

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.42

### СОВРЕМЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ФТОРА В ВОДАХ РЕКИ ОБИ

А.В. Савенко<sup>1</sup>, В.С. Савенко<sup>2</sup>, В.А. Ефимов<sup>3</sup>

<sup>1–3</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

<sup>1</sup> *Геологический факультет, кафедра геохимии, ст. науч. сотр.,  
д-р геол.-минерал. наук; e-mail: alla\_savenko@rambler.ru*

<sup>2</sup> *Географический факультет, кафедра гидрологии суши, вед. науч. сотр.,  
д-р геол.-минерал. наук, профессор; e-mail: alla\_savenko@rambler.ru*

<sup>3</sup> *Географический факультет, кафедра гидрологии суши, инженер; e-mail: roxifixat@yandex.ru*

По данным потенциометрических измерений в пробах воды, отобранных в замыкающем створе р. Оби в 2018–2020 гг., определены средние концентрации фтора для разных фаз гидрологического режима: 0,103 мг/л в период зимней межени, 0,079 мг/л в весенне-летнее половодье и 0,095 мг/л в период летне-осенней межени. Современная средневзвешенная концентрация фтора в воде р. Оби (0,086 мг/л) близка к значениям, измеренным в 1954–1956 и 1976–1980 гг. (0,090 и 0,084 мг/л соответственно), что позволяет принять содержание фтора 0,08–0,09 мг/л в качестве естественного фона.

**Ключевые слова:** замыкающий створ, речной сток, фтор, растворенная форма, прямая потенциметрия

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.6.12

#### ВВЕДЕНИЕ

Одна из фундаментальных научных проблем, связанных с практической реализацией стратегии устойчивого развития, состоит в установлении закономерностей и механизмов процессов миграции химических элементов в биосфере. Знание этих закономерностей необходимо для создания и использования эффективных способов управления состоянием окружающей среды в условиях непрерывного роста интенсивности хозяйственной деятельности.

В биосферном круговороте веществ наиболее изучены биогенные элементы (углерод, кислород, азот, фосфор, сера), которые составляют основную массу вещества живых организмов. Миграция биогенных элементов в наибольшей степени контролируется деятельностью биоты. Этот факт часто абсолютизируется и без достаточных оснований переносится на другие элементы, в биосферной истории которых доминируют абиогенные факторы. В связи с этим представляется чрезвычайно важным расширение круга элементов с детально изученной геохимией в биосферном круговороте веществ и значимым влиянием абиогенных факторов. К таким элементам относится фтор.

Фтор представляет собой биологически активный химический элемент, способный разнонаправлено – как благоприятно, так и негативно – воздействовать на живые организмы (растения, животных,

микроорганизмы) [Габович, Минх, 1979; Hileman, 1990; Авцын и др., 1991; Weinstein, Davison, 2004]. Долгое время биологическая роль фтора связывалась преимущественно с его вхождением в костную ткань, которая подвергается патологическим изменениям при низких и высоких концентрациях этого элемента. Несколько десятилетий назад было обнаружено, что фтор принимает участие и в других важных биохимических реакциях, оказывая, например, ингибирующее воздействие на течение многих ферментативных процессов [Страйер, 1985; Авцын и др., 1991; Agalakova, Gusev, 2011]. Костная ткань при этом выполняет функцию регулятора содержания фторидов в плазме крови и других органах. Эти новые факты позволили более широко подойти к проблеме медико-гигиенической роли фтора и выделить две группы различных заболеваний, обусловленных его низкими или высокими концентрациями: гипо- и гиперфтороз [Авцын и др., 1991].

Содержание фтора в поверхностных и подземных водах является важнейшим медико-экологическим фактором, поскольку в организм человека большая часть фтора поступает с водой. В настоящее время получена обширная информация о содержании фтора в водных объектах питьевого назначения, тогда как общие закономерности миграции фтора в глобальном гидрологическом цикле изуче-

ны слабо. Несмотря на рост интереса к фтору в поверхностных и подземных водах в последние годы [Edmunds, Smedley, 2013; Wen et al., 2013; Malago et al., 2017], сведения о его содержании в мировом речном стоке [Bowen, 1979; Гордеев, 2012] основаны главным образом на эпизодических определениях концентрации этого элемента в некоторых крупных реках мира. Отметим, что в последнем по времени обобщении по речному стоку микроэлементов [Gaillardet et al., 2014] фтор вообще не рассматривался. Исключение составляет работа Г.С. Коновалова и В.И. Кореневой [1985], в которой сток растворенного фтора с территории бывшего СССР был рассчитан для двух периодов (1954–1974 и 1976–1980 гг.) с учетом водного стока по водосборным бассейнам. Фактический материал, положенный в основу этой работы, относится к периоду более чем 40-летней давности, поэтому сведения о современном содержании фтора в водах крупных рек России представляют несомненный интерес. Цель проведенных исследований заключалась в получении новых данных о современном содержании растворенного фтора в воде р. Оби, основанных на определении средних концентраций этого элемента в разные фазы гидрологического режима.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обь берет начало при слиянии рек Бии и Катунь на Алтае, протекает по территории Западной Сибири и впадает в Обскую губу Карского моря. Площадь ее водосбора и бассейна с учетом бессточной площади составляет 2430 и 2953 тыс. км<sup>2</sup> соответственно, а водный сток – 401 км<sup>3</sup>/год [Magritsky et al., 2018]. В 2018–2020 гг. были отобраны пробы воды в замыкающем створе р. Оби у г. Салехарда и в пресноводной части Обской губы (рис.) в разные фазы гидрологического режима: в период зимней межени (24–25 ноября 2018 г.), на пике весенне-летнего половодья (1 июля 2019 г.) и в период летне-осенней межени (21–25 сентября 2018 г. и 11–26 августа 2020 г.). Сведения о средних расходах воды в эти периоды приведены в табл. 1. Пробоотбор в створе гидропоста у г. Салехарда выполняли на трех вертикалях (у правого берега, в фарватере и у левого берега) из

поверхностного, среднего и придонного слоев для повышения точности определения концентраций растворенных веществ по всей площади замыкающего створа [Chalov et al., 2020]. Параллельно измеряли расходы воды с помощью ADCP Росгидромета.

Концентрацию растворенного фтора определяли методом прямой потенциометрии [Савенко, 1986] с использованием фторидного ионоселективного электрода и хлорсеребряного электрода сравнения в насыщенном растворе KCl. Калибровку измерительной электрохимической цепи проводили по стандартным растворам NaF с концентрациями фторид-ионов 0,05, 0,10, 0,20 и 0,50 мг/л. Для поддержания постоянной ионной силы и оптимального значения pH в стандартные растворы и пробы добавляли ацетатный буферный раствор с pH = 6,3 и концентрацией KCl 2 М в объемном соотношении 1:10 (1 мл буферного раствора на 10 мл пробы). Чувствительность метода составила 0,02 мг F/л. Погрешность измерений не превышала 1%.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерений приведены в табл. 2. Средние концентрации фтора для разных фаз гидрологического режима составили: 0,103 мг/л в период зимней межени, 0,079 мг/л в весенне-летнее половодье и 0,095 мг/л в период летне-осенней межени. Близость среднеарифметических и среднегеометрических значений свидетельствует о соответствии распределения концентраций фтора нормальному закону. Согласно расчетам [Magritsky et al., 2018], водный сток р. Оби в зимнюю межень, весенне-летнее половодье и летне-осеннюю межень составил 18,3, 65,8 и 15,9% общего годового стока (401 км<sup>3</sup>). Основываясь на этих данных и на результатах наших измерений, получим средневзвешенную концентрацию фтора в воде р. Оби, равную 0,086 мг/л. Это значение близко к оценкам среднего содержания растворенного фтора в мировом речном стоке, приводимым в сводках [Bowen, 1979; Гордеев, 2012], – 0,09–0,10 мг/л. С учетом распределения водного стока по фазам гидрологического режима вынос фтора в океан водами р. Оби составляет 34,5 тыс. т/год.

Таблица 1

**Средние расходы воды р. Оби на гидропосту Росгидромета у г. Салехарда во время полевых наблюдений 2018–2020 гг. [McClelland et al., 2023]**

Фаза гидрологического режима	Период полевых наблюдений	Средний расход за период, м <sup>3</sup> /с
Зимняя межень	24–25.11.2018	8710
Весенне-летнее половодье	01.07.2019	31 500
Летне-осенняя межень	21–25.09.2018	11 000
То же	11–26.08.2020	18 700

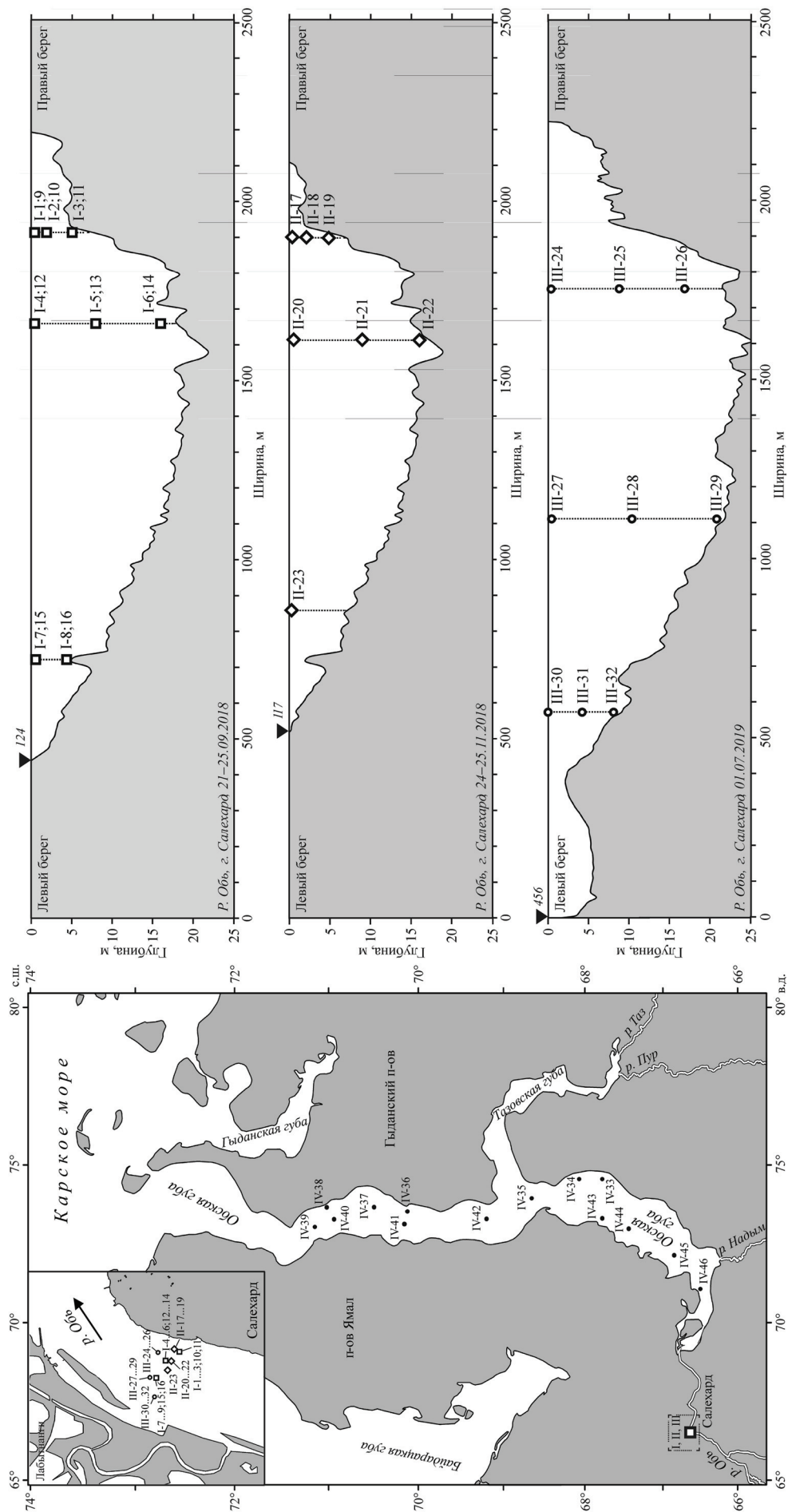


Рис. Расположение точек отбора проб воды в замыкающем створе р. Оби и в пресноводной части Обской губы

Fig. Location of water sampling points in the outlet section of the Ob River and in the freshwater part of the Ob Bay

Таблица 2

**Концентрации растворенного фтора в водах р. Оби в 2018–2020 гг. в разные фазы гидрологического режима**

Описание точек отбора проб	Номера точек согласно рисунку	Концентрация фтора, мг/л
Зимняя межень, замыкающий створ у г. Салехарда, 24–25.11.2018		
Вертикаль у правого берега, 0,5 м	II-17	0,115
Там же, 2,0 м	II-18	0,105
Там же, 3,5 м (у дна)	II-19	0,101
Вертикаль на стрежне, 0,5 м	II-20	0,107
Там же, 9,0 м	II-21	0,101
Там же, 16,0 м (у дна)	II-22	0,097
Вертикаль у левого берега, 0,5 м	II-23	0,097
<i>Среднее для зимней межени</i>		<i>0,103±0,006</i>
Пик весенне-летнего половодья, замыкающий створ у г. Салехарда, 01.07.2019		
Вертикаль у правого берега, 0,5 м	III-24	0,091
Там же, 9,0 м	III-25	0,089
Там же, 17,0 м (у дна)	III-26	0,086
Вертикаль на стрежне, 0,5 м	III-27	0,071
Там же, 10,5 м	III-28	0,081
Там же, 21,0 м (у дна)	III-29	0,076
Вертикаль у левого берега, 0,5 м	III-30	0,070
Там же, 4,0 м	III-31	0,072
Там же, 8,0 м (у дна)	III-32	0,076
<i>Среднее для весенне-летнего половодья</i>		<i>0,079±0,008</i>
Летне-осенняя межень, замыкающий створ у г. Салехарда, 21.09.2018		
Вертикаль у правого берега, 0,5 м	I-1	0,092
Там же, 2,0 м	I-2	0,094
Там же, 4,5 м (у дна)	I-3	0,093
Вертикаль на стрежне, 0,5 м	I-4	0,114
Там же, 8,0 м	I-5	0,094
Там же, 15,0 м (у дна)	I-6	0,092
Вертикаль у левого берега, 0,5 м	I-7	0,080
Там же, 4,0 м (у дна)	I-8	0,080
То же, замыкающий створ у г. Салехарда, 25.09.2018		
Вертикаль у правого берега, 0,5 м	I-9	0,108
Там же, 2,0 м	I-10	0,099
Там же, 4,5 м (у дна)	I-11	0,096
Вертикаль на стрежне, 0,5 м	I-12	0,110
Там же, 10,0 м	I-13	0,100
Там же, 16,0 м (у дна)	I-14	0,100
Вертикаль у левого берега, 0,5 м	I-15	0,088
Там же, 4,5 м (у дна)	I-16	0,089
То же, пресноводная часть Обской губы, 11–26.08.2020		
0,5 м, 11.08.2020	IV-33	0,115
То же	IV-34	0,111
То же	IV-35	0,110
То же, 12.08.2020	IV-36	0,089
То же	IV-37	0,088
То же, 13.08.2020	IV-38	0,061
То же	IV-39	0,096
То же, 22.08.2020	IV-40	0,084
То же, 24.08.2020	IV-41	0,080
То же	IV-42	0,100
То же, 25.08.2020	IV-43	0,100
То же	IV-44	0,106
То же	IV-45	0,102
То же, 26.08.2020	IV-46	0,109
<i>Среднее для летне-осенней межени</i>		<i>0,095±0,012</i>

В XXI в. антропогенное воздействие на окружающую среду достигло планетарных масштабов и привело к ощутимым изменениям химического состава поверхностных и подземных вод. Эти изменения достоверно зафиксированы на локальном и региональном уровнях и в некоторых случаях, возможно, имеют глобальный характер. Согласно оценке [Klee, Graedel, 2004], природные факторы ответственны за мобилизацию в окружающей среде только 30% фтора, тогда как на долю антропогенных факторов приходится около 70%. Поэтому можно предположить, что с течением времени концентрация фтора в речных водах будет увеличиваться в соответствии с усилением антропогенного воздействия на окружающую среду. Приведенные в табл. 3 данные о содержании фтора в водах р. Оби показывают, что его современная концентрация практически не отличается от концентраций, измеренных в 1954–1956 и 1976–1980 гг. Вместе с тем средняя концентрация фтора для периода 1954–1974 гг. примерно в 2 раза превышала таковую в 1976–1980 гг. при небольшом различии объемов водного стока. Сходная ситуация наблюдалась для многих других рек, находящихся в разных климатических зонах и подверженных ан-

тропогенным воздействиям разной интенсивности [Коновалов, Коренева, 1985]. Оценка среднего содержания фтора для периода 1954–1974 гг. включает данные за 1973 и 1974 гг., когда его концентрации достигали наиболее высоких значений (0,19 и 0,40 мг F/л). Причина временного повышения концентраций фтора до величин, близко соответствующих характерным для грунтовых вод, не ясна. Вероятно, аномально высокие концентрации фтора, которые были получены в 1973–1974 гг., связаны с повышенным содержанием взвешенных веществ. Наиболее тонкая фракция взвесей при фильтрации может не полностью отделяться от раствора, а при использовании колориметрических методов, применявшихся до разработки фторидного ионоселективного электрода, присутствие взвешенных веществ могло приводить к завышенным результатам [Савенко, Шмидеберг, 1977].

Таким образом, современная концентрация растворенного фтора в воде р. Оби, равная 0,08–0,09 мг/л, по-видимому, соответствует естественному фону, и антропогенные изменения окружающей среды пока не привели к существенному загрязнению речной воды этим элементом.

Таблица 3

**Средние концентрации растворенного фтора в водах р. Оби  
в разные временные интервалы с 1954 по 2020 г.**

Период наблюдений, годы	Концентрация фтора, мг/л	Ссылка
1954–1956	0,090	[Коновалов, 1959]
1973	0,192	[Коновалов, Коренева, 1979]
1974	0,404	Там же
1954–1974	0,170	[Коновалов, Коренева, 1985]
1976–1980	0,084	Там же
2018–2020	0,086	Данная работа

### ВЫВОДЫ

Измеренное в 2018–2020 гг. содержание растворенного фтора в воде р. Оби минимально на пике весенне-летнего половодья (0,079 мг/л) и увеличивается в периоды летне-осенней и зимней межени до 0,095 и 0,103 мг/л. Современная сред-

невзвешенная концентрация растворенного фтора равна 0,086 мг/л, что близко к концентрациям фтора в воде р. Оби в 1954–1956 и 1976–1980 гг., равным 0,090 и 0,084 мг/л. Можно допустить, что эта концентрация соответствует естественному фоновому уровню.

**Благодарности.** Авторы выражают признательность Д.В. Магрицкому, А.Ю. Тришину, В.А. Иванову и К.С. Григоренко за отбор проб воды во время полевых работ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека (этиология, классификация, органопатология). М.: Медицина, 1991. 496 с.

Габович Р.Д., Минх А.А. Гигиенические проблемы фторирования питьевой воды. М.: Медицина, 1979. 200 с.



- Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М., 2012. 452 с.
- Коновалов Г.С. Вынос микроэлементов главнейшими реками СССР // Докл. АН СССР. 1959. Т. 129. № 4. С. 912–915.
- Коновалов Г.С., Коренева В.И. Вынос микроэлементов речным стоком с территории СССР в моря в современный период // Гидрохимические материалы. 1979. Т. 75. С. 11–21.
- Коновалов Г.С., Коренева В.И. Изменение стока растворенных веществ с речных водосборов в моря в условиях антропогенного воздействия: тр. II Международного симпозиума «Геохимия природных вод» (Ростов-на-Дону, 17–22 мая 1982 г.). Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. С. 46–54.
- Савенко В.С. Введение в ионометрию природных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 77 с.
- Савенко В.С., Шмидеберг Н.А. К методике определения малых концентраций фтора в природных водах // Гидрохимические материалы. 1977. Т. 65. С. 96–101.
- Страйер Л. Биохимия. Т. 2. М.: Мир, 1985. 308 с.
- 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.
- Bowen H.J.M. Environmental Chemistry of the Elements, London, Academic Press, 1979, 333 p.
- Chalov S., Moreido V., Sharapova E., Efimova L., Efimov V., Lychagin M., Kasimov N. Hydrodynamic controls of particulate metals partitioning along the lower Selenga River – main tributary of the lake Baikal, *Water*, 2020, vol. 12, no. 5, p. 1–17.
- Edmunds W.M., Smedley P.L. Fluoride in natural waters, *Essentials of Medical Geology*, Springer, 2013, p. 311–336.
- Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters, *Treatise on Geochemistry* (Second Edition), Amsterdam et al., Elsevier, 2014, vol. 7, p. 195–235.
- Hileman B. Fluoride/cancer: Equivocal link in rats endorsed, *Chem. Eng. News.*, 1990, vol. 68, no. 19, p. 4.
- Klee R.J., Graedel T.E. Elemental cycles: A status report on human or natural dominance, *Ann. Rev. Environ. Res.*, 2004, vol. 29, no. 1, p. 69–107.
- Magritsky D.V., Frolova N.L., Evstigneev V.M., Povalishnikova E.S., Kireeva M.B., Pakhomova O.M. Long-term changes of river water inflow into the seas of the Russian Arctic sector, *Polarforschung*, 2018, vol. 87, no. 2, p. 177–194.
- Malago J., Makoba E., Muzuka A. Fluoride levels in surface and groundwater in Africa: A review, *Amer. J. Water Sci. Eng.*, 2017, vol. 3, no. 1, p. 1–17.
- Weinstein L.H., Davison A.W. Fluorides in the Environment: Effects on Plants and Animals, Wallingford, Cambridge, CABI Publ., 2004, 296 p.
- Wen D., Zhang F., Zhang E. et al. Arsenic, fluoride and iodine in groundwater of China, *J. Geochem. Explor.*, 2013, vol. 135, no. 10, p. 1–21.

#### Электронный ресурс

McClelland J.W., Tank S.E., Spencer R.G.M., Shiklomanov A.I., Zolkos S., Holmes R.M. Arctic Great Rivers Observatory, Discharge Dataset, 2023, Version 20230406, URL: <https://arcticgreatrivers.org/data> (дата обращения 12.04.2023).

Поступила в редакцию 18.04.2023

После доработки 03.05.2023

Принята к публикации 27.07.2023

## PRESENT-DAY FLUORINE CONCENTRATION IN THE OB RIVER WATER

A.V. Savenko<sup>1</sup>, V.S. Savenko<sup>2</sup>, V.A. Efimov<sup>3</sup>

<sup>1–3</sup> Lomonosov Moscow state university

<sup>1</sup> Faculty of Geology, Department of Geochemistry, Senior Scientific Researcher, D.Sc. in Geology and Mineralogy; e-mail: [alla\\_savenko@rambler.ru](mailto:alla_savenko@rambler.ru)

<sup>2</sup> Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Leading Scientific Researcher, professor, D.Sc. in Geology and Mineralogy; e-mail: [alla\\_savenko@rambler.ru](mailto:alla_savenko@rambler.ru)

<sup>3</sup> Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, engineer; e-mail: [roxifixat@yandex.ru](mailto:roxifixat@yandex.ru)

Based on the potentiometric measurements average fluorine concentrations for different phases of the hydrological regime were determined in water samples taken in 2018–2020 in the outlet of the Ob River: 0,103 mg/L in the winter low-water period, 0,079 mg/L in the spring–summer flood, and 0,095 mg/L in the summer–autumn low-water period. The present-day weighted average concentration of fluorine in the Ob River water (0,086 mg/L) closely corresponds to the values measured in 1954–1956 and 1976–1980 (0,090 and 0,084 mg/L, respectively), therefore the fluorine content of 0,08–0,09 mg/L could be taken as a natural background.

**Keywords:** outlet section, river runoff, fluorine, dissolved form, direct potentiometry

**Acknowledgements.** The authors are grateful to D.V. Magritsky, A.Yu. Trishin, V.A. Ivanov, and K.S. Grigorenko for taking water samples during the field work.

## REFERENCES

- Agalakova N.I., Gusev G.P. Effect of inorganic fluoride on living organisms of different phylogenetic level, *J. Evolution. Biochem. Physiol.*, 2011, vol. 47, no. 5, p. 393–406.
- Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Storchkova L.S. *Mikroelementozy cheloveka (etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya)* [Human microelementoses (etiology, classification, organopathology)], Moscow, Meditsina Publ., 1991, 496 p. (In Russian)
- Bowen H.J.M. *Environmental Chemistry of the Elements*, London, Academic Press, 1979, 333 p.
- Chalov S., Moreido V., Sharapova E., Efimova L., Efimov V., Lychagin M., Kasimov N. Hydrodynamic controls of particulate metals partitioning along the lower Selenga River – main tributary of the lake Baikal, *Water*, 2020, vol. 12, no. 5, p. 1–17.
- Edmunds W.M., Smedley P.L. Fluoride in natural waters, *Essentials of Medical Geology*, Dordrecht et al., Springer, 2013, p. 311–336.
- Gabovich R.D., Minkh A.A. *Gigienicheskie problemy florirovaniya pit'evoi vody* [Hygienic problems of drinking water fluoridation], Moscow, Meditsina Publ., 1979, 200 p. (In Russian)
- Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters, *Treatise on Geochemistry* (Second Edition), Amsterdam et al., Elsevier, 2014, vol. 7, p. 195–235.
- Gordeev V.V. *Geokhimiya sistemy reka – more* [Geochemistry of the river – sea system], Moscow, 2012, 452 p. (In Russian)
- Hileman B. Fluoride/cancer: Equivocal link in rats endorsed, *Chem. Eng. News.*, 1990, vol. 68, no. 19, p. 4.
- Klee R.J., Graedel T.E. Elemental cycles: A status report on human or natural dominance, *Ann. Rev. Environ. Res.*, 2004, vol. 29, no. 1, p. 69–107.
- Kononov G.S. Vynos mikroelementov glavneishimi rekami SSSR [The efflux of trace elements by the main rivers of the USSR], *Doklady AN SSSR*, 1959, vol. 129, no. 4, p. 912–915. (In Russian)
- Kononov G.S., Koreneva V.I. [Changes in the runoff of dissolved substances from river catchments to the seas under anthropogenic impact], *tr. II Mezhdunarodnogo Simpoz. "Geokhimiya prirodnikh vod"* [Proc. of the II Int. Sympos. "Geochemistry of Natural Waters"], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985, p. 46–54. (In Russian)
- Kononov G.S., Koreneva V.I. Vynos mikroelementov rechnym stokom s territorii SSSR v morya v sovremennyi period [The efflux of trace elements by river runoff from territory of the USSR to seas in the modern period], *Gidrokhimicheskiye Materialy*, 1979, vol. 75, p. 11–21. (In Russian)
- Magritsky D.V., Frolova N.L., Evstigneev V.M., Povalishnikova E.S., Kireeva M.B., Pakhomova O.M. Long-term changes of river water inflow into the seas of the Russian Arctic sector, *Polarforschung*, 2018, vol. 87, no. 2, p. 177–194.
- Malago J., Makoba E., Muzuka A. Fluoride levels in surface and groundwater in Africa: A review, *Amer. J. Water Sci. Eng.*, 2017, vol. 3, no. 1, p. 1–17.
- Savenko V.S. *Vvedeniye v ionometriyu prirodnikh vod* [Introduction to the ionometry of natural waters], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 77 p. (In Russian)
- Savenko V.S., Shmideberg N.A. K metodike opredeleniya malykh kontsentratsiy ftora v prirodnikh vodakh [To the method for determining low concentrations of fluorine in natural waters], *Gidrokhimicheskiye Materialy*, 1977, vol. 65, p. 96–101. (In Russian)
- Stryer L. *Biochemistry*, San Francisco, W.H. Freeman, 1975, 877 p.
- Weinstein L.H., Davison A.W. *Fluorides in the Environment: Effects on Plants and Animals*, Wallingford, Cambridge, CABI Publ., 2004, 296 p.
- Wen D., Zhang F., Zhang E., Wang C., Han S., Zheng Y. Arsenic, fluoride and iodine in groundwater of China, *J. Geochem. Explor.*, 2013, vol. 135, no. 10, p. 1–21.
- Web-source*  
McClelland J.W., Tank S.E., Spencer R.G.M., Shiklomanov A.I., Zolkos S., Holmes R.M. Arctic Great Rivers Observatory, Discharge Dataset, 2023, Version 20230406, URL: <https://arcticgreatrivers.org/data> (access date 12.04.2023).

Received 18.04.2023

Revised 03.05.2023

Accepted 27.07.2023