

УДК 550.42

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-6-173-178

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ФТОРА В МИНЕРАЛЬНЫХ ВОДАХ ЕССЕНТУКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕЕ СВЯЗЬ С ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

Алла Витальевна Савенко¹✉, Виталий Савельевич Савенко²,
Алексей Анатольевич Маслов³

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; alla_savenko@rambler.ru ✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; vityal_savenko@rambler.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; maa20070@yandex.ru

Аннотация. Определено содержание фтора в водах четырех водоносных горизонтов Ессентукского месторождения минеральных вод: дат-зеландского, сеноман-маастрихтского, апт-нижнеальбского и титон-валанжинского. Показана возможность регулирования содержания фтора в добываемой минеральной воде путем изменения интенсивности эксплуатации скважин.

Ключевые слова: минеральные углекислые воды, регион Кавказские Минеральные Воды, Ессентуки, химический состав, фтор

Для цитирования: Савенко А.В., Савенко В.С., Маслов А.А. Изменчивость концентрации фтора в минеральных водах Ессентукского месторождения и ее связь с гидрогеологическими условиями // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 6. С. 173–178.

VARIABILITY OF FLUORINE CONCENTRATION IN THE ESSENTUKI MINERAL WATER FIELD AND ITS RELATIONSHIP WITH HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

Alla V. Savenko¹✉, Vitaly S. Savenko², Aleksey A. Maslov³

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; alla_savenko@rambler.ru ✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; vityal_savenko@rambler.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; maa20070@yandex.ru

Abstract. The fluorine content in the waters of four aquifers of the Essentuki mineral water field (Danish-Zelandian, Cenomanian-Maastrichtian, Aptian-Lower Albian, and Tithonian-Valanginian) was determined. The possibility of regulating the fluorine content in extracted mineral water by changing the intensity of well operation was shown.

Keywords: CO₂-rich mineral water, Caucasian Mineral Waters region, Essentuki, chemical composition, fluorine

For citation: Savenko A.V., Savenko V.S., Maslov A.A. Variability of fluorine concentration in the Essentuki mineral water field and its relationship with hydrogeological conditions. *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 6: 173–178. (In Russ.).

Введение. Фтор является физиологически активным элементом, оказывающим негативное влияние на здоровье человека как при низких, так и при высоких концентрациях в потребляемой воде, с которой поступает основное количество этого элемента. Поэтому концентрация фтора служит важной характеристикой вод питьевого назначения, в том числе минеральных (столовых и лечебных), в которых содержание фтора может сильно различаться не только для разных месторождений, но и для одного и того же источника в зависимости от интенсивности и продолжительности эксплуатации [Крайнов, Рыженко, 2003].

В минеральных водах Ессентукского месторождения, скважинная добыча которых началась в 1912–1914 гг., в течение последних 20 лет проводились несистематические измерения concentra-

ции фтора с частотой 1–2 раза в год, что ограничивает возможность достоверного определения временных флуктуаций их качества по данному компоненту. При этом сведения о диапазонах содержания фтора в бутилированной воде марок «Ессентуки-17» ($2,3 \pm 0,1$ мг/л), «Ессентуки-4» ($2,3 \pm 0,1$ мг/л) и «Ессентуки-2» ($2,0 \pm 0,1$ мг/л) [Евлипошева, Ноянова, 2013] свидетельствуют о превышении верхней границы санитарно-гигиенического оптимума, равной 1,5 мг F/л [Сан-ПиН..., 2002]. Цель настоящей работы состояла в определении концентрации фтора в водах разных водоносных горизонтов Ессентукского месторождения, а также оценке влияния на содержание фтора снижения дебита скважин, рекомендованного в случае необходимости восстановления качества минеральных вод.

Материалы и методы исследований. Характеристика объектов исследований. Ессентукское месторождение минеральных подземных вод площадью около 200 км² находится в центральной части курортного региона Кавказские Минеральные Воды в переходной зоне от северных склонов Большого Кавказа к Минераловодской равнине. В настоящее время добыча минеральных вод осуществляется в интервале глубин от 37 до 1470 м из четырех водоносных горизонтов с неоднородным литологическим составом вмещающих пород (табл. 1).

Таблица 1

Водоносные горизонты Ессентукского месторождения минеральных вод и их литологический состав [Fillimonova, et al., 2020; Байдарико и др., 2021]

Водоносный горизонт	Вмещающие породы
Палеогеновый дат-зеландский P ₁ d-sl	Мергели, песчаники, известняки
Верхнемеловой сеноман-маастрихтский K ₂ s-m	Известняки, мергели
Нижнемеловой апт-нижеальбский K ₁ a-al ₁	Терригенные песчано-глинистые отложения
Верхнеюрский-нижнемеловой титон-валан-жинский J ₃ tt-K ₁ v	Загипсованные глины, гранитная дресва, известняки, доломитизированные известняки

Для вод Ессентукского месторождения характерно наличие латеральной и вертикальной гидрохимической зональности, которая связана с разной удаленностью от областей инфильтрационного питания и увеличением глубин залегания водоносных горизонтов в северо-восточном направлении [Лаврушин, 2012; Лаврушин и др., 2020; Барановская и др., 2022]. При этом, как было установлено Е.Г. Потаповым с соавторами [2013], движущиеся с севера хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые минерализованные воды ессентукского типа за время циркуляции в пределах месторождения не претерпевают существенных изменений соотношения главных ионов, смешиваясь в различных пропорциях с пресными подземными водами южных областей питания и образуя в том числе воды наиболее востребованных марок «Ессентуки-17» и «Ессентуки-4».

Методы исследований. Исследование распределения фтора в минеральных водах Ессентукского месторождения состояло из двух этапов, направленных на изучение пространственной изменчивости его содержания, а также временных флуктуаций для отдельной скважины. Для решения первой задачи в сентябре 2020 г. были отобраны пробы воды из 20 действующих водозаборных скважин. Реализация второй задачи осуществлялась путем отбора проб воды через день с середины июня по начало октября того же года из скважины 24-бис-1, для которой в течение этого периода проводилось тестирование рекомендованного коллективом гидрогеологов

[Байдарико и др., 2021] оптимального режима эксплуатации.

Температуру и величину рН скважинных вод определяли в местах отбора проб для химических анализов до их контакта с атмосферой. Отфильтрованные через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм пробы воды хранили в герметично закрытых полипропиленовых пробирках объемом 50 мл.

В лабораторных условиях сначала определяли основной солевой состав минеральных вод: содержание главных катионов, хлоридов и сульфатов методом капиллярного электрофореза [Комарова, Каменцев, 2006] и щелочность $Alk \approx HCO_3^-$ объемным ацидиметрическим методом. Погрешность анализов, представляющая собой отношение разности эквивалентных концентраций главных анионов и катионов к их общему содержанию, не превышала 3,5%. Затем измеряли концентрацию фтора с помощью электрохимической цепи из фторидного ионоселективного электрода «Элит-221» и хлорсеребряного электрода сравнения в присутствии ацетатного солевого буфера [Савенко, 1986] двумя взаимодополняющими друг друга способами. Для опробования разных водозаборных скважин использовали метод добавок, для временного ряда — прямую потенциометрию с приготовлением калибровочных растворов с концентрацией фтора 0,2–2,0 мг/л и солевым фоном, соответствующим среднему составу вод скважины 24-бис-1. Погрешность определений была равной $\pm 3\%$.

Результаты исследований и их обсуждение.

В табл. 2 приведены результаты определений содержания фтора и макрокомпонентов в минеральных водах Ессентукского месторождения, а также их температуры и величины рН в сентябре 2020 г. Ионный состав и температурные условия во время отбора проб попадают в диапазон осредненных за многолетний период (2003–2017 и 2019–2020 гг.) значений [Filimonova, et al., 2020; Барановская и др., 2022; Baranovskaya, et al., 2023], что свидетельствует о репрезентативности исходного материала, использованного для измерений концентрации фтора.

Для всего массива данных по химическому составу и температуре исследованных минеральных вод Ессентукского месторождения были рассчитаны коэффициенты корреляции (табл. 3), которые показали наличие двух групп проб со значимыми положительными связями:

$$\begin{aligned} &Na^+ - Cl^- - HCO_3^- - M \ (r \geq 0,97) \\ &\text{и } SO_4^{2-} - K^+ - Mg^{2+} \ (r \geq 0,81), \end{aligned}$$

которые, по-видимому, отражают существование двух — главного и второстепенного — источников солевого состава ессентукских минеральных вод. При этом значимые корреляции между концентрацией фтора и другими исследованными параметрами отсутствуют.

Как следует из табл. 2, наилучшие показатели по содержанию фтора (0,6–1,6 мг/л) имеют воды дат-зеландского водоносного горизонта, которые

Таблица 2

Содержание фтора и компонентов основного солевого состава в минеральных водах Ессентукского месторождения, отобранных 7–9 сентября 2020 г. из действующих водозаборных скважин, и их текущие температура и величина рН

Номер скважины	Водоносный горизонт	Глубина, м	T, °C	pH	Минерализация М, г/л	Концентрации в растворе, мг/л							
						F	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca
57-РЭ-бис	Дат-зеландский	92	16,3	6,64	7,44	0,55	1235	5,7	3989	2139	3,3	54,2	16,2
24-бис-1		96	18,0	6,76	9,14	0,88	1783	69,9	4404	2825	2,0	28,0	26,6
41-бис		115	16,2	6,70	8,28	1,24	1580	4,6	4185	2433	6,9	54,1	16,4
34-бис		125	16,1	6,46	8,25	1,21	1676	2,2	3965	2532	10,6	48,9	17,9
17-бис		125	15,6	6,60	12,30	0,79	2712	7,0	5850	3637	3,1	74,0	13,4
418-бис		157	16,2	6,50	7,96	1,42	1539	2,2	3861	2473	11,0	55,1	21,3
56		191	16,1	6,40	8,21	1,44	1782	3,7	3898	2438	10,1	58,4	22,5
33-бис		212	17,2	6,36	8,00	1,60	1654	4,2	3849	2411	10,7	57,8	14,0
39-бис		266	16,9	6,65	8,62	1,12	1768	1,4	4209	2572	5,4	44,2	20,8
36-бис		301	16,1	6,65	11,95	1,27	2439	4,2	5832	3560	13,0	80,8	21,1
Среднее		–	16,5	6,57	9,02	1,15	1817	10,5	4404	2702	7,6	55,5	19,0
70	Сеноман-маастрихтский	212	19,7	8,47	0,61	1,61	12,8	45,7	378	162	1,2	1,6	7,8
1-Э		435	23,7	6,78	2,41	1,24	355	23,2	1293	696	7,1	16,8	14,7
2-Э		462	20,6	7,18	2,06	1,10	180	21,4	1257	575	6,1	12,3	13,3
46		686	35,6	6,69	9,33	2,19	1682	1,7	4715	2833	14,1	55,3	24,8
49-Э		865	30,2	6,64	7,94	3,22	1488	2,1	3977	2424	10,1	25,0	16,5
71		999	40,5	6,84	9,14	3,74	1926	0,9	4337	2822	8,3	30,2	17,0
Среднее		–	28,4	7,10	5,25	2,18	941	15,8	2660	1585	7,8	23,6	15,7
9	Апт-нижнеальбский	600	21,9	7,87	0,57	0,64	30,1	155	217	119	1,6	6,5	37,0
55		1222	36,4	8,61	0,66	0,56	36,5	127	299	189	2,2	1,2	8,8
Среднее		–	29,2	8,24	0,61	0,60	33,3	141	258	154	1,9	3,8	22,9
75-бис	Титон-валанжинский	974	20,2	6,34	3,11	0,09	560	788	805	675	38,3	185	58,1
1-КМВ-бис		1468	34,3	7,20	3,74	0,17	821	904	869	857	63,6	205	25,2
Среднее		–	27,3	6,77	3,43	0,13	691	846	837	766	51,0	195	41,7

Таблица 3

Корреляционные связи параметров химического состава и температуры минеральных вод Ессентукского месторождения, отобранных 7–9 сентября 2020 г. из действующих водозаборных скважин

Компонент	T	pH	M	Cl	F	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca
T	1										
pH	0,41	1									
M	–0,31	–0,76	1								
Cl	–0,31	–0,74	0,99	1							
F	0,39	–0,19	0,34	0,32	1						
SO ₄	0,25	0,08	–0,37	–0,33	–0,50	1					
HCO ₃	–0,33	–0,73	0,99	0,97	0,39	–0,49	1				
Na	–0,30	–0,74	1,00	0,99	0,38	–0,42	0,99	1			
K	0,25	–0,21	–0,06	–0,03	–0,26	0,88	–0,19	–0,12	1		
Mg	–0,04	–0,43	0,19	0,22	–0,37	0,81	0,06	0,12	0,91	1	
Ca	–0,06	–0,23	–0,11	–0,10	–0,36	0,64	–0,20	–0,15	0,47	0,57	1

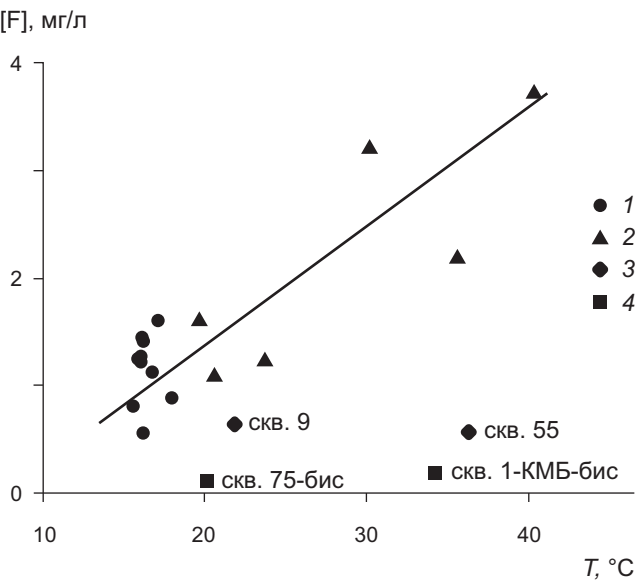


Рис. 1. Зависимость концентрации фтора в минеральных водах Ессентукского месторождения от их температуры. Водоносные горизонты: 1 — дат-зеландский, 2 — сеноман-маастрихтский, 3 — апт-нижнеальбский, 4 — титон-валанжинский

практически полностью соответствуют санитарно-гигиеническому оптимуму, составляющему 0,7–1,5 мг F/л [СанПиН..., 2002]. В сеноман-маастрихтском водоносном горизонте в область санитарно-гигиенического оптимума попадают только воды, отобранные из скважин с глубиной ≤462 м (1,1–1,6 мг/л), тогда как на глубинах 686–999 м концентрация фтора находится в диапазоне 2,2–3,7 мг/л, заметно превышая верхнюю границу оптимума для питьевой воды. Интересно, что для данного водоносного горизонта наблюдается не только связь концентрации фтора с глубиной отбора проб, но и ее положительная корреляция с температурой (рис. 1). Для других водоносных горизонтов связь концентрации фтора с температурой не прослеживается, поскольку воды дат-зеландского горизонта характеризуются практически одинаковыми значениями этого параметра, а воды апт-нижнеальбского

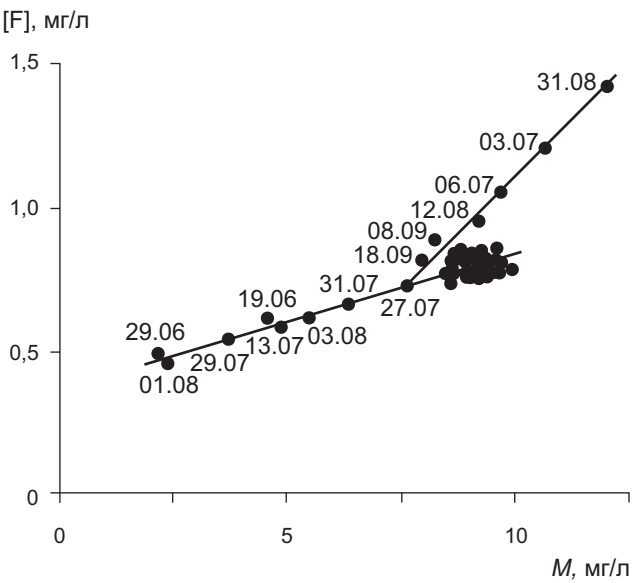


Рис. 2. Зависимость концентрации фтора в минеральных водах из скважины 24-бис-1 от минерализации. В подписях к точкам указаны даты флуктуаций химического состава вод

и титон-валанжинского горизонтов представлены двумя пробами для каждого.

Одна из задач настоящей работы заключалась в выяснении зависимости концентрации фтора от интенсивности эксплуатации скважин. Ранее было установлено, что водоотбор в объеме 12 м³/сут из скважины 24-бис-1 привел к изменению химического состава воды и его несоответствию изначальному типу «Ессентуки-17», тогда как снижение дебита до 6 м³/сут позволило восстановить прежние кондиции добываемой воды [Байдарики и др., 2021].

Проводившийся в течение 3,5 месяцев мониторинг химического состава воды из скважины 24-бис-1 показал (табл. 4), что при непрерывном отборе в объеме 6 м³/сут содержание фтора стабилизировалось и находится на уровне 0,80 ± 0,03 мг/л, соответствуя санитарно-гигиеническому оптимуму для вод

Таблица 4

Динамика содержания фтора и компонентов основного солевого состава в минеральных водах из скважины 24-бис-1 при установлении оптимального режима ее эксплуатации с непрерывным водоотбором в объеме 6 м³/сут

Дата отбора	Минерализация М, г/л	Концентрации в растворе, мг/л									Дата отбора	Минерализация М, г/л	Концентрации в растворе, мг/л								
		F	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca	F			Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca		
16.06.2020	8,62	0,81	1440	53,0	4484	2587	2,5	26,7	31,1	24.06.2020	9,06	0,76	1683	53,1	4532	2731	3,1	27,8	25,1		
17.06.2020	9,36	0,82	1923	70,4	4514	2789	2,6	27,9	29,1	25.06.2020	8,92	0,76	1677	58,0	4490	2637	2,9	26,1	25,4		
18.06.2020	4,57	0,62	912	32,7	2233	1366	1,4	12,2	14,9	26.06.2020	8,58	0,75	1453	56,4	4416	2601	2,9	25,1	23,6		
19.06.2020*	4,59	0,61	822	41,0	2300	1402	1,4	12,6	15,8	27.06.2020	8,52	0,78	1544	78,8	4276	2568	2,9	24,2	23,7		
20.06.2020	8,95	0,76	1537	41,5	4606	2713	3,0	27,0	26,8	28.06.2020	9,06	0,76	1719	58,7	4490	2741	3,1	26,6	25,7		
21.06.2020	8,68	0,78	1441	51,0	4538	2599	2,9	25,9	25,4	29.06.2020*	2,21	0,49	407	27,1	1068	688	0,8	5,9	17,2		
22.06.2020	8,50	0,77	1471	59,5	4435	2481	2,6	24,0	23,1	30.06.2020	8,60	0,75	1497	70,5	4337	2600	2,4	27,9	61,8		
23.06.2020	8,93	0,76	1657	51,4	4545	2616	2,9	25,4	29,2	01.07.2020	8,63	0,78	1672	82,7	4252	2535	2,5	26,3	59,1		

Дата отбора	Минерализация М, г/л	Концентрации в растворе, мг/л								Дата отбора	Минерализация М, г/л	Концентрации в растворе, мг/л							
		F	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca			F	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca
02.07.2020	8,93	0,77	1641	55,4	4526	2621	2,4	26,8	59,5	22.08.2020	9,26	0,82	1696	61,9	4557	2859	2,8	28,7	57,9
03.07.2020*	10,68	1,21	2280	66,8	4837	3443	3,9	30,8	16,5	23.08.2020	9,07	0,82	1662	61,9	4484	2783	2,7	27,6	53,3
04.07.2020	9,00	0,79	1675	58,6	4532	2649	2,6	26,5	60,5	24.08.2020	8,98	0,82	1699	69,1	4477	2653	2,7	26,0	50,9
05.07.2020	9,03	0,81	1658	58,5	4545	2677	2,5	26,5	63,4	25.08.2020	9,27	0,83	1795	72,0	4429	2882	2,8	29,9	59,5
06.07.2020*	9,71	1,06	1892	53,7	4728	2985	3,6	26,2	18,1	26.08.2020	9,64	0,80	1876	56,1	4630	2990	3,0	30,3	56,3
07.07.2020	9,51	0,78	1877	48,7	4667	2821	3,2	28,7	65,7	27.08.2020	9,46	0,82	1867	55,5	4606	2843	2,7	28,0	54,7
08.07.2020	8,94	0,81	1755	71,4	4465	2561	2,7	24,0	62,0	28.08.2020	9,79	0,81	1916	55,3	4648	3077	3,1	30,4	58,8
09.07.2020	9,07	0,82	1705	69,1	4459	2743	3,1	26,8	60,1	29.08.2020	9,26	0,82	1745	61,7	4484	2878	2,8	27,9	56,1
10.07.2020	8,99	0,82	1689	68,1	4453	2688	3,1	25,7	59,8	30.08.2020	8,98	0,82	1728	65,2	4484	2623	2,6	24,4	49,4
11.07.2020	8,63	0,73	1714	49,3	4215	2596	2,9	26,8	29,9	31.08.2020*	12,06	1,42	2578	68,9	5777	3585	4,0	38,5	12,4
12.07.2020	9,13	0,82	1726	67,0	4477	2767	3,2	29,6	58,1	01.09.2020	9,93	0,79	2061	49,5	4789	2943	3,2	28,0	57,3
13.07.2020*	4,87	0,59	938	37,4	2349	1514	1,6	15,0	13,9	02.09.2020	8,73	0,83	1669	96,2	4258	2617	2,9	26,4	60,1
14.07.2020	9,37	0,82	1868	58,0	4575	2775	3,1	29,7	57,3	03.09.2020	9,50	0,80	1909	61,4	4612	2827	3,1	27,9	62,7
16.07.2020	9,43	0,83	1893	58,0	4557	2829	3,2	29,8	57,4	04.09.2020	8,90	0,86	1812	82,9	4258	2707	2,9	23,7	13,5
17.07.2020	9,24	0,83	1830	58,8	4569	2696	3,0	28,8	57,4	05.09.2020	9,38	0,84	1985	62,7	4453	2835	3,1	23,6	13,7
19.07.2020	9,39	0,81	1866	56,1	4654	2725	3,0	29,3	56,5	06.09.2020	8,69	0,85	1757	94,4	4160	2643	2,9	21,7	13,9
20.07.2020	8,82	0,84	1648	76,4	4374	2641	3,0	27,2	54,6	07.09.2020	8,75	0,83	1652	75,0	4307	2676	2,9	23,0	15,2
21.07.2020	9,21	0,75	1771	57,3	4490	2844	3,2	29,3	19,3	08.09.2020*	8,26	0,89	1527	104,7	4044	2544	2,7	20,7	12,2
22.07.2020	8,97	0,84	1776	71,5	4392	2689	3,0	27,2	15,3	09.09.2020	9,59	0,86	1963	64,6	4465	3052	3,4	28,7	15,6
23.07.2020	9,33	0,80	1798	44,5	4728	2713	3,0	26,1	14,9	10.09.2020	8,96	0,84	1734	66,4	4362	2764	3,0	22,2	13,

питьевого назначения (0,7–1,5 мг F/л [СанПиН..., 2002]). Однако случавшиеся в ходе мониторинга нарушения заданного постоянного режима дебита приводили к флуктуациям химического состава вод, направленным либо в сторону их распреснения, либо осолонения, и закономерным изменениям концентрации фтора (рис. 2).

Заключение. В минеральных водах Ессентукского месторождения содержание фтора существенно различается для разных водоносных горизонтов. Санитарно-гигиеническому оптимуму (0,7–1,5 мг/л) соответствуют только воды дат-зеландского и верхней части (≤ 462 м) сеноман-маастрихтского водоносных горизонтов (0,6–1,6 и 1,1–1,6 мг/л), тогда как воды нижней части сеноман-маастрихтского водоносно-

го горизонта имеют более высокие (2,2–3,7 мг/л), а воды апт-нижнеальбского и титон-валанжинского водоносных горизонтов — более низкие ($\sim 0,6$ и $0,1\text{--}0,2$ мг/л) концентрации фтора.

Содержание фтора в добываемой минеральной воде можно регулировать путем изменения интенсивности эксплуатации скважин. В частности, эксплуатация скважины 24-бис-1 при постоянном дебите $6\text{ м}^3/\text{сут}$ позволяет добиться стабильной концентрации фтора на уровне $0,80 \pm 0,03$ мг/л при соответствии основного солевого состава характеристикам марки «Ессентуки-17».

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00088, <https://rscf.ru/project/24-17-00088/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Байдарико Е.А., Поздняков С.П., Сартыков А.С. и др. Результаты работ по переоценке запасов Ессентукского месторождения // Геология и недропользование. 2021. № 4. С. 130–151.

Барановская Е.И., Харитонов Н.А., Филимонова Е.А. и др. Новые данные о химическом и изотопном (Н, О, С, S, N) составе минеральных вод Ессентукского месторождения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 5. С. 120–136.

Евлипошева Е.В., Ноянова Е.В. Ионный состав бутилированных минеральных вод Кавказского региона: экологический мониторинг // Вода: химия и экология. 2013. № 11. С. 93–97.

Комарова Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ». СПб.: Веда, 2006. 212 с.

Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н. Влияние эксплуатации месторождений подземных вод на изменение в них концентрации фтора // Водные ресурсы. 2003. Т. 30, № 5. С. 531–540.

Лаврушин В.Ю. Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления. Труды Геологического института. Вып. 599. М.: ГЕОС, 2012. 348 с.

Лаврушин В.Ю., Лисенков А.Б., Айдаркожина А.С. Генезис Ессентукского месторождения углекислых вод (Северный Кавказ) // Геохимия. 2020. Т. 65, № 1. С. 77–91.

Потапов Е.Г., Данилов С.Р., Гаджиханова С.У. Результаты экспериментальных исследований процессов формирования минеральных вод Ессентукского месторождения // Разведка и охрана недр. 2013. № 2. С. 41–45.

Савенко В.С. Введение в ионометрию природных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 77 с.

СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав РФ, 2002.

Baranovskaya E.I., Kharitonova N.A., Chelnokov G.A., et al. Chemical and isotopic features of a high $p\text{CO}_2$ natural mineral water from Essentuki field (Caucasian Mineral Water region, Russia) // Water. 2023. Vol. 15, No. 5. P. 901.

Filimonova E., Lavrushin V., Kharitonova N., et al. Hydrogeology and hydrogeochemistry of mineral sparkling groundwater within Essentuki area (Caucasian mineral water region) // Environ. Earth Sci. 2020. Vol. 79. P. 15.

Статья поступила в редакцию 01.07.2024,
одобрена после рецензирования 30.10.2024,
принята к публикации 25.01.2025