³			²³² Th ²³⁸ U	²³⁴ U	²²² Rn, Бк/дм ³	²³² Th ²³⁸ U	²³⁴ U ²³⁸ U
						²³⁸ U	²³² Th	Общее «β»	²³⁸ U	²³⁴ U					
I	1	10.09.2020	-330,2	8,20	1706	1,50 • 10 ⁻⁴	1,50 • 10 ⁻⁵	10 ± 4	0,18 ± 0,04	0,3 ± 0,05	1 ± 0	0,10	1,67		
II	2	18.09.2020	-132,1	8,05	1895	4,27 • 10 ⁻⁶	2,63 • 10 ⁻⁵	46 ± 6	0,7 ± 0,16	1,7 ± 0,3	5 ± 1	6,15	2,43		
II	3	18.09.2020	-201,1	8,28	2189	4,13 • 10 ⁻⁶	2,37 • 10 ⁻⁵	52 ± 5	0,81 ± 0,21	2,3 ± 0,4	2 ± 0	5,74	2,84		
II	4	06.09.2020	-178,3	9,01	1271	4,14 • 10 ⁻⁴	1,57 • 10 ⁻⁵	22 ± 3	6,5 ± 0,6	46 ± 2	4 ± 1	3,79 • 10 ⁻²	7,08		
III	5	17.09.2020	-143,3	7,79	9039	3,90 • 10 ⁻⁶	2,36 • 10 ⁻⁵	128 ± 6	0,9 ± 0,23	2,2 ± 0,4	2 ± 0	6,05	2,44		
IV	6	17.09.2020	146,2	8,45	3621	6,14 • 10 ⁻⁶	1,18 • 10 ⁻⁶	-	-	-	0,1	0,19	-		
V	7	04.09.2020	-179,1	7,26	1098	2,03 • 10 ⁻⁵	9,98 • 10 ⁻⁶	35 ± 5	0,36 ± 0,07	1,3 ± 0,1	0,1	0,49	3,61		
V	8	07.09.2020	-302,5	7,38	1211	2,19 • 10 ⁻⁴	4,69 • 10 ⁻⁴	43 ± 5	3,1 ± 0,4	6 ± 0,6	1 ± 0	2,14	1,94		
VI	9	10.09.2020	-177,5	7,49	3261	1,69 • 10 ⁻⁵	9,10 • 10 ⁻⁶	21 ± 4	0,91 ± 0,09	1,8 ± 0,1	0,1	0,54	1,98		
VI	10	10.09.2020	-281,2	8,43	2866	4,09 • 10 ⁻⁶	9,10 • 10 ⁻⁶	22 ± 3	1,03 ± 0,09	1,5 ± 0,1	1 ± 0	2,23	1,46		
VI	11	17.07.2019	113,1	7,54	2854	2,43 • 10 ⁻⁵	8,14 • 10 ⁻⁶	-	-	-	0,1	0,33	-		
VII	12	17.07.2019	152,8	7,47	1541	2,12 • 10 ⁻³	1,28 • 10 ⁻⁵	-	-	-	0,1	6,05 • 10 ⁻³	-		
VII	13	17.07.2019	145,3	7,36	1683	1,84 • 10 ⁻³	4,07 • 10 ⁻⁶	-	-	-	0,1	2,22 • 10 ⁻³	-		
VIII	14	06.09.2020	-85,8	9,12	1873	1,22 • 10 ⁻⁵	4,34 • 10 ⁻⁵	-	-	-	0,1	3,55	-		
IX	15	21.09.2020	-229,7	8,37	525	1,46 • 10 ⁻⁵	4,59 • 10 ⁻⁶	22 ± 6	0,5 ± 0,05	0,74 ± 0,06	4 ± 1	0,31	1,48		
IX	15	28.09.2019	-268,2	8,44	463	1,25 • 10 ⁻⁵	4,42 • 10 ⁻⁶	-	-	-	7 ± 2	0,36	-		
IX	16	21.09.2020	-146,2	7,78	483	4,19 • 10 ⁻⁶	2,49 • 10 ⁻⁵	42 ± 8	0,45 ± 0,05	0,63 ± 0,06	4 ± 1	5,94	1,40		
IX	16	29.09.2019	-175,2	7,91	427	4,36 • 10 ⁻⁶	2,52 • 10 ⁻⁵	-	-	-	4 ± 1	5,79	-		
IX	17	11.09.2020	150,2	7,47	624	8,62 • 10 ⁻⁴	1,18 • 10 ⁻⁶	14 ± 5	11 ± 1	22 ± 1	4 ± 1	1,37 • 10 ⁻³	2,00		
IX	18	04.09.2020	158,5	7,44	511	3,14 • 10 ⁻⁴	2,32 • 10 ⁻⁶	14 ± 4	4,9 ± 0,5	8,4 ± 0,7	3 ± 0	7,40 • 10 ⁻³	1,71		
IX	19	27.09.2019	33,4	7,04	865	3,75 • 10 ⁻⁴	4,07 • 10 ⁻⁷	-	-	-	0,1	1,09 • 10 ⁻³	-		
X	20	16.09.2020	-267,4	7,39	3317	5,52 • 10 ⁻⁵	9,10 • 10 ⁻⁶	17 ± 4	1,05 ± 0,09	2,3 ± 0,1	6 ± 1	0,17	2,19		
XI	21	18.09.2020	22,1	8,01	202962	5,91 • 10 ⁻²	3,70 • 10 ⁻⁵	-	-	-	0,1	6,26 • 10 ⁻⁴	-		
XI	22	18.09.2020	-22,3	7,88	190065	1,97 • 10 ⁻²	3,81 • 10 ⁻⁵	-	-	-	0,1	1,93 • 10 ⁻³	-		
XII	23	21.09.2020	-164,7	7,88	770	6,29 • 10 ⁻⁷	7,06 • 10 ⁻⁷	55 ± 8	0,27 ± 0,07	0,68 ± 0,11	13 ± 5	1,12	2,52		

«-» данные отсутствуют.

полнительных полевых исследований (содержания сероводорода, углекислого газа и радона), которые будут выполнены в 2021 году.

Исследованные минеральные воды в соответствии с [9] были разделены на пять групп: 1) минеральные питьевые столовые (5 проявлений); 2) минеральные питьевые лечебные (Айвазовское месторождение); 3) минеральные питьевые лечебно-столовые (месторождения: Сакское, Евпаторийское, Судакское и Феодосийское; 6 проявлений); 4) мало-минерализованные воды Аджису; 5) рапа Сакского озера. Их местоположение и разделение на бальнеологические типы приведено на рис. 1. Дадим краткую характеристику выделенных групп, включая особенности их радионуклидного состава.

Пять проявлений **минеральных питьевых столовых вод** были изучены с бальнеологической точки зрения впервые (№ 15–19, рис. 1). Они характеризуются преимущественно $\text{SO}_4\text{--HCO}_3\text{--Mg--Ca--Na}$ составом с величиной общей минерализации 427–865 мг/дм³ и содержанием кремния 3,48–17,01 мг/дм³. Геохимические параметры среды изменяются от восстановительных до окислительных с Eh –268,2 – +158,5 мВ, pH 7,0 – 8,44, содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 1,79–6,92 мг/дм³. Для установления типа вод и бальнеологической группы необходимы дополнительные исследования. Суммарная β -активность составляет 14–42 мБк/дм³. Активность ²²²Rn изменяется в диапазоне от 3 до 7 Бк/дм³. Установлено, что природные радионуклиды содержатся в следующих пределах (мг/дм³): ²³⁸U от 4,19 • 10⁻⁶ до 8,62 • 10⁻⁴ и ²³²Th от 4,07 • 10⁻⁷ до 2,52 • 10⁻⁵ (табл. 1). ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от 1,09 • 10⁻³ до 5,94. Постоянство ²³⁸U/²³⁵U экспериментально доказано практически для всех природных объектов, тогда как отношение четных изотопов урана ²³⁴U/²³⁸U в природных водах сильно варьирует [3, 18]. Поэтому в практике гидрогеологических исследований используют величину γ , равную отношению удельных активностей A_{234}/A_{238} в исследуемых образцах. При ненарушенном радиоактивном равновесии $\gamma = 1$, если в системе имеется избыток ²³⁴U, то $\gamma > 1$, а при его недостатке $\gamma < 1$. Уранизотопное отношение (γ) ²³⁴U/²³⁸U варьирует в интервале от 1,4 до 2, при активности изотопов урана (мБк/дм³): ²³⁴U (0,63–22), ²³⁸U (0,45–11).

Воды второй разновидности минеральные питьевые лечебные Айвазовского месторождения (№ 1, рис. 1) $\text{HCO}_3\text{--Cl Na}$ состава с величиной общей минерализации 1706 мг/дм³ и содержанием кремния 16,17 мг/дм³. Геохимические параметры среды восстановительные с Eh –330,2 мВ, pH 8,2, содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 0,79 мг/дм³. Суммарная β -активность равна 10 мБк/дм³. Активность ²²²Rn составляет 1 Бк/дм³. Содержания ²³⁸U составляют 1,50 • 10⁻⁶, а ²³²Th – 1,50 • 10⁻⁴ мг/дм³ (табл. 1). ²³²Th/²³⁸U отноше-

ние в водах составляет 0,1. Уранизотопное отношение (γ) ²³⁴U/²³⁸U составляет 1,67, при активности изотопов урана (мБк/дм³): ²³⁴U (0,3), ²³⁸U (0,18).

Воды третьей группы минеральные питьевые лечебно-столовые, характеризующиеся довольно изменчивым химическим составом с преобладающим Cl Na типом и величиной общей минерализации 1098–9038 мг/дм³ и содержанием кремния 1,19–9,20 мг/дм³ (№ 2–14, рис. 1). Геохимические параметры среды изменяются от восстановительных до окислительных с Eh –302,5 – +152,8 мВ, pH 7,3–9,1, содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 1,18–6,48 мг/дм³. Суммарная β -активность варьирует в широком диапазоне от 21 до 128 мБк/дм³. Активность ²²²Rn изменяется от 0,1 до 5 Бк/дм³. Природные радионуклиды содержатся в следующих концентрациях (мг/дм³): ²³⁸U от 3,90 • 10⁻⁶ до 2,12 • 10⁻³ и ²³²Th от 1,18 • 10⁻⁶ до 4,69 • 10⁻⁴ (табл. 1). ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от 2,22 • 10⁻³ до 6,15. Уранизотопное отношение (γ) ²³⁴U/²³⁸U изменяется в интервале от 1,45 до 7,08, при активности изотопов урана (мБк/дм³): ²³⁴U (1,3–46), ²³⁸U (0,36–6,5).

Четвертая разновидность представлена минеральными водами источника Аджису (№ 20, рис. 1). Воды характеризуются Cl Ca–Na составом с величиной общей минерализации 3317 мг/дм³ и содержанием кремния 8,44 мг/дм³. Геохимические параметры среды окислительные с Eh –267,4 мВ, pH 7,4, содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 2,39–6,48 мг/дм³. Суммарная β -активность равна 17 мБк/дм³. Активность ²²²Rn составляет 6 Бк/дм³, что требует дополнительных полевых исследований. Содержания ²³⁸U составляют 5,52 • 10⁻⁵, а ²³²Th – 9,10 • 10⁻⁶ мг/дм³ (табл. 1). ²³²Th/²³⁸U отношение в водах составляет 0,17. Уранизотопное отношение (γ) ²³⁴U/²³⁸U составляет 2,19, при активности изотопов урана (мБк/дм³): ²³⁴U (2,3), ²³⁸U (1,05). Это свидетельствует о неглубокой циркуляции этих вод.

Воды пятой группы представлены рапой Сакского озера (№ 21–22, рис. 1) с $\text{SO}_4\text{--Cl Mg--Na}$ составом и величиной общей минерализации 190 – 203 г/дм³, с содержанием кремния не превышающем 4,77 мг/дм³. Геохимические параметры среды изменяются от слабовосстановительных до слабоокислительных с Eh –22,3 – +22,1 мВ, pH 7,9–8,0, содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 3,36–5,33 мг/дм³. Согласно медицинским показаниям по уровню минерализации и наличию бальнеологически ценных компонентов озерная вода может использоваться наружно (в виде ванн) при болезнях системы кровообращения, нервной системы, костно-мышечной системы, органов пищеварения эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ, мочеполовой системы и болезнях кожи. Природные радионуклиды содержатся в следующих концентрациях (мг/дм³): ²³⁸U от 1,97 • 10⁻² до 5,91 • 10⁻² и ²³²Th от 3,70 • 10⁻⁵ до 3,81 • 10⁻⁵ (табл. 1). ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от 6,26 • 10⁻⁴ до 1,93 • 10⁻³.

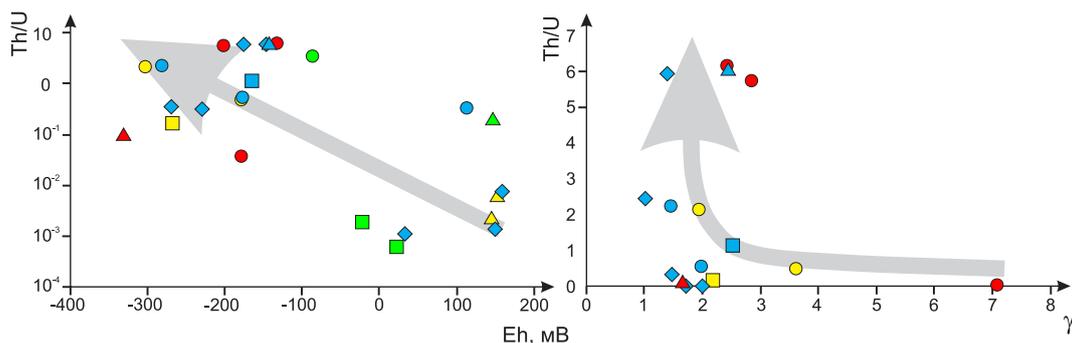


Рис. 2. Зависимость Th/U отношения от величины окислительно-восстановительного потенциала и уранизотопного отношения в минеральных водах Крымского полуострова
Условные обозначения см. рис. 1.

Заключение

Резюмируя вышесказанное, отметим, что балансовые ресурсы Крымского полуострова в настоящее время крайне слабо изучены. Этот вопрос требует пристального внимания со стороны научных, производственных организаций и региональных властей, поскольку Крым необходимо в полной мере сделать круглогодичным курортом. Обширный материал, полученный авторами в течение последних лет позволил выявить семь ранее не известных проявлений минеральных вод и впервые дать характеристику их радионуклидного состава.

Установлено, что поведение тория и урана в изученных минеральных водах в первую очередь определяется геохимическими параметрами среды. Торий мигрирует в восстановительной среде, а уран в окислительной, где первый образует гидроокислы и осаждается со вторичными минералами (рис. 2а). Этот факт подтверждается на множестве объектов [6–7, 11]. Закономерно смена окислительных обстановок на восстановительные в изученных минеральных водах приводит к росту $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношения от 10^{-3} –0,1 в первом случае, до 0,1–10 – во втором. Обратная зависимость просматривается при анализе значений уранизотопного отношения, чем ниже его

значения, тем глубже циркуляция этих вод и гидрогеологическая закрытость недр (рис. 2б). Так, минеральные воды Айвазовского, Феодосийского месторождений и проявления у с. Глубокий Яр по величине γ соответствуют наибольшим глубинам циркуляции из изученных объектов. Также, минеральные воды проявления у с. Глубокий Яр характеризуются высоким отношением $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U} = 5,9$. В целом для исследуемого региона наблюдается рост содержаний урана с величиной общей минерализации природных вод, что особенно заметно в рапе Сакского озера, где за счет процессов солнечного концентрирования его концентрации достигают $1,97 \cdot 10^{-2}$ – $5,91 \cdot 10^{-2}$ мг/дм³. Уран мигрирует в окислительных обстановках преимущественно в виде анионных комплексов $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ и $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$, в меньшей степени (< 1 % от общего содержания) в виде $\text{Ca}_2\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3(\text{aq})$ и $\text{CaUO}_2(\text{CO}_3)_3^{2-}$. Экспериментальные и теоретические исследования форм, растворимости и сорбции тория в водах с низкой ионной силой говорят о том, что он может находиться в форме ThO_2 или $\text{Th}(\text{OH})_3\text{CO}_3^-$ [12].

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0025, РФФИ и города Севастополь в рамках гранта № 18-45-920032 p_a и Государственного Задания РФ «Наука» в рамках проекта № FSWW-0022-2020.

Литература

1. Nichkova L. A., Geochemistry of natural waters of the Baydar valley (Crimean Peninsula) / L. A. Nichkova, D. A. Novikov, A. V. Chernykh, F. F. Dultsev, G. A. Sigora, T. Yu. Khomenko // E3S Web of Conferences, 2019. – V. 98. – № 01036.
2. Novikov D. A. Distribution of the stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$, δD и $\delta^{13}\text{C}$) in natural waters of the Baydar valley (Crimean Peninsula) / D. A. Novikov, L. A. Nichkova, A. V. Chernykh, F. F. Dultsev, A. N. Pyryaev, G. A. Sigora, T. Yu. Khomenko // E3S Web of Conferences, 2019. – V. 98. – № 01038.
3. Osmond J. K. The theory and uses natural uranium isotopic Variations in hydrology / J. K. Osmond, J. B. Gowart // Atomic Energy Review, 1976. – V. 144. – P. 621–679.
4. Амеличев Г. Н., Комплексная оценка возраста и установление условий формирования минеральных вод «Бишули» (равнинный Крым) на основе изотопно-геохимических данных / Г. Н. Амеличев, И. В. Токарев, С. В. Токарев, И. А. Крайнюкова, Н. С. Бурлакова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология, 2017. – Т. 3 (69). – № 2. – С. 130–150.

5. Бабова К. Д. Справочник Минеральные лечебно-столовые воды Украины / К. Д. Бабова, М. В. Лобода, Е. М. Никипелова. – Коломия, 1998. – 207 с.
6. Баранов В. И. Радиогеология / В. И. Баранов, Н. А. Титаева. – Москва: Издательство Московского университета, 1973. – 124 с.
7. Геологический словарь: в 2-х томах. – Москва: Недра. Под редакцией К. Н. Паффенгольца и др., 1973. – 272 с.
8. Гидрогеология СССР. Том VIII. Крым / Гл. редактор академик А. В. Сидоренко. – Москва: Издательство «Недра», 1971. – 55 с.
9. ГОСТ Р 54316-2020 Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия: Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. – Москва: Стандартинформ, 2020.
10. Кайсинова А. С. Химический состав и свойства минеральной воды «Бишули» (с. Пятихатка Красногвардейский район, республика Крым) и возможности её использования в бальнеологических целях / А. С. Кайсинова, А. Н. Глухов, С. Р. Данилов, Ф. И. Текеева // Курортная медицина, 2016. – № 4. – С. 13–17.
11. Копылова Ю. Г. Уран и торий в природных водах юго-востока Алтае-Саянской области / Ю. Г. Копылова, Н. В. Гусева, К. Д. Аракчаа, А. А. Хвощевская, И. С. Мазурова, О. Д. Аюнова, Ч. К. Ой-дуп, К. М. Рычкова // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы V Международной конференции, 13–16 сентября 2016 г., г. Томск. – Томск, 2016. – С. 339–345.
12. Новиков Д. А. Поведение природных радионуклидов в водах Байдарской долины (Крымский полуостров) / Д. А. Новиков, Т. В. Корнеева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: Материалы XVI международной научной конференции, г. Новосибирск, 20–24 апреля 2020 г., – С. 165–178.
13. Новиков Д. А. Новые изотопно-гидрогеохимические данные по составу природных вод Байдарской долины (Крымский полуостров) / Д. А. Новиков, Ю. Г. Копылова, А. В. Черных, Ф. Ф. Дульцев, А. Н. Пыряев, А. А. Хвощевская, Л. А. Ничкова, Г. А. Сигора, Т. А. Яхин // Геология и геофизика, 2020, DOI: 10.15372/GiG2020137.
14. Новиков Д. А. Геохимические типы природных вод Байдарской долины (Крымский полуостров) / Д. А. Новиков, Ю. Г. Копылова, А. В. Черных, Ф. Ф. Дульцев, А. А. Хвощевская // Труды Фермановской научной сессии ГИ КНЦ РАН, 2020. – № 17. – С. 401–405.
15. Новиков Д. А. Новый взгляд на гидрогеологические условия города федерального значения Севастополь / Д. А. Новиков, А. В. Черных, Ф. Ф. Дульцев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2019. – Т. 330. – № 8. – С. 105–122.
16. Новиков Д. А. Оценка качества подземных вод верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова для целей питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения / Д. А. Новиков, А. В. Черных, Ф. Ф. Дульцев // Экология и промышленность России, 2019. – Т. 23. – № 4. – С. 52–57.
17. Обзор минеральных вод Украинской ССР / А. С. Алексеева, В. Д. Овчарова, Н. А. Лысак. – Киев: Издательство Центральной тематической экспедиции Министерства геологии УССР, 1980. – 770 с.
18. Чалов П. И. Неравновесный уран как индикатор при изучении процессов формирования и циркуляции подземных вод / П. И. Чалов, Т. В. Тузова, А. И. Тихонов, К. И. Меркулова, Н. А. Светличная // Геохимия, 1979. – № 10. – С. 1499–1507.