

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.42

СОДЕРЖАНИЕ ФТОРА В ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

А.В. Савенко¹, В.С. Савенко², И.С. Иванова³

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

³ *Югорский государственный университет*

¹ *Геологический факультет, кафедра геохимии, вед. науч. сотр.,
д-р геол.-минерал. наук; e-mail: alla_savenko@rambler.ru*

² *Географический факультет, кафедра гидрологии суши, вед. науч. сотр.,
д-р геол.-минерал. наук, профессор; e-mail: alla_savenko@rambler.ru*

³ *Лаборатория экосистемно-атмосферных связей лесоболотных комплексов,
ст. науч. сотр., канд. геол.-минерал. наук; e-mail: ivanovais_1986@mail.ru*

Представлены результаты определений содержания фтора и компонентов основного солевого состава в поверхностных и подземных водах Ямало-Ненецкого автономного округа, отобранных в сентябре 2021 г. Речные воды содержат 0,022–0,094 мг/л фтора при наименьших концентрациях для малых рек и наибольших – для крупных рек: Надыма (0,046 мг/л) и Оби (0,094 мг/л). В используемых для водоснабжения артезианских подземных водах концентрации фтора в целом выше и находятся в пределах 0,056–0,269 мг/л. Как в речных, так и в подземных водах региона содержание фтора намного ниже санитарно-гигиенического оптимума, составляющего 0,7–1,5 мг/л.

Ключевые слова: речные воды, водозаборные скважины, растворенная форма, прямая потенциометрия

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.13

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в зависимости от уровня концентраций фтор может оказывать как благоприятное, так и негативное влияние на развитие живых организмов – от микроорганизмов и растений до животных и человека [Weinstein, Davison, 2004; Агалакова, Гусев, 2011; Иорданишвили, 2019]. Физиологическая активность фтора в организмах человека и высших животных связана с ингибированием многих ферментативных процессов, тогда как костная ткань, содержащая 99% фтора, выступает в роли регулятора концентрации фторидов в плазме крови и опосредованно в других органах [Агалакова, Гусев, 2011; Горностаева, Фукс, 2017; Жукова и др., 2017]. Недостаток и избыток фтора в организме человека относительно оптимума приводит к возникновению двух групп заболеваний, названных соответственно гипо- и гиперфторозами [Авцын и др., 1991]. Поскольку вода служит основным источником усвояемого человеком фтора, его содержание в поверхностных и подземных водах питьевого назначения представляет собой важную эколого-гигиеническую характеристику территорий.

С гигиенической точки зрения распространенность фтора в водных объектах России и других стран изучена достаточно хорошо [Габович, Минх, 1979; Янин, 2007; Edmunds, Smedley, 2013; Ali et al., 2016; Fuge, 2019], в том числе на территории зоны многолетней мерзлоты [Сазонов, 2000; Федорова, Павлова, 2022]. Исключение составляют районы Крайнего Севера с небольшой плотностью населения. При этом основной массив данных систематических наблюдений был получен до начала 1980-х гг. и имеющиеся сведения могут в той или иной степени отличаться от современных показателей. Наибольших различий можно ожидать в Арктике в связи с происходящими глобальными изменениями климата. Данное обстоятельство побудило нас провести настоящую работу, цель которой состояла в определении современного содержания фтора в поверхностных и подземных водах Ямало-Ненецкого автономного округа – типичной территории Российской Арктики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследованный регион расположен в пределах молодой эпигерцинской Западно-Сибирской пли-

ты, в которой нижний структурно-тектонический ярус, образующий кристаллический фундамент, сложен палеозойскими отложениями, а верхний ярус – платформенный чехол – представлен рыхлой толщей осадочных пород мезо-кайнозойского возраста. Большая часть территории относится к средне- и верхнечетвертичным равнинам морского, ледникового и ледниково-морского происхождения со среднесуглинистыми осадками, которые сменяются песчаными и супесчаными озерно-аллювиальными и аллювиальными отложениями того же возрастного интервала. Почвы в основном торфяные олиготрофные с включением мощных органогенных горизонтов.

Пробы подземных вод из водозаборных скважин, а также поверхностных речных и озерных вод были отобраны в сентябре 2021 г. в полипропиленовые флаконы после фильтрации через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Расположение мест отбора проб показано на рисунке, гидрологические и гидрогеологические характеристики приведены в табл. 1 и 2. В фильтрате определяли концентрацию фтора методом прямой потенциометрии с фторидным ионоселективным электродом «Элит-221» и хлорсеребряным электродом сравнения в присутствии ацетатного солевого буфера [Савенко, 1986], а также основной солевой состав: содержание главных катионов, хлоридов и сульфатов методом капиллярного электрофореза [Комарова, Каменцев, 2006] и щелочность $\text{Alk} \approx \text{HCO}_3^-$ объемным

ацидиметрическим методом. Погрешность измерений не превышала $\pm 3\%$. Предел обнаружения фтора составил 0,02 мг/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определений содержания фтора и компонентов основного солевого состава в поверхностных и подземных водах Ямало-Ненецкого автономного округа представлены в табл. 3. Для всех малых рек и двух небольших озер характерно крайне низкое содержание фтора: 0,021–0,033 мг/л, что более чем на порядок величины меньше оптимального диапазона концентраций для вод питьевого назначения (0,7–1,5 мг/л [СанПиН..., 2002]). Более высокие, но тоже недостаточные концентрации фтора обнаружены в водах крупных рек – Надыма (0,046 мг/л) и Оби (0,094 мг/л), причем данные по Оби хорошо согласуются со средним содержанием фтора в период летне-осенней межени 2018 и 2020 гг. в замыкающем створе у г. Салехарда и пресноводной части Обской губы, равным 0,095 мг/л [Савенко и др., 2023]. Отмеченные различия содержания фтора в зависимости от крупности рек, по-видимому, связаны с увеличением интенсивности его мобилизации на больших водосборах, выходящих за пределы арктической зоны и захватывающих обширные территории с более мягким климатом.

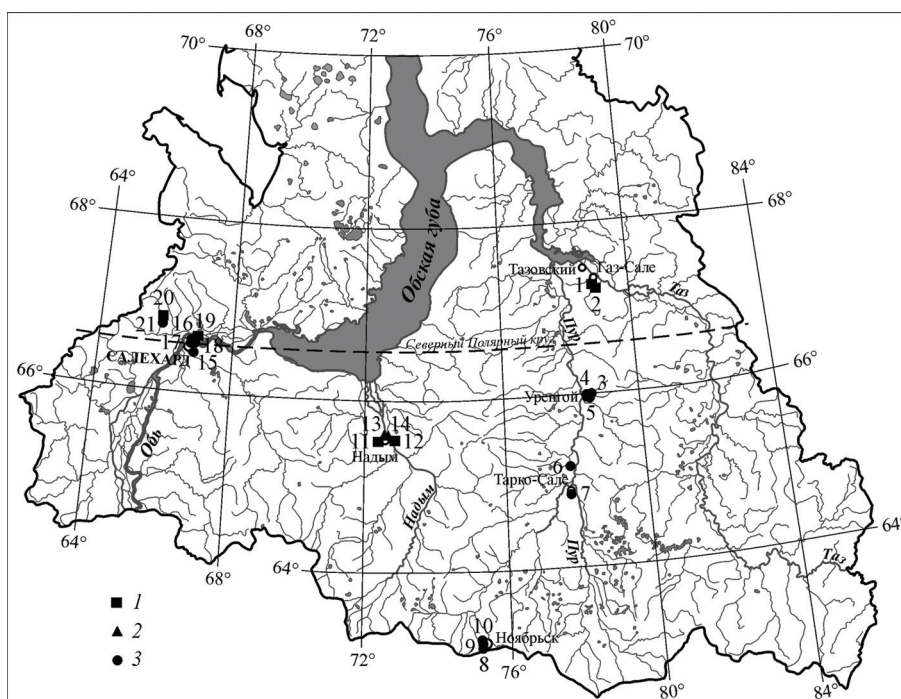


Рис. Расположение точек отбора проб речных (1), озерных (2) и подземных (3) вод Ямало-Ненецкого автономного округа

Fig. Location of sampling points for river (1), lake (2), and ground (3) waters in the Yamalo-Nenets Autonomous region

Таблица 1

Характеристика обследованных поверхностных вод Ямало-Ненецкого автономного округа

Номер точки	Объект	Глубина отбора, м	Длина реки, км	Район, водосбор
1	Р. Нуныяха	0,3	126	Тазовский район, водосбор р. Таз
2	Р. Самботаяха	0,3	72	То же
11	Р. Якойяха	0,3	21	Надымский район, водосбор р. Надым
12	Р. Надым	0,3	545	Надымский район
13	Озеро среди бугров пучения, глубина 50–60 см	0,1	–	То же
14	То же, глубина 40–50 см	0,1	–	– « –
19	Р. Обь	0,3	3650	Приуральский район
20	Р. Сось	0,3	185	То же, водосбор р. Обь

Таблица 2

Характеристика обследованных подземных вод питьевого назначения Ямало-Ненецкого автономного округа

Номер точки (скважины)	Местоположение	Глубина отбора, м	Месторождение, водоносный горизонт
<i>Западно-Сибирский сложный артезианский бассейн, Тазовско-Пурский артезианский бассейн</i>			
3 (1)	Пос. Уренгой	110	Куртамышский горизонт
4 (3)	Там же	100	То же
5 (4)	– « –	100	– « –
6 (б/н)	С. Сывдарма	120	– « –
7 (3)	Г. Тарко-Сале	180	Тарасовское месторождение, водоносный комплекс атлымской и новомихайловской свит среднего олигоцена
8 (3)	Г. Ноябрьск	101	Атлым-новомихайловский горизонт
9 (6)	Там же	107	Куртамышский горизонт
10 (54)	– « –	128	Новомихайловский горизонт
15 (48рэ)	Г. Салехард	50	Полуйское месторождение, криогенно-таликовый четвертичный горизонт
16 (1э)	Там же	41	Салехардское месторождение, казанцевский береговой горизонт
17 (18э)	– « –	80	То же, ямальский горизонт
18 (33рэ)	– « –	23	То же, тыловой горизонт
<i>Уральская сложная гидрогеологическая складчатая область, Тагило-Магнитороская гидрогеологическая складчатая область</i>			
21 (6)	Пос. Харп	30	Харпское месторождение, аллювиальный горизонт

Таблица 3
Содержание фтора, величина рН, минерализация *M* и основной солевой состав поверхностных и подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа

Номер точки	Объект	pH	F	M	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃
			мг/л								
Поверхностные воды											
1	Р. Нуныяха	6,82	0,033	38,2	2,24	0,42	1,97	4,92	0,66	1,18	26,8
2	Р. Самботаяха	3,80	0,032	30,6	1,49	0,32	1,54	3,80	0,46	1,04	22,0
11	Р. Якойяха	6,53	0,033	33,9	2,63	0,39	1,64	3,63	0,45	0,73	24,4
12	Р. Надым	7,29	0,021	14,4	0,86	0,29	0,66	1,90	0,62	0,29	9,76
13	Малое озеро 1	5,14	0,024	7,3	0,54	0,22	0,27	0,91	0,73	0,27	4,39
14	Малое озеро 2	4,78	0,046	35,1	2,15	0,63	1,91	3,65	0,30	0,80	25,6
19	Р. Обь	7,81	0,094	128	7,33	0,86	5,22	18,3	2,70	5,82	87,8
20	Р. Собы	7,58	0,022	92,8	0,95	0,32	4,77	16,5	0,34	8,87	61,0
Подземные воды											
3	Пос. Уренгой, скв. 1	6,63	0,249	135	26,3	1,46	3,84	5,83	14,1	2,85	80,5
4	Там же, скв. 3	7,42	0,269	362	91,8	3,22	7,55	8,07	92,5	1,35	157
5	Там же, скв. 4	7,29	0,206	218	57,9	1,60	3,94	4,61	56,7	2,29	91,5
6	С. Сывдарма, скв. б/н	7,34	0,151	262	7,76	1,76	19,0	28,6	1,21	0,09	204
7	Г. Тарко-Сале, скв. 3	6,41	0,087	63,3	5,65	1,18	2,70	5,16	0,36	0,69	47,6
8	Г. Ноябрьск, скв. 3	5,57	0,121	70,4	3,46	0,68	3,35	8,75	0,27	0,26	53,7
9	Там же, скв. 6	6,83	0,111	76,1	2,64	0,47	3,84	10,9	0,11	0,21	58,0
10	Там же, скв. 54	7,17	0,091	110	3,44	0,50	5,61	16,6	0,29	0,30	83,0
15	Г. Салехард, скв. 48рэ	6,52	0,056	176	11,3	0,88	8,37	24,7	8,06	21,7	101
16	Там же, 1э	6,51	0,092	66,0	3,10	0,85	4,72	6,80	0,59	12,1	37,8
17	Там же, 18э	7,86	0,123	227	13,0	3,78	13,1	22,8	1,85	0,78	172
18	Там же, 33рэ	6,32	0,060	69,6	3,53	0,85	4,94	6,21	1,35	5,12	47,6
21	Пос. Харп, скв. 6	7,89	0,028	286	2,42	0,59	30,3	26,2	0,43	10,3	215

Таблица 4

Коэффициенты корреляции содержания фтора с величиной pH, минерализацией и концентрациями компонентов основного солевого состава в обследованных поверхностных и подземных водах Ямало-Ненецкого автономного округа

Воды	pH	M	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃
Поверхностные	0,51	0,73	0,80	0,95	0,62	0,59	0,89	0,31	0,75
Подземные	0,13	0,40	0,80	0,56	–0,31	–0,39	0,74	–0,45	0,09

Для поверхностных вод наблюдается достаточно плотная положительная корреляция концентраций фтора и главных ионов, исключая сульфаты, магний и кальций (табл. 4). В силу того, что техногенное воздействие на изучавшейся территории относительно невелико, наибольшую роль в формировании состава поверхностных вод должны играть два источника: поступление морских циклических солей из атмосферы и продуктов выветривания горных пород. Поскольку морские аэрозоли обогащены фтором [Bewers, 1972], их перенос на водосборы может приводить к возникновению тесной связи между фтором, с одной стороны, и главными растворенными компонентами морской воды – натрием и хлором, с другой: $r_{F-Na} = 0,80$, $r_{F-Cl} = 0,89$. Вместе с тем высокая корреляция концентраций фтора и калия $r_{F-K} = 0,95$, по-видимому, имеет иную причину. А.Б. Ронов с соавторами [1974] установили фундаментальную зависимость, согласно которой в осадочных породах, занимающих 75% поверхности суши, при увеличении содержания калия происходит пропорциональное возрастание содержания фтора. Если основная масса калия поступает в поверхностные воды в результате выветривания горных пород, то с учетом близкой интенсивности водной миграции фтора и калия [Перельман, Касимов, 1999] оба элемента будут переходить в водную среду в пропорциональных количествах.

За исключением пробы из аллювиального горизонта у пос. Харп, содержание фтора в используемых для водоснабжения артезианских подземных водах региона находится в интервале 0,056–0,269 мг/л, что несколько выше по сравнению

с поверхностными водами, но также не достигает нижней границы санитарно-гигиенического оптимума. Интересно, что, согласно данным табл. 4, между содержанием фтора и концентрациями натрия и хлора в подземных водах существует положительная корреляция ($r_{F-Na} = 0,80$, $r_{F-Cl} = 0,74$) при отсутствии явно выраженных связей с минерализацией и концентрациями других компонентов основного солевого состава. Это может быть следствием совместного выноса значительных масс фтора, натрия и хлора из засоленных вмещающих пород, поскольку известно накопление фтора в морских бассейнах на первых стадиях осолонения [Казаков, Соколова, 1950]. Однако в этом случае фтор должен коррелировать не только с натрием и хлором, но и с магнием и сульфатами, которые также накапливаются в осолоняющихся морских бассейнах. Поскольку этого не происходит, вопрос об источнике фтора в исследованных подземных водах остается открытым.

ВЫВОДЫ

В речных водах Ямало-Ненецкого автономного округа концентрации фтора изменяются от 0,022 до 0,094 мг/л, причем наибольшие значения характерны для крупных рек – Надыма (0,046 мг/л) и Оби (0,094 мг/л). Содержание фтора в используемых для водоснабжения артезианских подземных водах в целом выше и варьирует от 0,056 до 0,269 мг/л. Как речные, так и подземные воды региона не соответствуют оптимальному диапазону концентраций фтора для источников питьевого назначения (0,7–1,5 мг/л).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. и др. Микроэлементозы человека (этиология, классификация, органо-патология). М.: Медицина, 1991. 496 с.
- Агалакова Н.И., Гусев Г.П. Влияние неорганических соединений фтора на живые организмы различного филогенетического уровня // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2011. Т. 47. № 5. С. 337–347.
- Габович Р.Д., Минх А.А. Гигиенические проблемы фторирования питьевой воды. М.: Медицина, 1979. 200 с.

- Горностаева Е.А., Фукс С.Л. Влияние фторсодержащих соединений на живые организмы (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 14–24.
- Жукова А.Г., Михайлова Н.Н., Казиская А.С. и др. Современные представления о молекулярных механизмах физиологического и токсического действия соединений фтора на организм // Медицина в Кузбассе. 2017. Т. 16. № 3. С. 4–11.
- Иорданишвили А.К. Фториды: их значение для здоровья человека в современных условиях и перспективы использования // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2019. № 2. С. 66–73.
- Казаков А.В., Соколова Е.И. Условия образования флюорита в осадочных породах (флюоритовая система) // Тр. Института геологических наук. Вып. 114. Геол. сер. № 40. М., 1950. С. 22–64.
- Комарова Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ». СПб.: Веда, 2006. 212 с.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
- Ронов А.Б., Гуринов Ю.П., Ермишкина А.И. и др. Геохимия фтора в осадочном цикле // Геохимия. 1974. № 11. С. 1587–1612.
- Савенко А.В., Савенко В.С., Ефимов В.А. Современное содержание фтора в водах реки Оби // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 6. С. 132–138.
- Савенко В.С. Введение в ионометрию природных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 77 с.
- Сазонов Н.Н. Микроэлементы в мерзлотных экосистемах и их значение в использовании биологических ресурсов Якутии: дис. ... докт. биол. наук. М., 2000. 383 с.
- СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав РФ, 2002. 46 с.
- Федорова С.В., Павлова Н.А. Фтор в поверхностных и надмерзлотных водах Центральной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2022. Т. 27. № 2. С. 233–245.
- Янин Е.П. Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза. 2007. № 4. С. 2–98.
- Ali S., Thakur S.K., Sarkar A. et al. Worldwide contamination of water by fluoride, *Environ. Chem. Lett.*, 2016, vol. 14, no. 3, p. 291–315.
- Bewers J.M. The global circulation of halogens in nature, *Proc. of the 24th International Geological Congress, Sect. 10, Geochemistry*, Montreal, 1972, p. 273–281.
- Edmunds W.M., Smedley P.L. Fluoride in natural waters, *Essentials of Medical Geology*, Springer, 2013, p. 311–336.
- Fuge R. Fluorine in the environment, a review of its sources and geochemistry, *Appl. Geochem.*, 2019, vol. 100, p. 393–406.
- Weinstein L.H., Davison A.W. Fluorides in the Environment: Effects on Plants and Animals, Wallingford, Cambridge, CABI Publ., 2004, 296 p.

Поступила в редакцию 04.06.2024

После доработки 13.06.2024

Принята к публикации 26.06.2024

FLUORINE CONTENT IN SURFACE AND GROUND WATERS OF THE YAMALO-NENETS AUTONOMOUS REGION

A.V. Savenko¹, V.S. Savenko², I.S. Ivanova³

^{1,2} Lomonosov Moscow State University

³ Yugra State University

¹ Faculty of Geology, Department of Geochemistry, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geology and Mineralogy; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

² Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geology and Mineralogy, Professor; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

³ Laboratory of Ecosystem-Atmospheric Relationships of Forest-Swamp Complexes, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geology and Mineralogy; e-mail: ivanovais_1986@mail.ru

Data on the content of fluorine and components of the main salt composition in surface and ground waters of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, sampled in September 2021, are presented. River waters contain 0,022–0,094 mg/L of fluorine with the lowest concentrations characteristic of small rivers and the highest – for large ones, such as the Nadym River (0,046 mg/L) and the Ob River (0,094 mg/L). Fluorine concentrations in artesian groundwater used for water supply are generally higher and range from 0,056 to 0,269 mg/L. In both river and ground waters of the area, the fluorine content is much lower than the sanitary-hygienic optimum, amounting to 0,7–1,5 mg/L.

Keywords: river waters, water supply wells, dissolved form, direct potentiometry

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 24-17-00088, <https://rscf.ru/en/project/24-17-00088/>).

REFERENCES

- Agalakova N.I., Gusev G.P. Effect of inorganic fluoride on living organisms of different phylogenetic level, *J. Evolut. Biochem. Physiol.*, 2011, vol. 47, no. 5, p. 393–406.
- Ali S., Thakur S.K., Sarkar A. et al. Worldwide contamination of water by fluoride, *Environ. Chem. Lett.*, 2016, vol. 14, no. 3, p. 291–315.
- Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A. et al. *Mikroelementy cheloveka (etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya)* [Human microelementoses (etiology, classification, organopathology)], Moscow, Meditsina Publ., 1991, 496 p. (In Russian)
- Bewers J.M. The global circulation of halogens in nature, *Proc. of the 24th Int. Geological Congress, Sect. 10, Geochemistry*, Montreal, 1972, p. 273–281.
- Edmunds W.M., Smedley P.L. Fluoride in natural waters, *Essentials of Medical Geology*, Dordrecht et al., Springer, 2013, p. 311–336.
- Fedorova S.V., Pavlova N.A. Ftor v poverkhnostnykh i nadmerzlotnykh vodakh Tsentral'noi Yakutii [Fluorine in surface and suprapermafrost waters in Central Yakutia], *Prirodnye Resursy Arktiki i Subarkтики*, 2022, vol. 27, no. 2, p. 233–245. (In Russian)
- Fuge R. Fluorine in the environment, a review of its sources and geochemistry, *Appl. Geochem.*, 2019, vol. 100, p. 393–406.
- Gabovich R.D., Minkh A.A. *Gigienicheskie problemy ftorirovaniya pit'evoi vody* [Hygienic problems of drinking water fluoridation], Moscow, Meditsina Publ., 1979, 200 p. (In Russian)
- Gornostaeva E.A., Fuks S.L. Vliyanie ftorsoderzhashchikh soedinenii na zhivye organizmy (obzor) [The effect of fluorinated compounds on living organisms (review)], *Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya*, 2017, no. 1, p. 14–24. (In Russian)
- Iordanishvili A.K. Ftorydy: ikh znachenie dlya zdorov'ya cheloveka v sovremennykh usloviyakh i perspektivy ispol'zovaniya [Fluorides: their value for human health under modern conditions and prospects for their use], *Kurskii Nauchno-Prakticheskii Vestnik "Chelovek i Ego Zdorov'e"*, 2019, no. 2, p. 66–73. (In Russian)
- Kazakov A.V., Sokolova E.I. [Conditions for the fluorite formation in sedimentary rocks (fluorite system)], *tr. Instituta Geologicheskikh Nauk* [Proc. of the Institute of Geological Sciences], vol. 114, Geol. ser., no. 40, Moscow, 1950, p. 22–64. (In Russian)
- Komarova N.V., Kamencev Ya.S. *Prakticheskoe rukovodstvo po ispol'zovaniyu sistem kapillyarnogo elektroforeza "KAPEL"* [Practical guidance on the use of capillary electrophoresis systems "KAPEL"], St Petersburg, Veda Publ., 2006, 212 p. (In Russian)
- Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry], ucheb. posobiye, 3-ye izd., pererab. i dop., Moscow, Astreya-2000 Publ., 1999, 768 p. (In Russian)
- Ronov A.B., Girin Yu.P., Ermishkina A.I. et al. Geokhimiya ftora v osadochnom tsikle [Geochemistry of fluorine in the sedimentary cycle], *Geokhimiya*, 1974, no. 11, p. 1587–1612. (In Russian)
- SanPiN 2.1.4.1074-01. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva [Sanitary Rules and Regulations 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control], Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation Publ., 2002, 46 p. (In Russian)
- Savenko A.V., Savenko V.S., Efimov V.A. Sovremennoe sodержanie ftora v vodakh reki Obi [Present-day fluorine concentration in the Ob River water], *Lomonosov Geography J.*, 2023, vol. 78, no. 6, p. 132–138. (In Russian)
- Savenko V.S. *Vvedeniye v ionometriyu prirodnnykh vod* [Introduction to the ionometry of natural waters], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 77 p. (In Russian)
- Sazonov N.N. *Mikroelementy v merzlotnykh ekosistemakh i ikh znachenie v ispol'zovanii biologicheskikh resursov Yakutii* [Trace elements in permafrost ecosystems and their role for the use of biological resources of Yakutia], D.Sc. Thesis in Biology, Moscow, 2000, 383 p. (In Russian)
- Weinstein L.H., Davison A.W. *Fluorides in the Environment: Effects on Plants and Animals*, Wallingford, Cambridge, CABI Publ., 2004, 296 p.
- Yanin E.P. Ftor v okruzhayushchei srede (rasprostranennost', povedenie, tekhnogennoe zagryaznenie) [Fluorine in the environment (occurrence, behavior, anthropogenic pollution)], *Ekologicheskaya Ekspertiza*, 2007, no. 4, p. 2–98. (In Russian)
- Zhukova A.G., Mikhailova N.N., Kazitskaya A.S. et al. Sovremennye predstavleniya o molekulyarnykh mekhanizмах fiziologicheskogo i toksicheskogo deistviya soedinenii ftora na organizm [Contemporary concepts of molecular mechanisms of the physiological and toxic effects of fluorine compounds on an organism], *Meditsina v Kuzbasse*, 2017, vol. 16, no. 3, p. 4–11. (In Russian)

Received 04.06.2024

Revised 13.06.2024

Accepted 26.06.2024