

УДК 628.1.032-026.86(292.471)

ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ: РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ФОН, АНОМАЛИИ

Новиков Дмитрий Анатольевич^{1,2},
NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Черных Анатолий Витальевич^{1,2},
ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Хвощевская Альбина Анатольевна³,
unpc_voda@mail.ru

Максимова Анастасия Алексеевна^{1,2},
rock.nastaya64@gmail.com

Деркачев Антон Сергеевич^{1,2},
a.derkachev@g.nsu.ru

Дульцев Федор Федорович^{1,2},
DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Ничкова Лариса Александровна⁴,
nichkova@sevsu.ru

Сигора Галина Анатольевна⁴,
sigora1@yandex.ru

Хоменко Тамара Юрьевна⁴,
tamara_homenko21.07@mail.ru

Яхин Тимур Анисович⁵,
timalife@mail.ru

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3.

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1.

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

⁴ Севастопольский государственный университет, Россия, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33.

⁵ Государственное унитарное предприятие города Севастополя «Водоканал», Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Адм. Октябрьского, 4.

Актуальность. До настоящего исследования по природным водам Севастопольской городской агломерации отсутствовали актуальные сведения по распределению широкого спектра высокотоксичных элементов.

Цель: установить характеристики гидрогеохимического фона и изучить распределение высокотоксичных химических элементов в водах питьевого водоснабжения населения Севастопольской городской агломерации на основе актуальных сведений об их химическом составе, полученном современными методами анализа.

Методы. Лабораторное изучение химического состава методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводилось в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета. Оценка токсикологических особенностей вод проводилась с использованием действующих нормативных документов: СанПиН 1.2.3685-21, ГОСТ Р 51232-98, СанПиН 2.1.3684-21, и рекомендаций Всемирной организации по здравоохранению.

Результаты. Для природных вод территории Севастопольской городской агломерации установлены характеристики гидрогеохимического фона и аномалий. Выявлено, что концентрации большинства изученных токсичных элементов находятся ниже ПДК (V, Cr, Cu, Zn, Mo, Cd, Pb и Bi). Ряд объектов отличается превышением предельно допустимых концентраций по Fe, Mn, Co, Ni и Ti. По нормируемым химическим элементам в настоящее время наиболее неблагоприятные условия характеризуют воды села Колхозное. Практически на всей территории Гераклеийского полуострова установлены высокие содержания урана и повышенные мышьяка. Огромное влияние на ухудшение качественных характеристик природных вод оказали засухи 2018–2020 гг., приведшие к росту концентраций практически всех микрокомпонентов не только в поверхностных, но и в подземных водах, включая скважины, родники и колодцы. Выявление роли природных и антропогенных факторов в процессах формирования гидрогеохимического поля эксплуатируемых водоносных горизонтов на территории Севастопольской городской агломерации требует продолжения мониторинговых исследований, начатых в 2018 г.

Ключевые слова:

Природные воды, высокотоксичные элементы, радионуклиды, питьевое водоснабжение населения, Севастопольская городская агломерация, Крым.

Введение

Проблема чистой питьевой воды в мире в последние десятилетия только нарастает. Растущая антропогенная нагрузка оказывает все большее влияние на водные экосистемы. Особенно сильно проявляется загрязнение вод тяжелыми металлами и токсичными

элементами первого класса опасности. Согласно постановлению Главного государственного врача РФ (СанПиН 1.2.3685-21), в группу 1 класса опасности входят Be, As, Hg, Tl и U. Как отмечается в многочисленных работах российских и зарубежных ученых, перечисленные выше элементы обладают высокоток-

сичными, канцерогенными и мутагенными свойствами [1–21]. При этом таллий (Тl), являясь высокотоксичным элементом, гораздо меньше изучен, чем ртуть, уран и другие [22], что связано с несовершенством классических аналитических методов, имеющих к нему низкую чувствительность. Но экотоксикологическая важность таллия обусловлена его острой токсичностью для живых организмов и сопоставима с таковой для ртути [23]. К тяжелым металлам относятся более 30 химических элементов из периодической системы Д.И. Менделеева. В настоящем исследовании рассмотрены: марганец, ванадий, хром, железо, кобальт, никель, медь, цинк, молибден, кадмий, свинец и висмут, т. к. они обладают наибольшей токсичностью. Одними из основных источников загрязнения вод этими элементами выступают автотранспорт и промышленные предприятия.

Как писал великий естествоиспытатель В.И. Вернадский: «...торий стоит вне геохимии воды, торий не входит в водный режим Земли...», потому что считалось, что Th и продукты его распада в воде присутствуют в столь ничтожно малых количествах, которые нельзя было зафиксировать [24]. Современные исследования показали, что Th может являться индикаторным элементом, отражающим вклад как природного, так и техногенного фактора в эколого-геохимическую характеристику. Поэтому он также был рассмотрен в рамках настоящей работы. В этой связи основной целью настоящего исследования является оценка распределения высокотоксичных химических элементов в водах питьевого водоснабжения населения Севастопольской городской агломерации (СГА) на основе актуальных сведений об их химическом составе, полученном современными методами анализа.

Материалы и методы

Наш коллектив с 2018 г. занимается изучением особенностей гидрогеологии, гидрогеохимии и механизмов формирования природных вод СГА [25, 26]. В течение этого времени впервые для вод Крымского полуострова на единой методической основе с использованием современной химико-аналитической базы выполнены комплексные изотопно-геохимические исследования, результаты которых отражены в целой серии работ [27–31], при этом оценка их токсикологических особенностей еще не выполнялась и впервые представлена в настоящем исследовании.

В ходе экспедиционных работ в летне-осенний период 2018–2021 гг. было отобрано 105 проб природных вод из 76 объектов в пределах СГА (рис. 1, а).

Отбор и предварительная пробоподготовка выполнялись в соответствии с общепринятыми методиками. Лабораторное изучение химического состава методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводилось в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета (аналитики В.В. Куровская, А.С. Погу-

ца, Э.С. Шведская, Ю.Ф. Татарская, М.А. Глушкова). Оценка токсикологических особенностей вод проводилась с использованием действующих нормативных документов: СанПиН 1.2.3685-21, ГОСТ Р 51232-98, СанПиН 2.1.3684-21, и рекомендаций Всемирной организации по здравоохранению [32–35]. При анализе гидрогеохимической информации определены характеристики распределения фоновых концентраций и установлены гидрогеохимические аномалии для тяжелых металлов и токсичных элементов первого класса опасности. Гидрогеохимический фон – средняя из наиболее часто встречающихся концентраций того или иного компонента подземных вод. Гидрогеохимическая аномалия – концентрация, значительно превышающая фоновую ($\geq 30\%$).

Результаты и обсуждение

Ранее отмечалось, что актуальные сведения по природным водам СГА стали появляться недавно и с 2018 г. по настоящее время ведется их мониторинг. В табл. 1 приведены типовые пробы вод Родниковского, Орловского, Бельбекского и Инкерманского водозаборов, активно используемого населением родника Деспита и Чернореченского водохранилища, которое выступает основным источником водоснабжения населения СГА. Кратко рассмотрим особенности их геохимии.

Воды гидрокарбонатного кальциевого состава Родниковского водозабора приурочены к верхнеюрскому водоносному комплексу, величина их общей минерализации варьирует от 359 до 606 мг/дм³, содержание кремния – от 1,42 до 3,03 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +118,7 – +180,5 мВ, нейтральным pH 7,4 и O_{2раств.} 8,03–8,51 мг/дм³. Балансовые запасы подземных вод относятся к категориям В и С₁ и составляют 4,76 и 4,047 тыс. м³/сут, соответственно.

Воды Орловского водозабора преимущественно хлоридно-гидрокарбонатного кальциево-натриевого состава относятся к средне-верхнесарматскому водоносному комплексу. Величина общей минерализации изменяется от 544 до 1213 мг/дм³, содержания кремния – от 4,31 до 7,49 мг/дм³. Геохимические параметры среды изменяются от восстановительной до окислительной обстановки с Eh от –151,2 до +220,3 мВ, характеризуются нейтральным и слабощелочным pH (7,0–8,0) и O_{2раств.} 2,91–7,15 мг/дм³. Балансовые запасы подземных вод относятся к категориям А и В и составляют 28,2 и 11,8 тыс. м³/сут, соответственно.

Воды Бельбекского водозабора гидрокарбонатно-хлоридного кальциево-натриевого и гидрокарбонатного кальциевого состава относятся к четвертичному аллювиальному водоносному комплексу. Величина их общей минерализации составляет от 604 до 805 мг/дм³, и содержание кремния варьирует в пределах 4,67–5,17 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh от +69,3 до +176,3 мВ, нейтральному pH (7,3) и O_{2раств.} 4,52–4,77 мг/дм³. Балансовые запасы подземных вод относятся к категории А и равны 3,5 тыс. м³/сут.

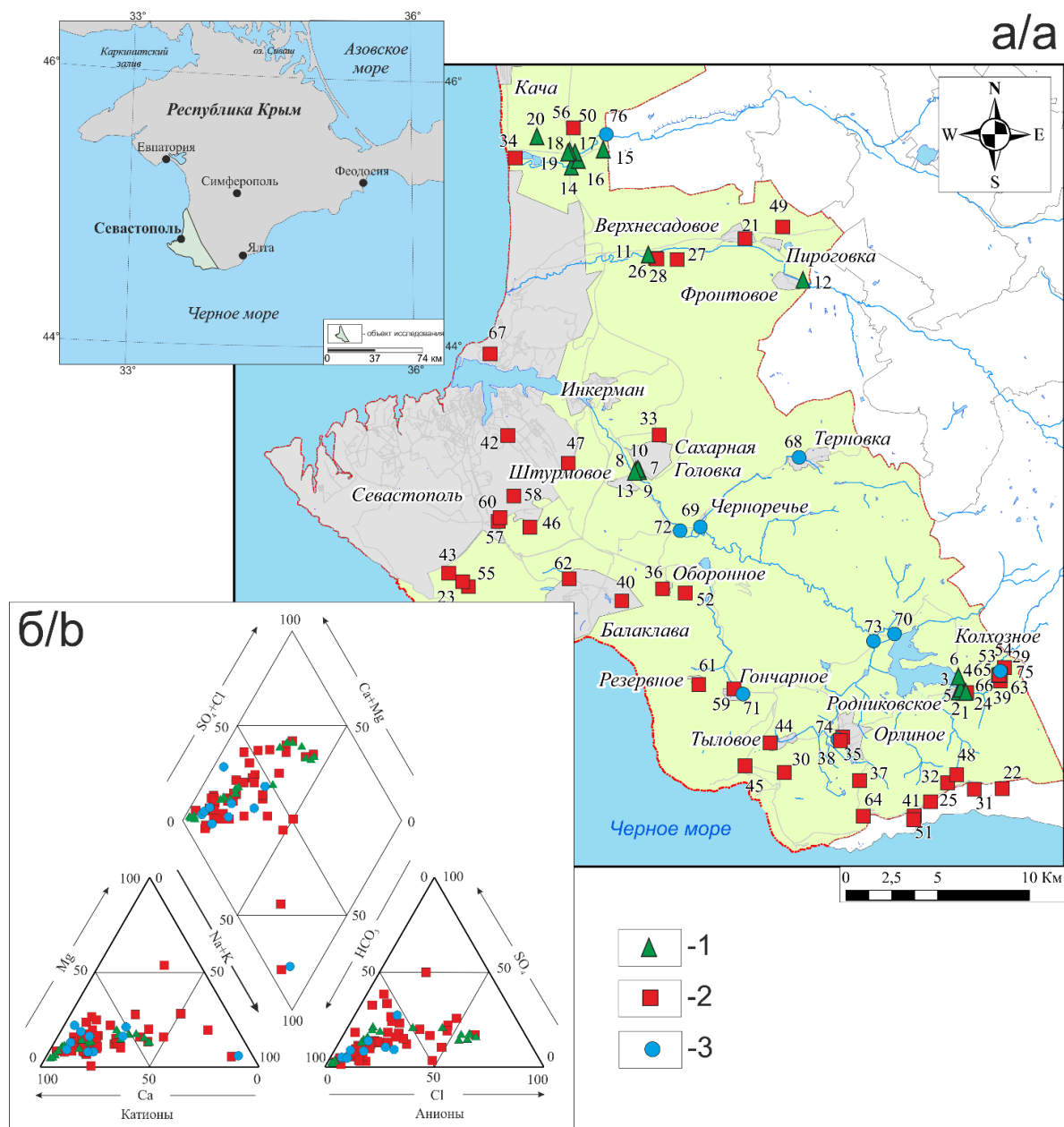


Рис. 1. Карта-схема изученных объектов (а): 1 – водозаборы (1–6 – Родниковский; 7–10, 13 – Инкерманский; 11, 12 – Бельбекский; 14–20 – Орловский); 2 – родники, колодцы (номера 21–67); 3 – поверхностные воды (номера 68–76) и диаграмма Пайпера природных вод СГА (б)

Fig. 1. Schematic map of sampling (a) and Piper diagram of the studied waters (b). Objects: 1 – water intakes (1–6 – Rodnikovskiy; 7–10, 13 – Inkerman; 11, 12 – Belbekskey; 14–20 – Orlovskiy); 2 – springs, wells (numbers 21–67); 3 – surface waters (numbers 68–76)

Воды Инкерманского водозабора гидрокарбонатного кальциевого состава с величиной общей минерализацией, варьирующей от 485 до 624 мг/дм³, и содержанием кремния 3,88–5,78 мг/дм³ относятся к четвертичному аллювиальному водоносному комплексу.

Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh от +131,3 до +168,2 мВ, нейтральному рН (7,3–7,5) и O₂раств. 2,96–5,82 мг/дм³. Балансовые запасы подземных вод относятся к категории А и равны 27,3 тыс. м³/сут.

Вторая группа (родники, колодцы и неглубокие скважины) является наиболее разнообразной по химическому составу. Установлено 13 химических типов от

сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридного кальциево-магниевого до хлоридного кальциево-натриевого, при доминировании гидрокарбонатного кальциевого типа (рис. 1, б). Величина общей минерализации и содержание кремния в них варьирует в больших пределах – от 253 до 2083 мг/дм³ и 1,51–14,02 мг/дм³, соответственно. Наиболее минерализованные воды (более 1 г/дм³) установлены в колодце храма Воскресения Христова (№ 64), в селе Колхозное (№ 54, 63, 65, 66) и в роднике на ул. Громова (Северная сторона г. Севастополь) (№ 67). Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh от +5,8 до +209,3 мВ, нейтральным и слабощелочным рН (7,0–8,3) и O₂раств. 2,22–15,87 мг/дм³.

Таблица 1. Химический состав природных вод СГА и содержание в них элементов первого класса опасности

Table 1. Chemical composition of natural waters of the Sevastopol urban agglomeration (SUA) and the content of the first hazard elements class in them

№	Год Year	Объект Object	pH	мг/дм ³ /mg/l										мкг/дм ³ /µg/l				
				M	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	As	Hg	U	Be	Tl		
Бельбекский водозабор/Belbeksky water intakes																		
12	2020	Скв. (well) № 3	7,7	604	332	58	31	110	13	27	4	0,200	0,013	1,140	0,05	0,003		
11	2020	Скв. (well) № 10	7,7	805	334	114	117	116	24	81	4	0,242	0,019	1,216	н.п.	0,01		
Инкерманский водозабор/Inkerman water intakes																		
7	2019	Скв. (well) № 5	7,7	485	278	45	23	99	8	18	2	0,180	0,031	0,690	н.п.	н.п.		
13	2019	Скв. (well) № 6	7,8	624	304	72	43	124	9	31	3	0,216	н.п.	0,809	0,019	н.п.		
10	2019	Скв. (well) № 15	7,7	604	316	73	32	118	9	30	2	0,447	0,026	1,136	н.п.	н.п.		
8	2019	Шахта (mine) № 2	7,7	516	307	43	24	100	12	17	2	0,148	0,005	0,661	0,02	0,003		
9	2020	Шахта (mine) № 5	7,7	576	305	77	30	108	12	26	3	0,485	н.п.	1,098	н.п.	н.п.		
Орловский водозабор/Orlovsky water intakes																		
17	2019	Скв. (well) № 3	7,5	1128	281	123	345	155	34	157	2	0,590	0,017	1,324	н.п.	н.п.		
17	2020	Скв. (well) № 3	7,7	1122	262	139	344	156	29	163	2	0,461	н.п.	1,344	н.п.	0,016		
16	2020	Скв. (well) № 5	7,6	1122	293	138	313	190	31	115	2	0,511	н.п.	1,863	н.п.	0,012		
18	2020	Скв. (well) № 7	7,8	1149	264	148	352	156	29	173	2	0,461	н.п.	1,522	н.п.	0,022		
14	2020	Скв. (well) № 9	7,5	947	266	96	266	160	31	89	2	0,509	0,001	1,506	н.п.	0,004		
19	2019	Скв. (well) № 10	7,6	1162	273	146	354	170	40	144	2	0,415	н.п.	1,448	н.п.	0,0006		
19	2020	Скв. (well) № 10	7,7	1144	273	138	344	156	31	166	3	0,701	0,020	1,590	н.п.	0,009		
15	2020	Скв. (well) 55–61	7,4	1099	336	154	235	180	40	93	2	0,472	0,028	1,743	н.п.	0,007		
20	2020	Скв. (well) № 55–74	7,7	1213	256	142	397	165	31	187	2	0,647	0,003	1,468	н.п.	н.п.		
Родниковский водозабор/Rodnikovsky water intakes																		
1	2018	Скв. (well) № 5531	7,9	359	262	6	3	83	3	2	0	0,136	н.п.	0,130	н.п.	0,0005		
4	2018	Скв. (well) № 5566	7,9	430	311	9	5	90	8	6	1	0,362	н.п.	0,335	0,016	0,003		
4	2019	Скв. (well) № 5566	7,6	411	293	8	8	86	9	5	0	0,336	0,008	0,187	н.п.	0,0002		
2	2018	Скв. (well) № 5595	7,3	407	293	10	5	91	4	4	0	0,022	н.п.	0,281	0,016	0,004		
2	2019	Скв. (well) № 5595	7,5	412	295	9	6	88	7	5	0	0,228	0,019	0,252	н.п.	0,001		
5	2018	Скв. (well) № 5760	8,1	476	348	7	5	107	5	4	1	0,180	0,019	0,156	н.п.	0,003		
3	2018	Скв. (well) № 5775	8,2	422	303	10	5	93	6	5	1	0,200	н.п.	0,312	н.п.	0,003		
6	2018	Скв. (well) № 5776	8,2	606	441	10	5	139	5	5	1	0,190	н.п.	0,301	н.п.	0,002		
Водохранилище, родник/reservoir, spring																		
70	2018	Чернореченское водохранилище Chernorechenskoe reservoir	8,0	207	135	15	6	43	4	3	1	0,486	0,020	0,178	н.п.	0,009		
70	2019	Чернореченское водохранилище Chernorechenskoe reservoir	8,2	217	151	7	6	44	4	4	1	0,484	0,042	0,189	н.п.	0,0004		
37	2018	родник Деспита Despit spring	8,0	683	470	28	19	133	18	14	1	0,078	н.п.	0,473	0,02	0,004		
37	2019		7,6	608	404	28	23	107	23	16	1	0,114	0,029	0,375	н.п.	0,002		
37	2020		7,9	630	405	38	29	104	27	19	1	0,342	н.п.	0,410	н.п.	0,0005		

н.п. – ниже предела обнаружения, № – номер на рис. 1, M – величина общей минерализации.

н.п. – below the detection limit, № – number in Fig. 1, M – total dissolved solids.

Среди поверхностных (третья группа) широко распространены гидрокарбонатные кальциевые воды, меньшим распространением пользуются гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые и гидрокарбонатные натриевые типы. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh от +95,5 до +177,0 мВ, слабощелочным и щелочным pH (7,9–8,9) и O₂раств. 5,02–12,55 мг/дм³.

Остановимся подробнее на распределении наиболее токсичных химических элементов в природных водах (рис. 2).

В водах первой группы (водозаборы) концентрации Be (мкг/дм³) изменяются от 0,005 до 0,02; As – от 0,14 до 0,70; Hg – от 0,001 до 0,031; Tl – от 0,005 до 0,023 и U – от 0,13 до 1,86. Фоновые концентрации этих элементов имеют следующее распределение (мкг/дм³): U (1,116)>As (0,302)>Be (0,019)>Hg (0,018)>Tl (0,004) (рис. 3). Ни по одному из элементов первого класса опасности нет значений выше ПДК. Практически во всех скважинах Орловского водозабора установлены превышения фоновых значений урана, мышьяка и таллия (1,3–1,9; 0,5–0,7 и 0,02–0,07 мкг/дм³

соответственно); в скважинах № 10 и 55–61 отмечаются превышения фона по ртути (0,02 и 0,03 мкг/дм³ соответственно). В водах скважины № 10 Бельбекского водозабора установлены превышения фоновых значений таллия (0,01 мкг/дм³), урана (1,2 мкг/дм³) и ртути (0,02 мкг/дм³), в скважине № 3 – урана (1,1 мкг/дм³) и бериллия (0,05 мкг/дм³).

Воды шахты № 5 Инкерманского водозабора характеризуются повышенными значениями мышьяка (0,5 мкг/дм³) и таллия (0,006 мкг/дм³); скважины № 15 – мышьяка (0,05 мкг/дм³) и ртути (0,003 мкг/дм³); в шахте № 2 и скважине № 6 установлены превышения фоновых значений бериллия (0,020 и 0,019 мкг/дм³, соответственно), в скважине № 5 – ртути (0,03 мкг/дм³). В водах Родниковского водозабора установлены превышения фоновых концентраций мышьяка в скважине № 5566 (0,4 мкг/дм³) и ртути в скважинах № 5760 и 5595 (0,020 и 0,019 мкг/дм³, соответственно). Среди тяжелых металлов фоновые содержания уменьшаются от железа к висмуту (мкг/дм³): Fe (118,531)>Zn (17,677)>Cr (1,7)>Cu (0,89)>Mn (0,511)>V (0,5)>Ni (0,237)>Mo (0,214)>Co

(0,055)>Pb (0,027)>Cd (0,006)>Bi (0,002). Превышения ПДК по железу выявлены в скважине № 5 Орлов-

ского водозабора (0,43 мг/дм³) и скважине № 5775 Родниковского водозабора (0,42 мг/дм³) (рис. 4).

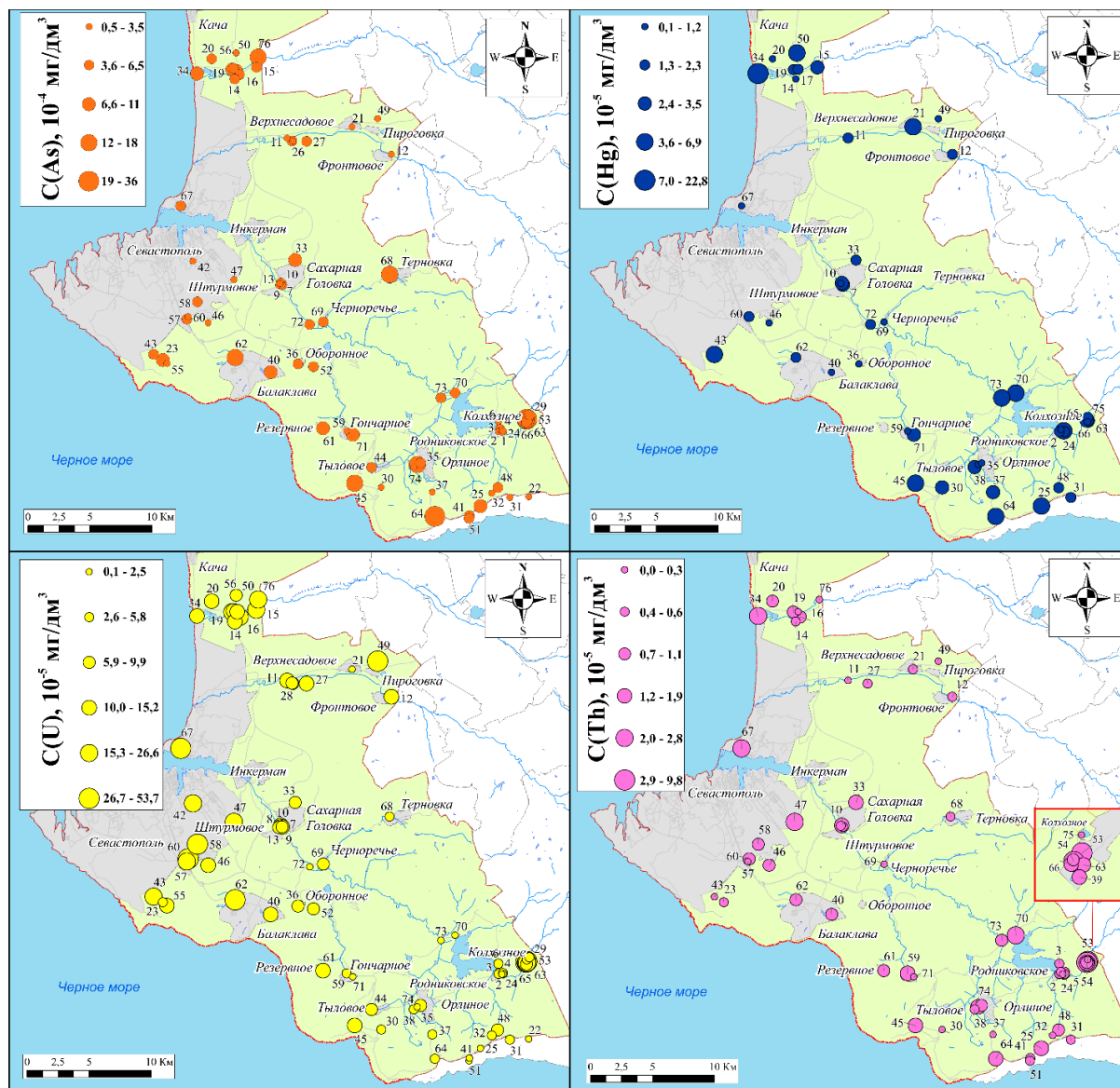


Рис. 2. Распределение мышьяка, ртути, урана и тория в природных водах СГА

Fig. 2. Distribution of the concentrations of arsenic, mercury, uranium and thorium in natural waters of SUA

В эксплуатируемых водозаборах концентрации тория изменяются от 0,0004 до 0,015 мкг/дм³, составляя в среднем 0,005 мкг/дм³. Наибольшие его содержания установлены на Орловском и Инкерманском водозаборах (рис. 2).

В водах второй группы (родники, колодцы и неглубокие скважины) содержания элементов первого класса опасности значительно выше (мкг/дм³): Вe от 0,003 до 0,16; As – от 0,05 до 3,61; Hg – от 0,001 до 0,23; Tl – от 0,0005 до 0,48 и U – от 0,014 до 5,37. Их фоновые концентрации снижаются в ряду от урана к таллию (мкг/дм³): U (0,948)>As (0,435)>Hg (0,027)>Be (0,018)>Tl (0,006). Установлено превышение ПДК по таллию в скважине в с. Колхозное (0,48 мкг/дм³). Содержания урана в водах выше фоновых установлены непосредственно на Гераклейском полуострове (родники на ул.

Громова, Сарандинакской балке, Максимовой даче), в селах Колхозное и Пироговка (от 0,003 до 0,005 мг/дм³). Значительные концентрации мышьяка выявлены в водах Гераклейского полуострова, водопунктов села Колхозное и практически всей юго-западной окраины СГА (0,001–0,004 мг/дм³). Повышенные содержания ртути выявлены в ряде родников юго-западной окраины СГА, а также в колодцах с. Колхозное (от 3·10⁻⁵ до 2·10⁻⁴ мг/дм³). Превышение фоновых содержаний таллия установлены в водах Гераклейского полуострова и водопунктах села Колхозное (от 1,7·10⁻⁵ до 4,8·10⁻⁴ мг/дм³). Наибольшие концентрации бериллия выявлены в водах села Колхозное, источников Странный, Деспита, Николаевского, а также в колодце Кую-Алан (от 1,8·10⁻⁵ до 1,6·10⁻⁴ мг/дм³). Стоит отметить, что высокие концентрации практически всех элементов первого класса опасности установлены в

водах колодца храма Воскресения Христова. В целом содержания тория в водах второй группы достигают 0,1 мкг/дм³ в колодце и скважине, расположенных в с. Колхозное. Его повышенные содержания также можно отметить в родниках на ул. Громова (№ 67), садового товарищества «Родничок» (№ 47) и скважине села Орловка (№ 34).

В водах родников и колодцев фоновые содержания тяжелых металлов имеют схожее распределение и уменьшаются от железа к висмуту (мкг/дм³): Fe(137,103)>Zn(9,865)>Cr(1,793)>Mn(0,903)>Cu(0,679)>Ni(0,603)>V(0,482)>Mo(0,221)>Co(0,102)>Pb(0,056)>Cd(0,008)>Bi(0,003).

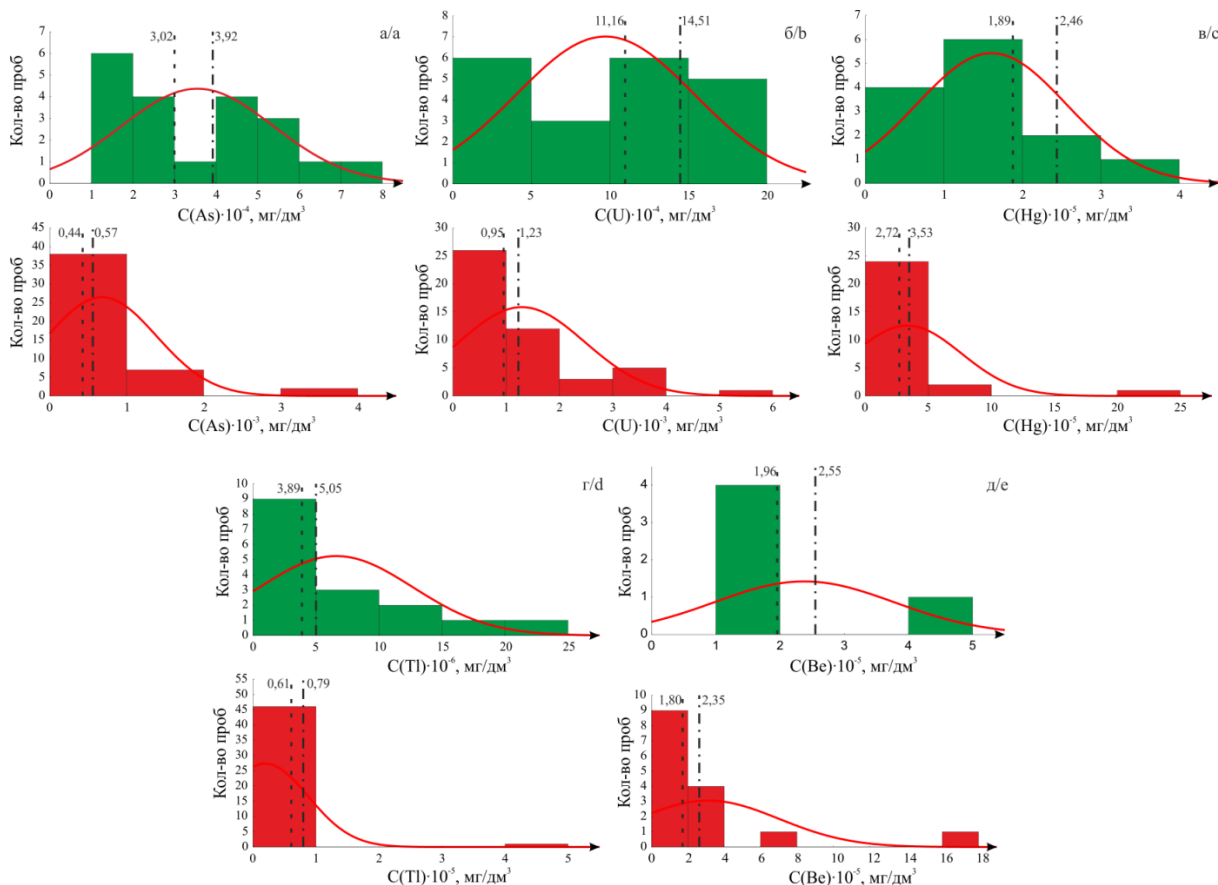


Рис. 3. Гистограммы распределения концентраций As (а), U (б), Hg (в), Tl (г) и Be (д) в водах водозаборов (зеленый цвет), родников и колодцев (красный цвет) СГА. Штриховая линия – значения гидрогеохимического поля, пунктирная – гидрогеохимической аномалии

Fig. 3. Histograms of the concentrations distribution for (a) As, (b) U, (c) Hg, (d) Tl, and Be (e) in waters of the SUA water intakes (green) and springs and wells (red). The dashed line is the value of the hydrogeochemical background; the dotted line is the hydrogeochemical anomaly

Превышающие ПДК концентрации Fe установлены в водах с. Колхозное (1,1–2,1 мг/дм³), а также родников Деспита, Странный, Чертова лестница, колодцев с. Санаторное и возле Храма Воскресения Христова (0,3–0,77 мг/дм³) (табл. 2). Превышения ПДК по марганцу установлены в объектах села Колхозное: скважины № 2 (0,57 г/дм³), колодца для питья (0,11 мг/дм³); родников Кильсе-Буруном (0,14 г/дм³), Чертова лестница (0,12 мг/дм³) и колодца в с. Санаторное (0,30 мг/дм³). Наибольшие содержания кобальта (0,31 мг/дм³) выявлены в водах колодца для питья с. Колхозное; никеля (0,041 мг/дм³) – в роднике «Святого Предтечи» с. Оборонное и таллия (0,0004 мг/дм³) – скв. № 1 с. Колхозное.

В химическом составе поверхностных вод СГА (третья группа) практически не обнаружено Be, содержания остальных элементов первого класса опасности в целом ниже, чем у второй группы, и не превышают

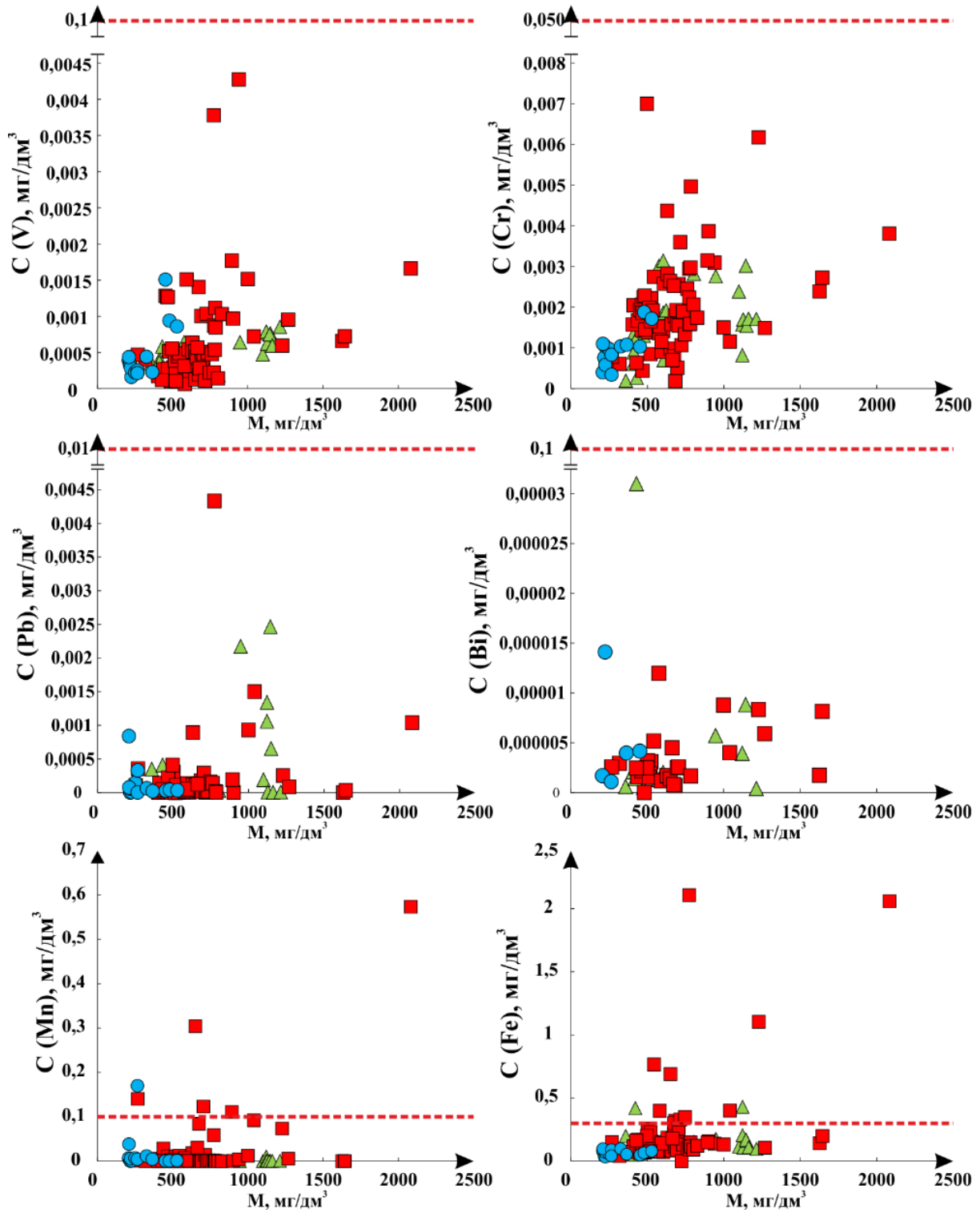
ПДК (мкг/дм³): As – от 0,48 до 1,81; Hg – от 0,009 до 0,042; Tl – от 0,002 до 0,009 и U – от 0,16 до 1,59.

Таблица 2. Изученные объекты с превышением предельно допустимых концентраций

Table 2. Objects with excess of threshold limit value (TLV)

Элемент Element	Действующий ПДК в России Current TLV in Russia	Единицы измерения Units	Номер водопункта Water point number
Mn	0,1	мг/дм ³ mg/l	25, 41, 48, 54, 66, 73
Fe	0,3		3, 16, 34, 37, 41, 44, 48, 51, 53, 54, 64, 65
Co	0,1		66
Ni	0,02		52
Tl	0,0001		65

Номер водопункта в таблице совпадает с номером на рис. 1.
 The number of the water point in the table coincides with the number in Fig. 1.



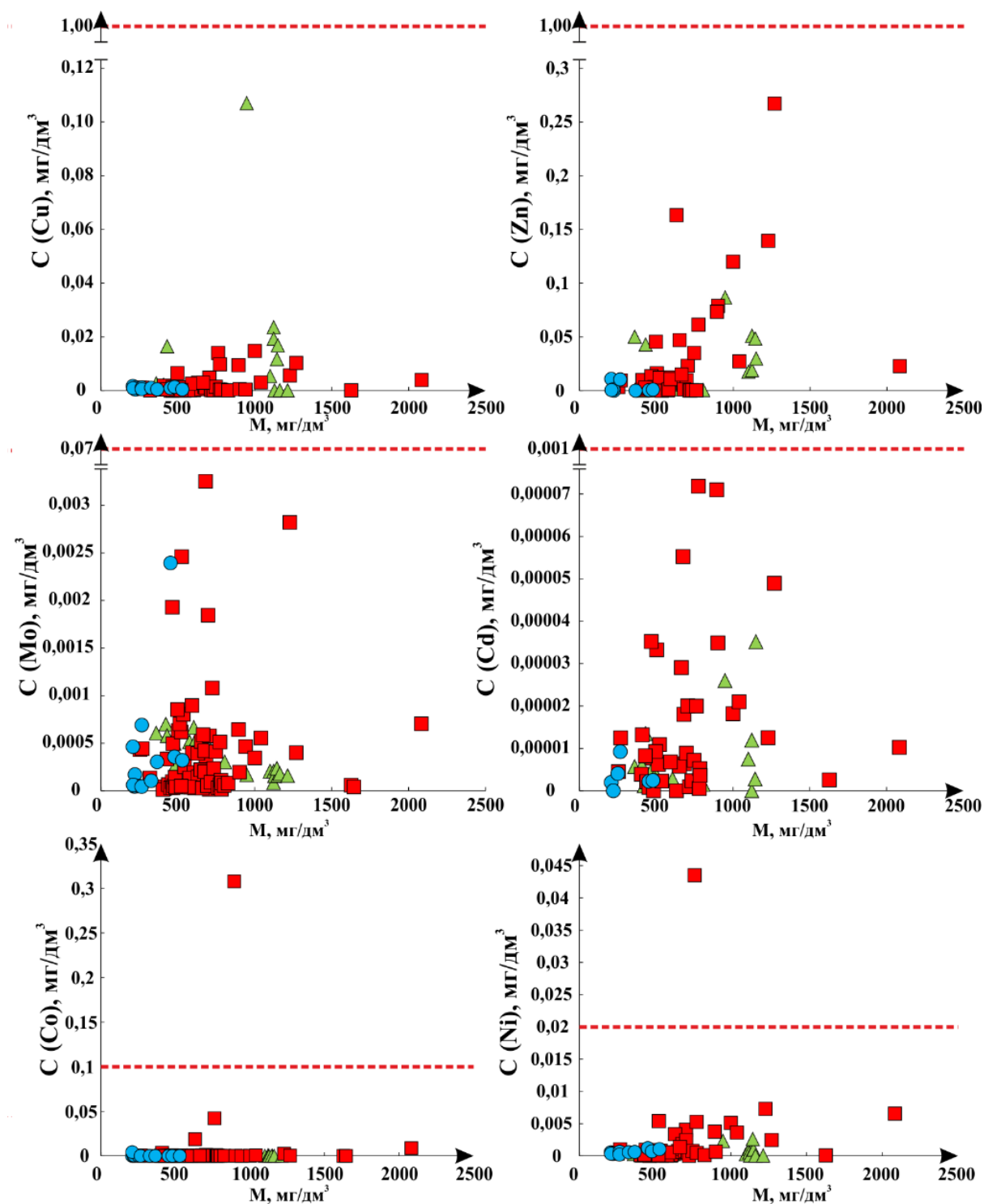


Рис. 4. Зависимость содержаний тяжелых металлов от величины общей минерализации природных вод СГА. Красная пунктирная линия – значения предельно допустимых концентраций по [32]. Условные обозначения см. на рис. 1

Fig. 4. Dependence of the heavy metals concentration on the value of the total mineralization. Red dotted line – threshold limit value values by [32]. See the legend in Fig. 1

Засуха последних трех лет (за исключением 2021 г.) стала следствием роста концентраций практически всех микрокомпонентов с 2018 по 2020 гг. [36–41]. В 2020 г. в водах Чернореченского водохранилища установлены повышенные содержания ртути и таллия (0,042 и 0,009 мкг/дм³, соответственно); мышьяка – в реках Кача и Ай-Тодорка, оз. Конюшня в с. Орлиное. Также в р. Кача установлено повышенное содержание урана. Среди поверхностных вод наибольшие содержания тория также выявлены в 2020 г. в водах Чернореченского водохранилища (0,025 мкг/дм³), озера Конюшня в селе Орлиное (0,014 мкг/дм³) и р. Черной (0,011 мкг/дм³), при средних значениях, изменяющихся от 0,0002 до 0,0036 мкг/дм³.

В поверхностных водах СГА некоторые фоновые содержания тяжелых металлов отличаются на порядок от ранее описанных групп и уменьшаются от железа к кадмию (мкг/дм³): Fe(66,4)>Mn(4,7)>Cr(1,03)>Cu(0,92)>Zn(0,83)>Ni(0,55)>V(0,33)>Mo(0,17)>Co(0,047)>Pb(0,042)>Bi(0,004)>Cd(0,002). Превышения предельно допустимых концентраций марганца установлены только в реке Черная (0,17 мг/дм³), что требует дополнительных исследований.

Выводы

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Впервые для природных вод территории Севастопольской городской агломерации установлены характеристики гидрогеохимического фона. По изученному спектру химических элементов практически все рассмотренные воды Севастопольской городской агломерации не имеют критических концентраций токсичных элементов.

Среди первой группы выявлены повышенные значения урана в водах Орловского водозабора изменяющиеся в интервале 1,32–1,86 мкг/дм³. Воды второй группы (родники, колодцы и неглубокие скважины) отличаются более высокими содержаниями элемен-

тов первого класса опасности (мкг/дм³): Be – от 0,003 до 0,16; As – от 0,05 до 3,61; Hg – от 0,001 до 0,23; Tl – от 0,0005 до 0,48 и U – от 0,014 до 5,37. Установлено превышение предельно допустимых концентраций по таллию в скважине в с. Колхозное (0,48 мкг/дм³). Ряд водопунктов села Колхозное имеет также превышение ПДК по тяжелым металлам, высокие и повышенные содержания элементов 1 класса опасности.

2. В пределах СГА под действием природных и антропогенных факторов сформировалось сложно построенное гидрогеохимическое поле. Их роль в обогащении вод наиболее токсичными химическими элементами требует продолжения мониторинговых исследований, начатых в 2018 г. К настоящему времени наибольшие концентрации урана установлены непосредственно на Гераклеяском полуострове (родники на ул. Громова, Сарандинакской балке, Максимовой даче), в селах Колхозное и Пироговка. Максимальные значения мышьяка выявлены в водах колодцев села Колхозное; ртути – в скважине села Орловка. Высокие концентрации практически всех элементов первого класса опасности установлены в водах колодца храма Воскресения Христова.

3. Засуха последних трех лет стала основной причиной роста концентраций практически всех микрокомпонентов с 2018 по 2020 гг. В 2020 г. повышенные содержания ртути и таллия установлены в водах Чернореченского водохранилища (0,042 и 0,009 мкг/дм³, соответственно); мышьяка – в реках Кача и Ай-Тодорка, озера Конюшня в с. Орлиное. Также в р. Кача установлены повышенные концентрации урана.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проектов Министерства науки и высшего образования РФ №№ FWZZ-2022-0014 и FSWW-0022-2020.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abd Byty A.W., Gharbi M.A., Assaf A.H. Estimation of the concentration of some heavy metals in groundwater in Rutba City // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – V. 904 (1). – 012009.
2. Abojassim A.A., Neama H.H. Radiological and chemical risk assessment from uranium concentrations in groundwater samples collected from Al-Kufa area, Iraq // Water Science and Technology: Water Supply. – 2020. – V. 20 (8). – P. 3194–3206.
3. Determination of heavy metals in groundwater around Al-Buraihi sewage station in Taiz City, Yemen / R.Q. Alansi, A.M.A. Mohammed, M.M. Ali, W.A.M. Ghalib, S.C. Ponnappa // Journal of Health and Pollution. – 2021. – V. 11 (30). – P. 1–12.
4. Arsenic in groundwater of the Kolkata Municipal Corporation (KMC), India: critical review and modes of mitigation / D. Chakraborti, B. Das, M.M. Rahman, B. Nayak, A. Pal, M.K. Sengupta, S. Ahamed, Md.A. Hossain, U.K. Chowdhury, B. Kumar Biswas, K.C. Saha, R.N. Dutta // Chemosphere. – 2017. – V. 180. – P. 437–447.
5. Evaluation of groundwater quality and health risks from contamination in the north edge of the Loess Plateau, Yulin City, Northwest China / H. Su, W. Kang, Y. Xu, J. Wang // Environmental Earth Sciences. – 2017. – V. 76. – P. 467–488.
6. Fang H., Lin Z., Fu X. Spatial variation, water quality, and health risk assessment of trace elements in groundwater in Beijing and

- Shijiazhuang, North China Plain // Environmental Science and Pollution Research – 2021. – V. 28 (40). – P. 57046–57059.
7. High uranium concentrations in the groundwater of the Rio de Janeiro State, Brazil, mountainous region / J.M. Godoy, P.R. Ferreira, E.M. de Souza, L.I. da Silva, I.C.S. Bittencourt, F. Fraifeld // Journal of the Brazilian Chemical Society. – 2019. – V. 30 (2). – P. 224–233.
8. Groundwater beneath the urban area of Khan Younis City, southern Gaza Strip (Palestine): assessment for multi-domestic purposes / M.S. Abu Jabal, I. Abustan, M.R. Rozaimy, H. El Najjar // Arabian Journal of Geosciences. – 2017. – V. 10. – P. 257–272.
9. Hydrochemical characteristics and the impact of anthropogenic activity on groundwater quality in suburban area of Urmia city, Iran / M. Chitsazan, N. Aghazadeh, Y. Mirzaee, Y. Golestan // Environment, Development and Sustainability. – 2017. – V. 21. – № 1. – P. 1–21.
10. Hydrogeochemical and isotopic signature of surface and groundwater in a highly industrialized sector of the Rio de la Plata coastal plain (Argentina) / L. Santucci, E. Carol, G. Borzi, M.G. García // Marine Pollution Bulletin. – 2017. – V. 120. – P. 387–395.
11. Ibrahim S.A., Al-Tawash B.S., Abed M.F. Environmental assessment of heavy metals in surface and groundwater at Samarra City, Central Iraq // Iraqi Journal of Science. – 2018. – V. 59 (3). – P. 1277–1284.
12. Arsenic speciation and uranium concentrations in drinking water supply wells in Northern Greece: Correlations with redox

- indicative parameters and implications for groundwater treatment / I.A. Katsoyiannis, S.J. Hug, A. Ammann, A. Zikoudi, C. Hatziliontos // *Science of the Total Environment*. – 2007. – V. 383 (1–3). – P. 128–140.
13. Dominant geochemical reactions and hazardous metal contamination status in the Kabul's aquifers, Afghanistan / A. Mahaqi, M. Mehiqi, M. Rahimzadeh, J. Hosseinzadeh, M.M. Moheghi, M.A. Mohegy // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2021. – V. 18 (12). – P. 4043–4052.
14. Mobilization and health risk assessment of fertilizer induced uranium in coastal groundwater / M. Mathivanan, C. Sabarathinam, P. Mohan Viswanathan, V. Senapathi, D. Nadesan, G.G. Indrani, G. Malaimegu, S.S. Kumar // *Environmental Research* – 2022. – V. 203. – 111791.
15. Rapid decadal evolution in the groundwater arsenic content of Kolkata, India and its correlation with the practices of her dwellers / A. Malakar, S. Islam, Md.A. Ali, S. Ray // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2016. – V. 188. – P. 584–595.
16. Ratnalu G.V., Dhakate R. Human health hazard evaluation with reference to chromium (Cr+3 and Cr+6) in groundwater of Bengaluru Metropolitan City, South India // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2021. – V. 14 (23). – 2472.
17. Risk assessment of heavy metals in drinking water on the human health, Assiut City, and its environs, Egypt / E.M. Seleem, A. Mostafa, M. Mokhtar, S.A. Salman // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2021. – V. 14 (6). – 427.
18. Selvakumar S., Chandrasekar N., Kumar G. Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of Coimbatore, India // *Water Resources and Industry*. – 2017. – V. 17. – P. 26–33.
19. Spatial analysis and health risk assessment of heavy metals concentration in drinking water resources / R.A. Fallahzadeh, M.T. Ghaneian, M. Miri, M.M. Dashti // *Environmental Science and Pollution Research* – 2017. – V. 24. – P. 24790–24802.
20. A critical review on the occurrence and distribution of the uranium- and thorium-decay nuclides and their effect on the quality of groundwater / A. Vengosh, R.M. Coyte, J. Podgorski, T.M. Johnson // *Science of the Total Environment*. – 2022. – V. 808. – 151914.
21. Wilson D.C. Potential urban runoff impacts and contaminant distributions in shoreline and reservoir environments of Lake Havasu, southwestern United States // *Science of the Total Environment*. – 2018. – V. 621. – P. 95–107.
22. Peter A.L.J., Viraraghavan T. Thallium: a review of public health and environmental concerns // *Environment International*. – 2005. – V. 31 (4). – P. 493–501.
23. Kemper F.H., Bertram H.P. Thallium. Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis, and biological relevance. – New York: Weinheim, 1991. – P. 1227–1241.
24. Вернадский В.И. Труды по радиогелиологии. – М.: Наука, 1997. – 319 с.
25. Роль системы «вода–порода» в процессах формирования состава природных вод Севастопольской городской агломерации / А.А. Хвощевская, Д.А. Новиков, Ю.Г. Копылова, И.В. Сметанина, А.В. Черных, Ф.Ф. Дульцев // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2021. – Т. 332. – № 1. – С. 118–128.
26. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Новый взгляд на гидрогеологические условия города федерального значения Севастополь // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2019. – Т. 330. – № 8. – С. 105–122.
27. 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. 2. – № 4. – С. 52–57.
28. Первые данные о распределении урана и тория в природных водах Байдарской долины (Крымский полуостров) / Д.А. Новиков, Т.В. Корнеева, Ю.Г. Копылова, А.В. Черных, Ф.Ф. Дульцев, А.А. Хвощевская // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2021. – Т. 29. – № 4. – С. 461–471.
29. Distribution of the stable isotopes ($\delta^{18}O$, δD and $\delta^{13}C$) 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.
30. 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*. – 2021. – Т. 62. – № 12. – С. 1705–1726.
31. 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.
32. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М., 2021. – 975 с.
33. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. – М.: Стандартинформ, 2010. – 18 с.
34. 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 26 июня 2021 года). – М., 2021. – 65 с.
35. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. – Geneva: World Health Organization, 2017. – 631 p.
36. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории города Севастополя в 2018 году. – Севастополь, 2019. – 311 с.
37. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории города Севастополя в 2019 году. – Севастополь, 2020. – 333 с.
38. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории города Севастополя в 2020 году. – Севастополь, 2021. – 316 с.
39. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2018 году. – Симферополь, 2019. – 422 с.
40. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2019 году. – Симферополь, 2020. – 360 с.
41. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2020 году. – Симферополь, 2021. – 404 с.

Поступила 17.01.2022 г.

Информация об авторах

Новиков Д.А., кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа и кафедры общей и региональной геологии Новосибирского национального исследовательского государственного университета.

Черных А.В., научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; младший научный сотрудник Новосибирского национального исследовательского университета.

Хвациевская А.А., кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующая проблемной научно-исследовательской лабораторией гидрогеохимии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, доцент Отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Максимова А.А., младший научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; ассистент кафедры минералогии и геохимии Новосибирского национального исследовательского университета.

Деркачев А.С., инженер лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; студент, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет.

Дульцев Ф.Ф., научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; научный сотрудник Новосибирского национального исследовательского университета.

Ничкова Л.А., кандидат технических наук, заведующая кафедрой техносферной безопасности, Севастопольский государственный университет.

Сигора Г.А., кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, Севастопольский государственный университет.

Хоменко Т.Ю., ассистент кафедры техносферной безопасности, Севастопольский государственный университет.

Яхин Т.А., начальник отдела насосных станций Государственного унитарного предприятия города Севастополя «Водоканал».

UDC 628.1.032-026.86(292.471)

TOXIC ELEMENTS IN NATURAL WATERS OF THE SEVASTOPOL URBAN AGGLOMERATION: DISTRIBUTION, BACKGROUND, ANOMALIES

Dmitry A. Novikov^{1,2},
NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Anatoliy V. Chernykh^{1,2},
ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Albina A. Khvachshevskaya³,
unpc_voda@mail.ru

Anastasia A. Maksimova^{1,2},
rock.nastaya64@gmail.com

Anton S. Derkachev^{1,2},
a.derkachev@g.nsu.ru

Fedor F. Dultsev^{1,2},
DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Larisa A. Nichkova⁴,
nichkova@sevsu.ru

Galina A. Sigora⁴,
sigora1@yandex.ru

Tamara Yu. Khomenko⁴,
homenko21.07@mail.ru

Timur A. Yakhin⁵,
timalife@mail.ru

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
3, Koptuyug avenue, Novosibirsk, 630090, Russia.

² Novosibirsk State University,
1, Pirogov street, Novosibirsk, 630090, Russia.

³ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

⁴ Sevastopol State University,
33, Universitetskaya street, Sevastopol, 299053, Russia.

⁵ State Unitary Enterprise of the city of Sevastopol «Vodokanal»,
4, Adm. Oktyabrsky street, Sevastopol, 299011, Russia.

The relevance. Prior to the present study on the natural waters of the Sevastopol urban agglomeration, there was no relevant information on the distribution of a wide range of highly toxic elements.

The aim of the research is to establish the characteristics of the hydrogeochemical background and study the distribution of highly toxic chemical elements in the drinking water supply of the population of the Sevastopol urban agglomeration based on current information about their chemical composition obtained by modern methods of analysis.

Methods. Laboratory study of the chemical composition by titrimetry, ion chromatography, inductively coupled plasma mass spectrometry was carried out at the Problem Research Laboratory of Hydrogeochemistry of the TPU School of Natural Resources. The assessment of the toxicological characteristics of waters was carried out using the current regulatory documents: SanPiN 1.2.3685-21, GOST R 51232-98, SanPiN 2.1.3684-21, and the recommendations of the World Health Organization.

Results. The hydrogeochemical background of the distribution of highly toxic chemical elements in the natural water of the Sevastopol urban agglomeration are established. The concentration of highly toxic elements (V, Cr, Cu, Zn, Mo, Cd, Pb and Bi) does not exceed the threshold limit value. Several objects are characterized by exceeding the threshold limit value for Fe, Mn, Co, Ni and Tl. The waters of the Kolkhoznoe village have the most unfavorable characteristics. Almost throughout the entire territory of the Kheracleian Peninsula, high concentrations of uranium and arsenic were established. The droughts of 2018–2020 had a huge impact on the deterioration of the quality characteristics of natural waters, which led to the increase in the concentrations of almost all microcomponents not only in surface waters, but also in groundwater (including wells and springs). Identification of the role of natural and anthropogenic factors in formation of the hydrogeochemical field of exploited aquifers on the territory of the Sevastopol urban agglomeration requires the continuation of monitoring.

Key words:

Natural waters, highly toxic elements, radionuclides, drinking water supply of the population, Sevastopol urban agglomeration, Crimea Peninsula.

The research was financially supported by projects no. FWZZ-2022-0014 and FSWW-0022-2020 of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation.

REFERENCES

1. Abd Byty A.W., Gharbi M.A., Assaf A.H. Estimation of the Concentration of some heavy metals in groundwater in Rutba City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 904 (1), 012009.
2. Abojassim A.A., Neama H.H. Radiological and chemical risk assessment from uranium concentrations in groundwater samples collected from Al-Kufa area, Iraq. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2020, vol. 20 (8), pp. 3194–3206.
3. Alansi R.Q., Mohammed A.M.A., Ali M.M., Ghalib W.A.M., Ponnappa S.C. Determination of Heavy Metals in Groundwater Around Al-Buraihi Sewage Station in Taiz City, Yemen. *Journal of Health and Pollution*, 2021, vol. 11 (30), pp. 1–12.

4. Chakraborti D., Das B., Rahman M.M., Nayak B., Pal A., Sengupta M.K., Ahamed S., Hossain Md.A., Chowdhury U.K., Kumar Biswas B., Saha K.C., Dutta R.N. Arsenic in groundwater of the Kolkata Municipal Corporation (KMC), India: critical review and modes of mitigation. *Chemosphere*, 2017, vol. 180, pp. 437–447.
5. Su H., Kang W., Xu Y., Wang J. Evaluation of groundwater quality and health risks from contamination in the north edge of the Loess Plateau, Yulin City, Northwest China. *Environmental Earth Sciences*, 2017, vol. 76, pp. 467–488.
6. Fang H., Lin Z., Fu X. Spatial variation, water quality, and health risk assessment of trace elements in groundwater in Beijing and Shijiazhuang, North China Plain. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, vol. 28 (40), pp. 57046–57059.
7. Godoy J.M., Ferreira P.R., de Souza E.M., da Silva L.I., Bittencourt I.C.S., Fraifeld F. High uranium concentrations in the groundwater of the Rio de Janeiro State, Brazil, mountainous region. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2019, vol. 30 (2), pp. 224–233.
8. Abu Jabal M.S., Abustan I., Rozaimy M.R., El Najar H. Groundwater beneath the urban area of Khan Younis City, southern Gaza Strip (Palestine): assessment for multi-domestic purposes. *Arabian Journal of Geosciences*, 2017, vol. 10, pp. 257–272.
9. Chitsazan M., Aghazadeh N., Mirzaee Y., Golestan Y. Hydrochemical characteristics and the impact of anthropogenic activity on groundwater quality in suburban area of Urmia city, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 2017, vol. 21, no. 1, pp. 1–21.
10. Santucci L., Carol E., Borzi G., García M.G. Hydrogeochemical and isotopic signature of surface and groundwater in a highly industrialized sector of the Rio de la Plata coastal plain (Argentina). *Marine Pollution Bulletin*, 2017, vol. 120, pp. 387–395.
11. Ibrahim S.A., Al-Tawash B.S., Abed M.F. Environmental assessment of heavy metals in surface and groundwater at Samarra City, Central Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 2018, vol. 59 (3), pp. 1277–1284.
12. Katsoyiannis I.A., Hug S.J., Ammann A., Zikoudi A., Hatziliontos C. Arsenic speciation and uranium concentrations in drinking water supply wells in Northern Greece: correlations with redox indicative parameters and implications for groundwater treatment. *Science of the Total Environment*, 2007, vol. 383 (1–3), pp. 128–140.
13. Mahaqi A., Mehiqi M., Rahimzadeh M., Hosseinzadeh J., Moheghi M.M., Moheghi M.A. Dominant geochemical reactions and hazardous metal contamination status in the Kabul's aquifers, Afghanistan. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2021, vol. 18 (12), pp. 4043–4052.
14. Mathivanan M., Sabarathinam C., Mohan Viswanathan P., Senapathi V., Nadesan D., Indrani G.G., Malamegu G., Kumar S.S. Mobilization and health risk assessment of fertilizer induced uranium in coastal groundwater. *Environmental Research*, 2022, vol. 203, 111791.
15. Malakar A., Islam S., Ali Md.A., Ray S. Rapid decadal evolution in the groundwater arsenic content of Kolkata, India and its correlation with the practices of her dwellers. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, vol. 188, pp. 584–595.
16. Ratnalu G.V., Dhakate R. Human health hazard evaluation with reference to chromium (Cr^{+3} and Cr^{+6}) in groundwater of Bengaluru Metropolitan City, South India. *Arabian Journal of Geosciences*, 2021, vol. 14 (23), 2472.
17. Seleem E.M., Mostafa A., Mokhtar M., Salman S.A. Risk assessment of heavy metals in drinking water on the human health, Assiut City, and its environs, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 2021, vol. 14 (6), 427.
18. Selvakumar S., Chandrasekar N., Kumar G. Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of Coimbatore, India. *Water Resources and Industry*, 2017, vol. 17, pp. 26–33.
19. Fallahzadeh R.A., Ghaneian M.T., Miri M., Dashti M.M. Spatial analysis and health risk assessment of heavy metals concentration in drinking water resources. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, pp. 24790–24802.
20. Vengosh A., Coyte R.M., Podgorski J., Johnson T.M. A critical review on the occurrence and distribution of the uranium- and thorium-decay nuclides and their effect on the quality of groundwater. *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 808, 151914.
21. Wilson D.C. Potential urban runoff impacts and contaminant distributions in shoreline and reservoir environments of Lake Havasu, southwestern United States. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 621, pp. 95–107.
22. Peter A.L.J., Viraraghavan T. Thallium: a review of public health and environmental concerns. *Environment International*, 2005, vol. 31 (4), pp. 493–501.
23. Kemper F.H., Bertram H.P. *Thallium. Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis, and biological relevance*. New York, Weinheim, 1991. pp. 1227–1241.
24. Vernadsky V.I. *Trudy po radiogeologii* [Proceedings on radiogeology]. Moscow, Nauka Publ., 1997. 319 p.
25. Khvashchevskaya A.A., Novikov D.A., Kopylova Y.G., Smetanina I.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F. The role of the «water–rock» system in formation of natural water composition of the Sevastopol city. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 1, pp. 118–128. In Rus.
26. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F. New look at hydrogeological conditions of the federal city of Sevastopol. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2019, vol. 330, no. 8, pp. 105–122. In Rus.
27. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F. Groundwater quality assessment of Upper Jurassic sediments in the southwestern districts of the Crimean Peninsula for drinking and agricultural water supply. *Ecology and Industry of Russia*, 2019, vol. 2, no. 4, pp. 52–57. In Rus.
28. Novikov D.A., Korneeva T.V., Kopylova Y.G., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Khvashchevskaya A.A. The first data on the distribution of uranium and thorium in the natural waters of the Baydar valley (the Crimean Peninsula). *Chemistry for Sustainable Development*, 2021, vol. 29, no. 4, pp. 461–471. In Rus.
29. Novikov D.A., Nichkova L.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Pyryaev A.N., Sigora G.A., Khomenko T.Yu. Distribution of the stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$, δD и $\delta^{13}\text{C}$) in natural waters of the Baydar valley (Crimean Peninsula). *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 98, 01038.
30. Novikov D.A., Kopylova Y.G., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Pyryaev A.N., Khvashchevskaya A.A., Nichkova L.A., Sigora G.A., Yahin T.A. New data on hydrogeochemical and isotopic composition of natural waters of the Baidar valley (Crimean Peninsula). *Russian Geology and Geophysics*, 2021, vol. 62, no. 12, pp. 1705–1726. In Rus.
31. Nichkova L.A., Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Sigora G.A., Khomenko T.Yu. Geochemistry of natural waters of the Baydar valley (Crimean Peninsula). *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 98, 01036.
32. SanPiN 1.2.3685-21 *Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya* [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans]. Moscow, 2021. 975 p.
33. GOST R 51232-98. *Voda pit'yevaya. Obshchie trebovaniya k organizatsii i metodam kontrolya kachestva* [Drinking water. General requirements for the organization and methods of quality control]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 18 p.
34. SanPiN 2.1.3684-21 *Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k soderzhaniyu territoriy gorodskikh i selskikh poseleniy, k vodnym obyektam, pit'yevoy vode i pit'yevomu vodosnabzheniyu, atmosfernomu vozdukh, pochvam, zhilym pomeshcheniyam, ekspluatatsii proizvodstvennykh, obshchestvennykh pomeshcheniy, organizatsii i provedeniyu sanitarno-protivoepidemicheskikh (profilakticheskikh) meropriyatiy (s izmeneniyami na 26 iyunya 2021 goda)* [Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of the territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and implementation of sanitary and anti-epidemic (preventive) events (as amended on June 26, 2021)]. Moscow, 2021. 65 p.
35. *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: World Health Organization, 2017. 631 p.
36. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy na territorii goroda Sevastopolya v 2018 godu* [Report on the state and protec-

- tion of the environment in the city of Sevastopol in 2018]. Sevastopol, 2019. 311 p.
37. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy na territorii goroda Sevastopolya v 2019 godu* [Report on the state and protection of the environment in the city of Sevastopol in 2019]. Sevastopol, 2020. 333 p.
38. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy na territorii goroda Sevastopolya v 2020 godu* [Report on the state and protection of the environment in the city of Sevastopol in 2020]. Sevastopol, 2021. 316 p.
39. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy na territorii Respubliki Krym v 2018 godu* [Report on the state and protection of the environment on the territory of the Republic of Crimea in 2018]. Simferopol, 2019. 422 p.
40. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy na territorii Respubliki Krym v 2019 godu* [Report on the state and protection of the environment on the territory of the Republic of Crimea in 2019]. Simferopol, 2020. – 360 p.
41. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy na territorii Respubliki Krym v 2020 godu* [Report on the state and protection of the environment on the territory of the Republic of Crimea in 2020]. Simferopol, 2021. 404 p.

Received: 17 January 2022.

Information about the authors

Dmitry A. Novikov, Cand. Sc., head of the laboratory, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; associate professor, Novosibirsk State University.

Anatoliy V. Chernykh, researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; junior researcher, Novosibirsk State University.

Albina A. Khvachevskaya, Cand. Sc., head of the scientific laboratory, National Research Tomsk Polytechnic University.

Anastasia A. Maksimova, junior researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; assistant, Novosibirsk State University.

Anton S. Derkachev, engineer, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; student, Novosibirsk State University.

Fedor F. Dultsev, researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; researcher, Novosibirsk State University.

Larisa A. Nichkova, Cand. Sc., head of the department, Sevastopol State University.

Galina A. Sigora, Cand. Sc., associate professor, Sevastopol State University.

Tamara Yu. Khomenko, assistant, Sevastopol State University.

Timur A. Yakhin, head of department, State Unitary Enterprise of the city of Sevastopol «Vodokanal».