

ФТОР В ВОДАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

А.В. Савенко¹, В.С. Савенко², Д.Н. Беликов³

^{1–3} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

³ Центр морских исследований

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, проф.; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

³ Инженер; e-mail: belikov.danylo@yandex.ru

Получены первые данные о содержании фтора в водах Баренцева моря. По результатам прямых потенциометрических измерений концентрация фтора находится в диапазоне 1,14–1,29 мг/кг, увеличиваясь с ростом хлорности (солёности). Среднее значение массового отношения F/Cl составляет $(6,58 \pm 0,02) \cdot 10^{-5}$ для поверхностного распреснённого слоя с хлорностью $\leq 19\text{‰}$ и $(6,63 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$ для основной водной толщи с хлорностью $> 19\text{‰}$. Величина отношения F/Cl в водах Баренцева моря близко соответствует таковой для акватории Мирового океана, в том числе Северной Атлантики.

Ключевые слова: Баренцево море, морская вода, содержание фтора, массовое отношение F/Cl, прямая потенциометрия

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.12

ВВЕДЕНИЕ

Фтор входит в число компонентов основного солевого состава морской воды, поскольку его концентрация превышает 1 мг/л. Несмотря на наличие сведений о содержании фтора в разных районах Мирового океана, до сих пор в этом отношении остаются не изученными обширные акватории, в число которых входит Северный Ледовитый океан и, в частности, Баренцево море – крупнейшее по площади и самое глубокое из арктических морей, представляющее собой переходную зону взаимодействия водных масс атлантического происхождения и арктических вод. На долю моря приходится половина адвекции теплых соленых вод Атлантики в Северный Ледовитый океан, которая осуществляется в системе Норвежского течения. Кроме того, с севера вместе с дрейфующими льдами в море поступают арктические воды из центральной части Северного Ледовитого океана, имеющие отрицательную температуру и пониженную солёность. В сочетании с влиянием других факторов это создает сложный характер циркуляции баренцевоморских вод, главная особенность которой состоит в общей направленности их движения против часовой стрелки [Loeng, 1991; Писарев, 2021].

В настоящей статье представлены первые данные о содержании фтора в водах Баренцева моря и проведено их сравнение с концентрациями этого элемента в прилегающих районах Северной Атлантики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы морской воды для исследования были отобраны одним из авторов работы Д.Н. Беликовым в северо-восточной части Баренцева моря между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля во время экспедиции Арктического Плавучего Университета на НИС «Профессор Молчанов» 4–5 июля 2023 г. и 93-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» 18–27 ноября 2023 г. Расположение станций показано на рис. 1, горизонты опробования приведены в табл. 1.

Измерения температуры и солёности проводили *in situ* с помощью гидрозонда CTD SBE 19 plus V2 с одновременным отбором проб воды в полипропиленовые флаконы. В лабораторных условиях в пробах определяли концентрацию фтора методом прямой потенциометрии с использованием измерительной электрохимической цепи из фторидного ионоселективного электрода «Элит-221» и хлорсеребряного электрода сравнения, заполненного 35% искусственной морской водой без бромидов. Поскольку чувствительность фторидного электрода зависит от величины pH, для оптимизации кислотности среды в пробы добавляли ацетатный буфер с pH = 6,3 в объемном соотношении 1 : 10 [Савенко, 1986]. Калибровку измерительной цепи выполняли по стандартным растворам искусственной морской воды с солёностью 35‰ и концентрацией фтора 0,65, 1,30 и

1,95 мг/кг. Поправку, связанную с отличием солености проб от 35‰, рассчитывали по зависимости от электродвижущей силы измерительной цепи в растворах искусственной морской воды с

соленостью 29, 32 и 35‰ и концентрацией фтора, равной 1,30 мг/кг. Погрешность измерений не превышала 3%. Величину хлорности вычисляли по кондуктометрическим значениям солености.

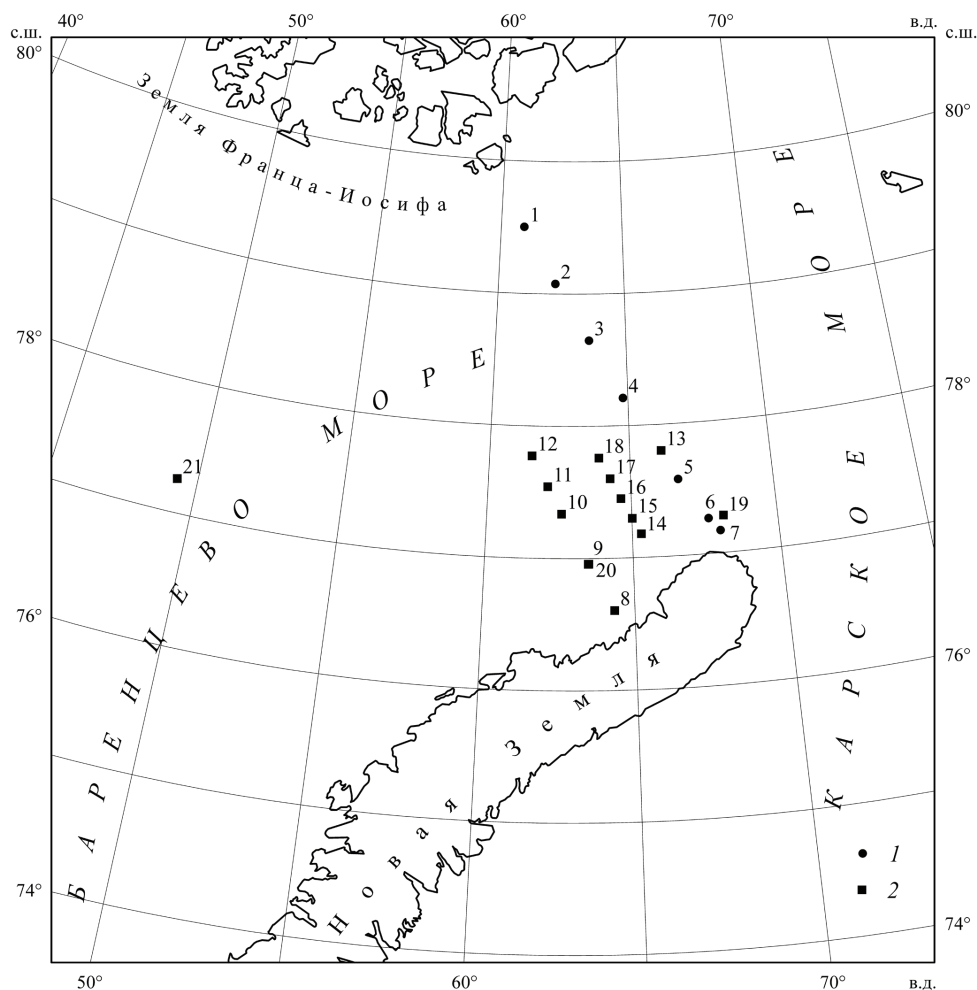


Рис. 1. Расположение станций отбора проб воды в Баренцевом море в июле (1) и ноябре (2) 2023 г.

Fig. 1. Location of water sampling stations in the Barents Sea in July (1) and November (2) 2023

Таблица 1

**Термохалинные характеристики, содержание фтора и массовое отношение F/Cl
в водах Баренцева моря**

Глубина, м	Горизонт, м	$T, ^\circ\text{C}$	$S, \text{‰}$	$[\text{Cl}], \text{‰}$	$[\text{F}], \text{мг/кг}$	$\text{F/Cl} \cdot 10^5$
Станция 1, 04.07.2023						
207	1,0	3,50	33,70	18,65	1,23	6,61
	10	1,46	33,48	18,53	1,22	6,57
	20	-0,75	34,18	18,92	1,25	6,60
	30	-0,68	34,09	18,87	1,24	6,58
	40	-1,28	34,31	18,99	1,25	6,56
	50	-1,64	34,43	19,06	1,25	6,58
	75	-1,54	34,57	19,14	1,26	6,58
	202	-1,68	34,71	19,21	1,26	6,56

Глубина, м	Горизонт, м	T, °C	S, ‰	[Cl], ‰	[F], мг/кг	F/Cl·10 ⁵
Станция 2, 04.07.2023						
185	1,0	2,00	33,10	18,32	1,21	6,59
	10	−0,01	33,03	18,28	1,21	6,61
	30	−1,70	34,42	19,05	1,25	6,58
	50	−1,75	34,47	19,08	1,26	6,60
	75	−1,77	34,48	19,09	1,26	6,59
	100	−1,67	34,52	19,11	1,26	6,57
	180	−1,61	34,70	19,21	1,27	6,61
Станция 3, 05.07.2023						
105	1,0	1,80	31,50	17,44	1,14	6,56
	10	−0,54	32,98	18,26	1,20	6,58
	30	−1,27	34,29	18,98	1,25	6,56
	50	−1,63	34,51	19,10	1,25	6,54
	75	−0,22	34,74	19,23	1,27	6,58
	100	0,32	34,77	19,25	1,27	6,58
Станция 4, 05.07.2023						
364	1,0	2,20	33,60	18,60	1,23	6,62
	10	2,06	33,95	18,79	1,23	6,56
	30	−0,47	34,32	19,00	1,25	6,60
	50	−1,11	34,50	19,10	1,26	6,60
	75	−1,51	34,54	19,12	1,27	6,62
	100	−1,30	34,76	19,24	1,27	6,61
	359	−0,85	34,81	19,27	1,27	6,60
Станция 5, 05.07.2023						
315	1,0	2,40	34,60	19,15	1,28	6,70
	10	2,44	34,47	19,08	1,28	6,68
	30	0,25	34,52	19,11	1,27	6,63
	50	−0,96	34,59	19,15	1,28	6,67
	75	−1,14	34,67	19,19	1,27	6,64
	100	−1,31	34,70	19,21	1,28	6,67
	310	−0,88	34,80	19,26	1,28	6,66
Станция 6, 05.07.2023						
234	1,0	2,30	34,80	19,26	1,27	6,62
	10	2,18	34,50	19,10	1,28	6,68
	30	1,53	34,37	19,03	1,26	6,62
	50	−1,04	34,67	19,19	1,26	6,56
	75	−0,88	34,71	19,21	1,28	6,64
	100	−0,93	34,78	19,25	1,28	6,66
	229	0,13	34,87	19,30	1,27	6,58
Станция 7, 05.07.2023						
263	1,0	2,20	34,80	19,26	1,26	6,55
	10	2,27	34,49	19,09	1,27	6,63
	30	−0,05	34,44	19,06	1,26	6,63
	50	−1,03	34,55	19,12	1,27	6,62

Продолжение таблицы 1

Глубина, м	Горизонт, м	$T, ^\circ\text{C}$	$S, \text{‰}$	$[\text{Cl}], \text{‰}$	$[\text{F}], \text{мг/кг}$	$\text{F/Cl} \cdot 10^5$
	75	-1,12	34,68	19,20	1,27	6,61
	100	-1,17	34,71	19,21	1,27	6,61
	257	-0,02	34,87	19,30	1,28	6,65
Станция 8, 18.11.2023						
38	1,5	0,15	34,53	19,11	1,27	6,63
	33	0,86	34,60	19,15	1,27	6,64
Станция 9, 19.11.2023						
200	54	-0,05	34,54	19,12	1,27	6,65
	195	0,12	34,82	19,27	1,29	6,67
Станция 10, 19.11.2023						
165	2,5	0,56	34,65	19,18	1,27	6,64
	100	1,16	34,82	19,28	1,28	6,62
	160	0,66	34,84	19,29	1,29	6,67
Станция 11, 20.11.2023						
300	1,5	0,64	34,68	19,20	1,27	6,61
	80	1,10	34,79	19,26	1,28	6,63
	295	0,39	34,85	19,29	1,28	6,65
Станция 12, 20.11.2023						
347	5,0	-1,45	34,51	19,10	1,26	6,60
	25	-1,44	34,51	19,10	1,26	6,60
	190	-1,06	34,72	19,22	1,27	6,63
	342	-0,68	34,80	19,26	1,28	6,64
Станция 13, 21.11.2023						
215	80	0,21	34,65	19,18	1,27	6,64
	156	-0,59	34,75	19,24	1,28	6,64
	210	0,09	34,83	19,28	1,28	6,65
Станция 14, 22.11.2023						
110	1,5	-0,37	34,54	19,12	1,26	6,61
	65	0,47	34,79	19,26	1,28	6,65
	105	0,45	34,81	19,27	1,29	6,68
Станция 15, 22.11.2023						
220	61	-0,25	34,59	19,15	1,28	6,67
	215	0,31	34,83	19,28	1,29	6,67
Станция 16, 22.11.2023						
139	3,0	-0,08	34,58	19,14	1,28	6,67
	65	0,30	34,65	19,18	1,27	6,64
	82	1,15	34,81	19,27	1,28	6,66
	134	-0,08	34,83	19,28	1,28	6,65
Станция 17, 22.11.2023						
254	2,5	0,45	34,67	19,19	1,26	6,58
	62	0,50	34,67	19,19	1,27	6,61
	90	1,32	34,82	19,28	1,28	6,65
	249	0,72	34,84	19,29	1,29	6,67

Глубина, м	Горизонт, м	T, °C	S, ‰	[Cl], ‰	[F], мг/кг	F/Cl·10 ⁵
Станция 18, 22.11.2023						
298	2,0	0,25	34,64	19,18	1,27	6,64
	52	0,27	34,65	19,18	1,27	6,61
	130	0,67	34,81	19,27	1,28	6,65
	293	0,24	34,85	19,29	1,29	6,67
Станция 19, 24.11.2023						
360	2,5	−0,26	34,63	19,17	1,26	6,59
	180	−0,20	34,64	19,17	1,27	6,61
	270	−0,43	34,79	19,26	1,29	6,68
	355	−0,42	34,80	19,27	1,29	6,68
Станция 20, 25.11.2023						
197	2,0	−0,14	34,53	19,11	1,26	6,60
	55	0,02	34,56	19,13	1,27	6,62
	75	0,84	34,81	19,27	1,29	6,68
	192	0,12	34,82	19,27	1,29	6,67
Станция 21, 27.11.2023						
211	2,0	−0,97	34,55	19,13	1,27	6,62
	95	0,99	34,85	19,29	1,28	6,66
	140	0,49	34,86	19,29	1,29	6,67
	206	−0,02	34,84	19,29	1,29	6,67
Средние значения						
Поверхностный слой с [Cl] ≤19‰			33,58±0,80	18,59±0,44	1,22±0,03	6,58±0,02
Основная водная толща с [Cl] >19‰			34,68±0,14	19,19±0,08	1,27±0,01	6,63±0,04

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно представленным в табл. 1 результатам измерений, общей для летней и зимней съемок закономерностью распределения фтора в водах Баренцева моря, содержащих 1,14–1,29 мг F/кг, служит тенденция увеличения его концентрации с глубиной, которая коррелирует с возрастающей в этом же направлении величиной хлорности (соленостью). При этом наблюдается разделение проб с хлорностью ≤19‰, взятых в июле из поверхностного распресненного слоя, и с хлорностью >19‰, отобранных в оба сезона из основной водной толщи: в распресненных водах концентрация фтора линейно зависит от величины хлорности, описываясь уравнением

[F, мг/кг] = 0,0658[Cl, ‰], r = 0,992,

тогда как остальные пробы группируются около среднего значения 1,27 ± 0,01 мг F/кг, образуя довольно плотное облако точек (рис. 2). Это находится в соответствии с внутригодовой изменчивостью термохалинных характеристик баренцевоморских вод [Ившин, 2004; Писарев, 2021]. В летний пе-

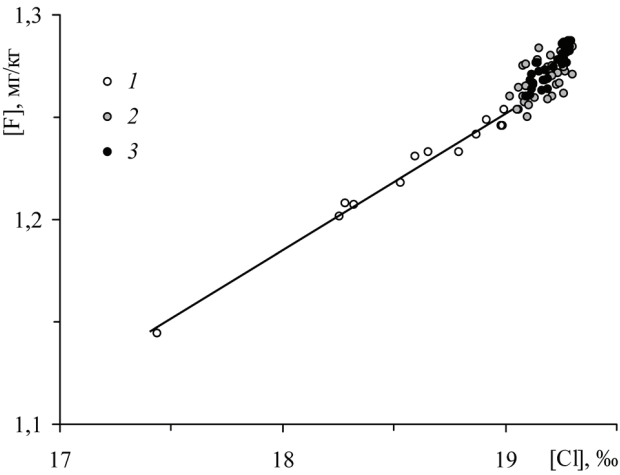


Рис. 2. Зависимость содержания фтора в водах Баренцева моря от величины хлорности:
1 – поверхностный слой с хлорностью ≤19‰, июль 2023 г.;
основная водная толща с хлорностью >19‰: 2 – июль 2023 г.;
3 – ноябрь 2023 г.

Fig. 2. Relationship of the fluorine content in the Barents Sea waters on chlorinity value:
1 – surface layer with chlorinity ≤19‰, July 2023; main water column with chlorinity >19‰: 2 – July 2023; 3 – November 2023

риод происходит распреснение прогревающегося верхнего слоя и перемещение зимней водной массы в придонные горизонты. В начале зимнего периода состояние водной толщи контролируется процессом термической конвекции, которая ко второй половине ноября достигает глубины 70–100 м, и компенсационным поднятием более теплых Атлантических вод к поверхности.

По величине массового отношения F/Cl поверхностные распресненные воды, хотя и несильно, но тоже значимо отличаются от вод с хлорностью $>19\text{‰}$: для первых среднее значение указанного параметра составляет $(6,58 \pm 0,02) \cdot 10^{-5}$, для вторых – $(6,63 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$. Формирование летом поверхностного распресненного слоя формально можно связать с действием двух факторов: таянием морского льда и проникновением речного стока половодья. Однако роль речного источника пресных вод в данном случае представляется несуще-

ственной, поскольку в стоке растворенных веществ арктических рек отношение F/Cl многократно превышает таковое в морской воде [Savenko, Savenko, 2024], приводя к его повышению в распресненных водах по сравнению с нижележащей водной толщей, тогда как материал наблюдений показывает прямо противоположную картину.

Полученные для Баренцева моря значения массового отношения F/Cl хорошо согласуются с данными для наиболее близко расположенных районов Северной Атлантики: пролива между Гренландией и Шпицбергом $((6,68 \pm 0,11) \cdot 10^{-5})$ и окрестностей Фарерско-Исландского порога $((6,75 \pm 0,08) \cdot 10^{-5})$ [Jones, Warner, 1975]. Эти и определенные нами в водах Баренцева моря величины отношения F/Cl являются типичными для открытого океана (табл. 2), что подтверждает известный факт высокой степени однородности основного солевого состава морской воды.

Таблица 2

Массовое отношение F/Cl в водах Мирового океана

Местоположение, число проб	$F/Cl \cdot 10^5$	Ссылка
Северная Атлантика, $n = 63$, в том числе:	6,97	[Thompson, Taylor, 1933]
открытый океан	6,85	«
прибрежные воды	7,18	«
Северная и Южная Атлантика, Тихий и Индийский океаны*, $n = 300$	$6,7 \pm 0,1$	[Greenhalgh, Riley, 1963; Riley, 1965]
Северная Атлантика**, $n = 28$	$7,03 (6,65-7,99)$	[Riley, 1965]
Северная Атлантика, $n = 200$	$6,9 \pm 0,1$	[Brewer et al., 1970]
Северная Атлантика, юго-восточный склон Большой Банки	$6,9-7,6$	[Kester, 1971]
Северная Атлантика, разрез юго-восточный склон Большой Банки – Азорские о-ва	$6,70 \pm 0,1$	«
Северная Атлантика, южнее Азорских о-вов, $n = 26$	$6,82 \pm 0,18$	[Bewers, 1971]
Срединно-Атлантический хребет, $45-46^\circ$ с.ш., $27-28^\circ$ з.д., $n = 126$	$6,81 \pm 0,12$	«
Северная Атлантика, прибрежные воды штата Джорджия, США, $n = 100$	$6,9 \pm 0,1$	[Windom, 1971]
Северная Атлантика, $61-65$ с. ш., $6-14^\circ$ з. д., $n = 19$	$6,75 \pm 0,08$	[Jones, Warner, 1975]
То же, $76-80^\circ$ с.ш., 5° з.д. – 7° в.д., $n = 97$	$6,68 \pm 0,11$	«
То же, $70-74$ с.ш., $7-33^\circ$ в.д., $n = 35$	$6,59 \pm 0,11$	[Савенко и др., 2023]
Северная Атлантика, Тихий океан, Карибское море, $n = 224$	$6,75 \pm 0,03$	[Warner, 1971]
Тропики северной части Тихого океана, Карибское море, Лабрадорский бассейн, район хребта Рейкьянес, $n = 4$	$6,71 \pm 0,07$	[Warner et al., 1975]
Индийский океан, Бенгальский залив, $0-3000$ м, $n = 197$	$6,81 \pm 0,02$	[Sen Gupta et al., 1978]
То же, Манарский залив, $0-2000$ м, $n = 31$	$6,92 \pm 0,04$	«
То же, Аравийское море, $0-1000$ м, $n = 38$	$6,97 \pm 0,03$	«
То же, прибрежные воды западного побережья Индии	$6,83 \pm 0,02$	[Naik, Dias, 1982]

Примечание. * «Нормальные» воды, не показывающие значительного увеличения концентрации фтора с глубиной.

** Воды из районов, в которых наблюдалось аномальное повышение концентрации фтора с глубиной.

ВЫВОДЫ

Для Баренцева моря средняя концентрация растворенного фтора в образующемся в летний период поверхностном распресненном слое с хлорностью $\leq 19\%$ равна $1,22 \pm 0,03$ мг/кг, тогда как в основной водной толще с хлорностью $>19\%$ она составляет $1,27 \pm 0,01$ мг/кг. Массо-

вое отношение F/Cl для вод с хлорностью $\leq 19\%$ и $>19\%$ принимает значения $(6,58 \pm 0,02) \cdot 10^{-5}$ и $(6,63 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$. По величине отношения F/Cl воды Баренцева моря близко соответствуют акватории открытого океана, что подтверждает высокую степень однородности основного солевого состава морской воды.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ившин В.А. Вертикальная термохалинная и плотностная структура Баренцева моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2004. 98 с.
- Писарев С.В. Обзор гидрологических условий Баренцева моря // Система Баренцева моря. М.: ГЕОС, 2021. С. 153–166.
- Савенко А.В., Савенко В.С., Новигатский А.Н. Фтор в водах Северной Атлантики // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. № 1. С. 143–147.
- Савенко В.С. Введение в ионометрию природных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 77 с.
- Bewers J.M. North Atlantic fluoride profiles, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 2, p. 237–241.
- Brewer P.G., Spencer D.W., Wilkiss P.E. Anomalous fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1970, vol. 17, no. 1, p. 1–7.
- Greenhalgh R., Riley J.P. Occurrence of abnormally high fluoride concentration at depth in the oceans, *Nature*, 1963, vol. 197, no. 4865, p. 371–372.
- Jones M.M., Warner T.B. Fluoride in seawater north and east of Iceland, *J. Geophys. Res.*, 1975, vol. 80, no. 18, p. 2695.
- Kester D.R. Fluoride chlorinity ratio of seawater between the Grand Banks and the Mid-Atlantic Ridge, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 11, p. 1123–1126.
- Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea, *Polar Res.*, 1991, vol. 10, no. 1, p. 5–18.
- Naik S., Dias C.M. On the distribution of fluoride, calcium and magnesium in the waters of the central west coast of India, *Mahasagar. Bull. Nat. Inst. Oceanogr.*, 1982, vol. 15, no. 1, p. 23–28.
- Riley J.P. The occurrence of anomalously high fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1965, vol. 12, no. 2, p. 219–220.
- Savenko A.V., Savenko V.S. Trace element composition of the dissolved matter runoff of the Russian Arctic rivers, *Water*, 2024, vol. 16, no. 4, article number 565, p. 1–13.
- Sen Gupta R., Naik S., Singbal S.Y.S. A study of fluoride, calcium and magnesium in the Northern Indian Ocean, *Marine Chem.*, 1978, vol. 6, no. 2, p. 125–141.
- Thompson T.G., Taylor H.J. Determination and occurrence of fluorides in seawater, *Ind. Eng. Chem., Anal. ed.*, 1933, vol. 5, no. 2, p. 87–89.
- Warner T.B. Normal fluoride content of seawater, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 12, p. 1255–1263.
- Warner T.B., Jones M.M., Miller G.R. et al. Fluoride in seawater: Intercalibration study based on electrometric and spectrophotometric methods, *Analyt. Chim. Acta*, 1975, vol. 77, no. 1, p. 223–228.
- Windom H.L. Fluoride concentration in coastal and estuarine waters, *Limnol. and Oceanogr.*, 1971, vol. 16, no. 5, p. 806–810.

Поступила в редакцию 19.09.2024

После доработки 15.12.2024

Принята к публикации 21.01.2025

FLUORINE IN THE BARENTS SEA WATERS

A.V. Savenko¹, V.S. Savenko², D.N. Belikov³

^{1–3} Lomonosov Moscow State University

³ Marine Research Center

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 Engineer; e-mail: belikov.danylo@yandex.ru

First data on the fluorine content in the Barents Sea waters were obtained. According to the results of direct potentiometric measurements, the fluorine concentration is in the range of 1,14–1,29 mg/kg, increasing with

growing chlorinity (salinity). The average F/Cl mass ratio is equal to $(6,58 \pm 0,02) \cdot 10^{-5}$ for surface desalinated layer with chlorinity $\leq 19\text{‰}$ and to $(6,63 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$ for the main water column with chlorinity $>19\text{‰}$. The value of the F/Cl ratio in the Barents Sea waters closely corresponds to that of the World Ocean, including the North Atlantic.

Keywords: Barents Sea, seawater, fluorine content, F/Cl mass ratio, direct potentiometry

Acknowledgements. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 24-17-00088; <https://rscf.ru/en/project/24-17-00088/>).

REFERENCES

- Bewers J.M. North Atlantic fluoride profiles, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 2, p. 237–241.
- Brewer P.G., Spencer D.W., Wilkiss P.E. Anomalous fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1970, vol. 17, no. 1, p. 1–7.
- Greenhalgh R., Riley J.P. Occurrence of abnormally high fluoride concentration at depth in the oceans, *Nature*, 1963, vol. 197, no. 4865, p. 371–372.
- Ivshin V.A. *Vertikal'naya termokhalinnaya i plotnostnaya struktura Barentseva moray* [Vertical thermohaline and density structure of the Barents Sea], Murmansk, Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography Publ., 2004, 98 p. (In Russian)
- Jones M.M., Warner T.B. Fluoride in seawater north and east of Iceland, *J. Geophys. Res.*, 1975, vol. 80, no. 18, p. 2695.
- Kester D.R. Fluoride chlorinity ratio of sea water between the Grand Banks and the Mid-Atlantic Ridge, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 11, p. 1123–1126.
- Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea, *Polar Res.*, 1991, vol. 10, no. 1, p. 5–18.
- Naik S., Dias C.M. On the distribution of fluoride, calcium and magnesium in the waters of the central west coast of India, *Mahasagar. Bull. Nat. Inst. Oceanogr.*, 1982, vol. 15, no. 1, p. 23–28.
- Pisarev S.V. [Review of the Barents Sea hydrological conditions], *Sistema Barentseva moray* [The Barents Sea system], Moscow, GEOS Publ., 2021, p. 153–166. (In Russian)
- Riley J.P. The occurrence of anomalously high fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1965, vol. 12, no. 2, p. 219–220.
- Savenko A.V., Savenko V.S. Trace element composition of the dissolved matter runoff of the Russian Arctic rivers, *Water*, 2024, vol. 16, no. 4, article number 565, p. 1–13.
- Savenko A.V., Savenko V.S., Novigatsky A.N. Ftor v vodakh Severnoi Atlantiki [Fluorine in the North Atlantic waters], *Vestn. MGU, Ser. 5, Geogr.*, 2023, no. 1, p. 143–147. (In Russian)
- Savenko V.S. *Vvedeniye v ionometriyu prirodnikh vod* [Introduction to the ionometry of natural waters], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 77 p. (In Russian)
- Sen Gupta R., Naik S., Singbal S.Y.S. A study of fluoride, calcium and magnesium in the Northern Indian Ocean, *Marine Chem.*, 1978, vol. 6, no. 2, p. 125–141.
- Thompson T.G., Taylor H.J. Determination and occurrence of fluorides in sea water, *Ind. Eng. Chem., Anal. ed.*, 1933, vol. 5, no. 2, p. 87–89.
- Warner T.B. Normal fluoride content of seawater, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 12, p. 1255–1263.
- Warner T.B., Jones M.M., Miller G.R., Kester D.R. Fluoride in sea water: Intercalibration study based on electrometric and spectrophotometric methods, *Analyt. Chim. Acta*, 1975, vol. 77, no. 1, p. 223–228.
- Windom H.L. Fluoride concentration in coastal and estuarine waters, *Limnol. and Oceanogr.*, 1971, vol. 16, no. 5, p. 806–810.

Received 19.09.2024

Revised 15.12.2024

Accepted 21.01.2025