

8. Горлачева Е.П., Афонин А.В. Проблема внедрения чужеродных видов рыб в Верхнеамурском бассейне // Современные проблемы экологической безопасности трансграничных регионов. Новосибирск: Наука, 2013. С. 146–157.

9. Горлачёва Е.П., Афонин А.В. Причины изменения качественного и количественного состава ихтиофауны водотоков Верхнего Амура // VIII съезд гидробиологического общества РАН. Калининград, 2001. С. 95–97.

10. Афонина Е.Ю., Афонин А.В. Фауна рыб и планктонных беспозвоночных некоторых притоков верхнего течения реки Онон (Забайкальский край) // Амурский зоологический журнал. 2015. Т. VII (1). С. 3–13.

### References

1. Reshetnik O.S. The Anthropogenic transformation of the water bodies of the European North of Russia // Russian Journal of General Chemistry. 2010. V. 80. No. 13. P. 2738–2753.

2. Surface water resources of the USSR. Vol. 18. Far East. Issue 1. Amur / Ed. C.D. Shabalin. L.: Gidrometeorologicheskoye izd., 1966. 488 p. (in Russian).

3. Kiselev I.A. Plankton in the seas and inland waters. Leningrad: Nauka, 1969. V. 1. 658 p. (in Russian).

4. Pravdin I.F. A Fish study guide. M.: Pishchevaya promyshlennost, 1966. 376 p. (in Russian).

5. Chugunova N.N. Guidance on studying the age and growth of fish. Moskva: Izd. AN SSSR, 1959. 164 p. (in Russian).

6. Vainshtein B.A. Estimation of similarity between biocenoses // Biology, morphology and systematics of aquatic organisms. Leningrad: Nauka, 1976. P. 156–164 (in Russian).

7. Megarran E. Ecological diversity and its measurement. Moskva: Mir, 1992. 198 p. (in Russian).

8. Gorlacheva E.P., Afonina A.V. The problem of alien species introduction in the Upper Amur basin // Modern problems of ecological safety in cross-border regions. Novosibirsk: Nauka, 2013. P. 146–157 (in Russian).

9. Gorlacheva E.P., Afonina A.V. Reasons for qualitative and quantitative composition changes of fish fauna in the Upper Amur rivers // VIII RAS Hydrobiological Society Congress. Kaliningrad, 2001. P. 95–97 (in Russian).

10. Afonina E.Yu., Afonin A.V. Fauna of fishes and planktonic invertebrates in some tributaries of the upper Onon river (Zabaikalskykrai) // Amurian Zoological Journal. 2015. V. VII (1). P. 3–13 (in Russian).

УДК 543.3

## Содержание фторид-ионов в поверхностных водах урбанизированных территорий Московского региона

© 2017. Д. Б. Петренко, старший преподаватель,  
О. А. Гладнева, магистрант,

К. А. Ворончихина, мастер производственного обучения,  
Н. В. Васильев, д. х. н., профессор, заведующий кафедрой,  
Московский государственный областной университет,  
141014, Россия, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Володиной, 24,  
e-mail: DBPetrenko@yandex.ru, Gladneva93@mail.ru,  
voronchikhina.ksenia@yandex.ru, nikolai-vasiliev@mail.ru

Приводятся результаты оценки содержания фторид-ионов в поверхностных водах урбанизированных территорий Московского региона. Концентрации фторид-ионов в исследованных водоёмах находятся в диапазоне 0,09–1,1 мг/дм<sup>3</sup> и в большинстве случаев не превышают предельно допустимую концентрацию (0,75 мг/дм<sup>3</sup>). В 83% случаев концентрации фторид-ионов не превышают фоновых значений. Обнаружен ряд гидрохимических аномалий с повышенными содержаниями фторид-ионов относительно фоновых значений. Рассмотрено влияние состава вод на накопление ими фторид-ионов. Показано, что концентрация фторидов варьирует независимо от минерализации, рН, Eh, цветности, жёсткости и содержания отдельных катионов и анионов. Для поверхностных малокальциевых гидрокарбонатно-натриевых вод урбанизированных территорий Московского региона характерны более высокие концентрации фтора, чем для вод со сравнительно высоким содержанием кальция.

**Ключевые слова:** фторид-ионы, Московский регион, поверхностные воды, урбанизированные территории.

## Content of fluoride ions in surface waters in urbanized territories of the Moscow region

D. B. Petrenko, O. A. Gladneva, K. A. Voronchikhina, N. V. Vasiliev,  
 Moscow State Regional University,  
 24 V. Voloshinoy St., Mytishi, Moscow region, Russia, 141014,  
 e-mail: DBPetrenko@yandex.ru, Gladneva93@mail.ru,  
 voron-chikhina.ksenia@yandex.ru, nikolai-vasiliev@mail.ru

The results of assessment of fluoride ion content in surface waters of urbanized territories of Moscow region, using ionometry with a fluoride-selective electrode, are given. Fluoride concentrations in the studied reservoirs are in the range of 0.09–1.1 mg/dm<sup>3</sup> and in most cases do not exceed the maximum allowable concentration of 0.75 mg/dm<sup>3</sup>. In 83% of cases the concentration of fluoride ions does not exceed background values. A number of hydrochemical anomalies with increased fluoride ion contents relative to the background values were found. Using the methods of flame photometry, spectrophotometry, titrimetry, conductometry and ionometry, the most important hydrochemical characteristics of the investigated samples were determined. The influence of the composition of water on accumulation of fluoride ions is considered. It is shown that the concentration of fluorides varies irrespective of mineralization, pH, Eh, chromaticity, harshness, and content of individual ions: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>. Calculation of fluoride ion concentrations in equilibrium solutions with fluorite showed that concentrations of fluoride ion can reach much higher values in the range of Ca<sup>2+</sup> concentrations corresponding to the investigated samples. This fact indicates an insignificant intake of fluoride into the reservoirs of the investigated territories and deposition of its excess quantities coming from the air with sediments in the upper layers of soil. The influence of the mole fraction of calcium and the ratios of the concentrations of Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> in waters on accumulation of fluoride ions is examined. It has been established that for surface, low-calcium, hydrocarbonate-sodium waters of urbanized territories of Moscow region higher concentrations of fluorine are characteristic, as compared with waters with a relatively high content of calcium.

**Keywords:** fluoride ion, Moscow region, surface water, urban areas.

Фтор является 13-м по распространённости элементом и относится к микроэлементам, отвечающим за поддержание необходимых количеств фторида кальция в костных тканях и, таким образом, за функции опорно-двигательной системы человека. Предельно допустимая концентрация фторид-ионов в питьевой воде составляет 1,5 мг/дм<sup>3</sup> [1], а суточная потребность для человека находится в интервале 0,5–1,5 мг, и на две трети обеспечивается за счёт питьевой воды. Избыточные количества фторид-ионов приводят к флюорозу. Фтор – это один из немногих элементов, необходимое содержание которого отличается от патогенного менее, чем на порядок, что обуславливает необходимость постоянного контроля его концентраций в природных объектах [2].

В работах последних лет на примере участков, прилегающих к крупным автомагистралям Московского региона, показано [3–4], что автотранспорт может служить серьёзным источником загрязнения окружающей среды фторид-ионами. При изучении поверхностных и грунтовых вод бассейна р. Клязьма получены данные о том, что вблизи городских территорий наблюдается повышенное содержание фторид-ионов [5], однако в целом его содержание в водах Московского региона недостаточно изучено.

Целью настоящей работы явилось проведение оценки содержания фторид-ионов в поверхностных водах урбанизированных территорий Московского региона и изучение возможности формирования фторидных гидрохимических аномалий при антропогенном воздействии.

### Материалы и методы исследования

Отбор проб природных вод осуществляли на территории Московского региона, главным образом, в пунктах, приближенных к автомобильным дорогам. Всего в ходе исследования отобрано 58 проб природных вод из 16 водоёмов. В каждом пункте отбирали несколько точечных проб воды на расстоянии 30–70 м друг от друга. На территории г. Мытищи проводили более подробные исследования, было отобрано 16 проб воды из реки Яуза. Пробы отбирали в пластиковую тару объёмом 1,5 дм<sup>3</sup> с глубины 0–30 см в соответствии с рекомендациями, приведёнными в [6].

Определение фторид-ионов проводили ионометрическим методом [7] с использованием электродной системы, состоящей из фторид-селективного электрода «ЭЛИТ-221» и вспомогательного хлорид-серебряного электрода «ЭВЛ-1МЗ». Измерение потенциала

фторидного электрода проводили рН-метр/иономером «HANNA-221» с точностью  $\pm 0,1$  мВ. Предел обнаружения методики составляет  $0,02$  мг/дм<sup>3</sup>, относительная погрешность методики при содержании фторид-ионов  $0,02$ – $1,0$  мг/дм<sup>3</sup> –  $11\%$  отн., при содержании фторид-ионов  $1,0$ – $1900$  мг/дм<sup>3</sup> –  $4\%$  отн.

Химико-аналитическое определение состава вод осуществляли по общепринятым методикам [8]. Содержание щелочных и щелочноземельных металлов в водах определяли методом фотометрии пламени на фотометре ФПА-2-01. Цветность определяли фотометрическим методом. Определение общей жёсткости и концентрации гидрокарбонат-ионов проводили титриметрическим методом. Фосфат-ионы и ионы аммония определяли фотометрическими методами с использованием молибдата аммония и реактива Несслера на спектрофотометре «Spekol-11». Определение нитрат- и хлорид-ионов проводили ионометрическим методом на рН-метре-иономере «Эксперт-001» с использованием ионоселективных электродов ЭЛИС-121 и ЭЛИС-131 [7].

Определение общей минерализации проводили кондуктометрическим методом [9] с использованием кондуктометра «Эксперт-002».

### Результаты и их обсуждение

Данные о содержании фторид-ионов в исследованных образцах воды приведены в таблице 1. Из представленных данных видно, что содержание фторид-ионов в исследованных водоёмах находится в диапазоне  $0,09$ – $1,1$  мг/дм<sup>3</sup> и только в единственном случае (р. Яуза, пересечение с Ярославским шоссе) наблюдается превышение предельно допустимой концентрации для рыбохозяйственных водоёмов – более  $0,75$  мг/дм<sup>3</sup>.

Среднее содержание фторид-ионов в изученных пробах в целом не превышает фоновое значение и составляет  $0,23$  мг/дм<sup>3</sup>, что незначительно отличается от среднего значения для грунтовых вод в зоне умеренного климата ( $0,26$  мг/дм<sup>3</sup> [11]) и данных работы [5], в которой показано, что фоновое значение концентрации фторид-иона для р. Клязьмы и 28

Таблица 1

Содержание фторид-ионов в поверхностных водах водоёмов Московской области

№ п/п	Водоём	Населённый пункт	Координаты точки отбора проб		Содержание фторид-ионов (n = 3; P = 0,95)
			широта, ° с. ш.	долгота, ° в. д.	
1	Б. Перовский пруд	г. Москва	55.74219	37.79379	0,14±0,02
2	Келарский пруд	г. Сергиев Посад	56.30339	38.12508	0,21±0,01
3			56.30545	38.12823	0,18±0,01
4			56.30615	38.13056	0,26±0,03
5	Левашовский пруд	г. Серпухов	55.94535	37.51849	0,14±0,01
6			55.94906	37.52712	0,14±0,01
7			54.95090	37.53224	0,19±0,01
8	Медвежьи озера	пос. Новый городок	56.52892	37.60773	0,15±0,01
9			55.83661	37.94510	0,16±0,02
10	оз. Белое	г. Москва	55.71996	37.85061	0,14±0,01
11	оз. Черное		55.72388	37.84435	0,14±0,01
12	р. Дубна	д. Сущево	56.57206	37.76010	0,22±0,01
13		д. Вербилки	56.52892	37.60773	0,15±0,02
14		д. Вотря	56.59029	37.52958	0,21±0,01
15	р. Ичка	г. Москва	55.88951	37.71070	0,17±0,03
16			55.88854	37.69053	0,17±0,01
17			55.88480	37.71794	0,17±0,01
18	р. Клязьма	г. Щелково	55.92319	37.99491	0,16±0,02
19			55.91630	38.04810	0,23±0,03
20			55.91153	38.10774	0,16±0,03
21	р. Клязьма	г. Королев	55.93500	37.86778	0,17±0,03
22			55.93139	37.87083	0,09±0,01
23			55.94824	37.87309	0,16±0,02

# МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Водоём	Населённый пункт	Координаты точки отбора проб		Содержание фторид-ионов (n = 3; P = 0,95)
			широта, ° с. ш.	долгота, ° в. д.	
24	р. Клязьма	д. Обухово	55.83973	38.28399	0,20±0,01
25			55.83945	38.28329	0,16±0,04
26			55.83914	33.28283	0,19±0,04
27	р. Лопасня	г. Чехов	55.14122	37.45095	0,50±0,01
28			55.13928	37.45136	0,58±0,01
29			55.13916	37.45606	0,62±0,01
30	р. Москва	пос. Беседы	55.62276	37.79215	0,26±0,02
31			55.61972	37.79472	0,22±0,01
32			55.61472	37.79555	0,33±0,02
33	р. Нара	д. Любаново	55.72388	37.84435	0,15±0,01
34			56.00958	37.85654	0,17±0,03
35			56.00308	37.86980	0,19±0,01
36	р. Пехорка	г. Балашиха	55.87574	37.99818	0,20±0,03
37	р. Рожайка	с. Молоди	55.16330	37.30350	0,63±0,03
38			55.16390	37.30570	0,69±0,09
39			55.16270	37.31150	0,55±0,03
40	р. Серебрянка	г. Пушкино	55.44548	36.60965	0,17±0,03
41			54.95090	37.53224	0,17±0,01
42			55.44859	36.52642	0,15±0,01
43	р. Яуза	г. Мытищи	55.89802	37.71276	0,11±0,04
44			55.89723	37.72776	0,23±0,03
45			55.74860	37.64333	0,24±0,03
46			55.90960	37.75480	0,25±0,04
47			55.90990	37.75120	0,22±0,01
48			55.90217	37.73148	0,20±0,01
49			55.90834	37.76776	0,22±0,06
50			55.90741	37.74441	0,23±0,03
51			55.90730	37.76891	0,11±0,01
52			55.89472	37.68512	0,28±0,01
53			55.90433	37.73761	0,22±0,01
54			55.90474	37.73834	0,21±0,02
55			55.90210	37.73147	0,23±0,01
56			55.89500	37.68528	0,36±0,02
57			55.89639	37.68611	0,38±0,01
58			55.89694	37.68750	1,10±0,10
ПДК <sub>рх</sub> [10]					0,75

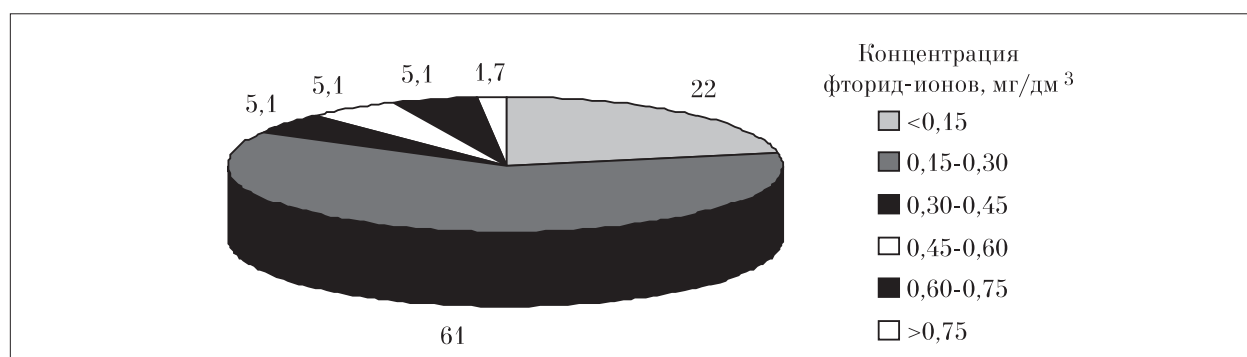


Рис. 1. Доля проб с различными концентрациями фторид-ионов от общего числа исследованных проб

Таблица 2

Важнейшие показатели состава исследованных образцов и коэффициенты их корреляции с содержанием фторид-ионов

Показатель	Ед. изм.	Диапазон значений	Среднее значение	Коэффициент корреляции с содержанием фторид-ионов
Общая минерализация	мг/дм <sup>3</sup>	97–900	400	0,35
рН	ед.	5,75–8,60	7,0	-0,14
Еh	мВ	-120–+ 470	405	-0,37
Цветность	град.	20–460	94	-0,17
Общая жёсткость	ммоль/дм <sup>3</sup>	0,2–7,6	4,8	0,31
НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	60–500	300	0,25
РО <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<0,05–1,2	0,4	0,14
Сl <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	1–120	0,03	0,03
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	1,7–22	5,2	0,21
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<0,04–1,55	0,28	0,36
Na <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	7–120	35	0,46
K <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,5–74	9,0	0,21
Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	12–76	43	-0,21
Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	8–41	21	0,36

малых рек Московской области составляет 0,28 мг/дм<sup>3</sup>. На рисунке 1 приведена диаграмма, отражающая распределение доли проб с различными концентрациями фторид-ионов от общего числа исследованных образцов.

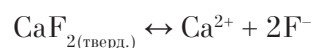
Полученные данные, приведённые на рисунке 1, свидетельствуют, что в 83% случаев концентрация фторид-ионов не превышает фоновых значений. Вместе с тем, обнаружено несколько гидрохимических фторидных аномалий. Содержание фторид-ионов в одной пробе, отобранной из р. Яуза на её пересечении с МКАД, составило 1,1 мг/дм<sup>3</sup>, по сравнению с другими пятнадцатью пробами, отобранными из этого водоёма на территории г. Мытищи и содержащими 0,11–0,38 мг/дм<sup>3</sup> F<sup>-</sup>. Обращают на себя внимание также повышенное содержание фторид-ионов в р. Рожайка (0,55–0,69 мг/дм<sup>3</sup>) и р. Лопасня (0,50–0,62 мг/дм<sup>3</sup>). Поскольку на берегах обоих водоёмов ведётся активная сельскохозяйственная деятельность, повышенное содержание фторид-ионов может быть связано с его поступлением в почвы, а затем в воды в результате внесения фосфорных удобрений. Возможно также его накопление в результате выбросов автотранспорта.

Концентрация фторид-ионов в природных водах в существенной мере определяется их компонентным составом. В этой связи нами рассмотрено влияние состава вод на накопление ими фторид-ионов. В таблице 2 представлены данные, характеризующие важнейшие показатели состава исследованных вод, а также приведены коэффициенты корреля-

ции между содержанием фторид-ионов и этими показателями

Судя по низким коэффициентам корреляции ( $r < 0,46$ ), концентрация фторид-ионов изменяется независимо от рН, Еh, цветности, жёсткости и содержания отдельных ионов.

Максимально возможная концентрация фторид-ионов в природных водах в первую очередь определяется концентрацией Ca<sup>2+</sup> и ограничивается растворимостью флюорита:



Равновесие между флюоритом и водным раствором может быть записано в виде:

$$K_{sp}^0(\text{CaF}_2) = [\text{Ca}^{2+}]f_{\text{Ca}^{2+}}[\text{F}^{-}]^2f_{\text{F}^{-}}^2,$$

где  $K_{sp}^0(\text{CaF}_2)$  – произведение растворимости CaF<sub>2</sub>,  $f_{\text{Ca}^{2+}}$  и  $f_{\text{F}^{-}}$  – коэффициенты активности ионов Ca<sup>2+</sup> и F<sup>-</sup> соответственно. Решив приведённое уравнение относительно фторид-ионов и подставив в него величину произведения растворимости CaF<sub>2</sub>, равную  $3,08 \cdot 10^{-11}$  [12], а также пересчитав концентрации из моль/дм<sup>3</sup> в мг/дм<sup>3</sup> (пренебрегая разницей между активностями и концентрациями ионов), получим следующее уравнение, описывающее зависимость между концентрациями Ca<sup>2+</sup> и F<sup>-</sup> в водном растворе, находящемся в равновесии с флюоритом:

$$c\text{F}^{-} = 16,44\sqrt{\frac{1}{c\text{Ca}^{2+}}},$$

где  $cF^-$  – концентрация  $F^-$ , мг/дм<sup>3</sup>;  $cCa^{2+}$  – концентрация  $Ca^{2+}$ , мг/дм<sup>3</sup>.

Расчёт концентраций фторид-ионов в растворах равновесных с флюоритом показал, что в диапазоне концентраций  $Ca^{2+}$  5–80 мг/дм<sup>3</sup>, соответствующим его содержаниям в исследованных пробах, концентрации фторид-ионов могут достигать больших значений, чем имеющиеся (рис. 2).

Из данных рисунка 2 следует, что при имеющихся содержаниях  $Ca^{2+}$  поверхностные воды придорожных территорий способны накапливать фторид-ионы в концентрациях, по крайней мере, до 2 мг/дм<sup>3</sup>. Проведённые расчёты свидетельствуют о незначительности поступления фторид-ионов в водоёмы исследованных территорий. Фторид-ионы, поступая в избыточных количествах из воздуха с осад-

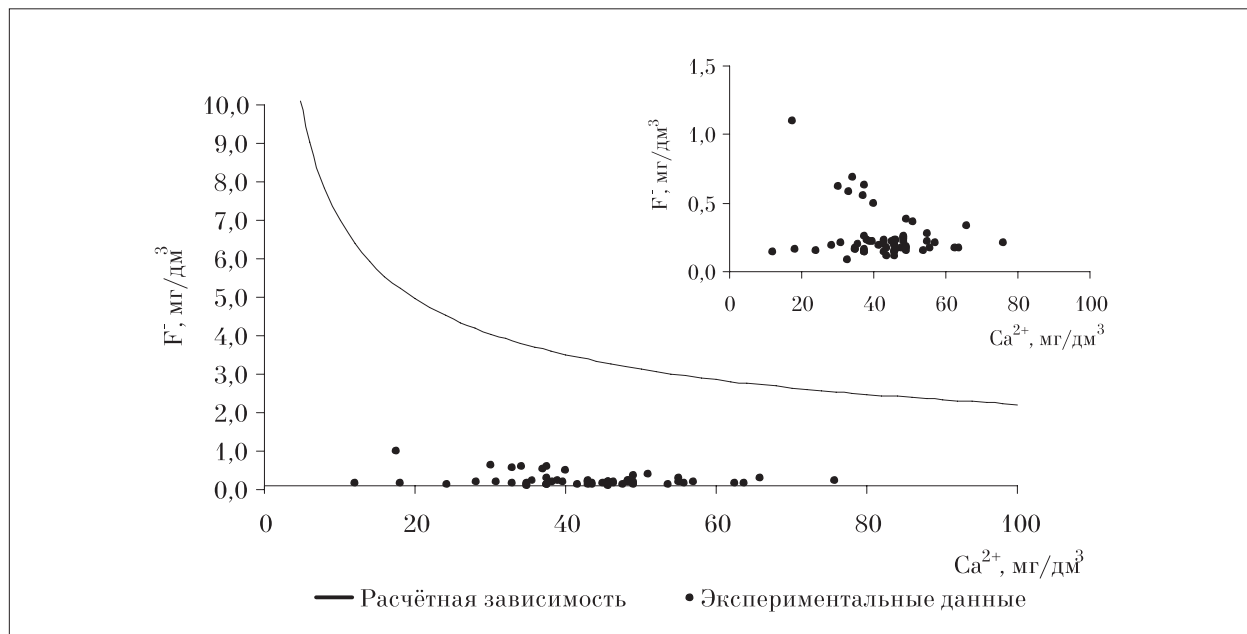


Рис. 2. Значения содержания  $F^-$  в зависимости от содержания  $Ca^{2+}$  в пробах поверхностных вод Московской области. Расчётная зависимость отвечает содержанию фторид-иона в растворах, равновесных с флюоритом

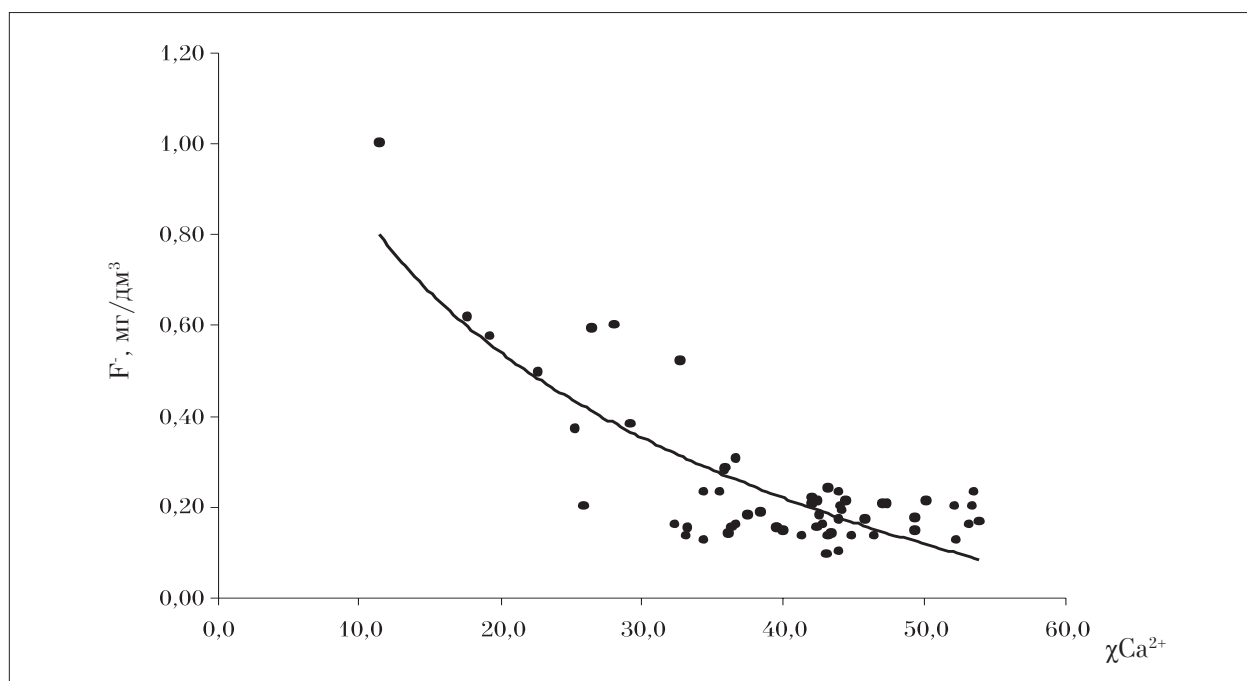
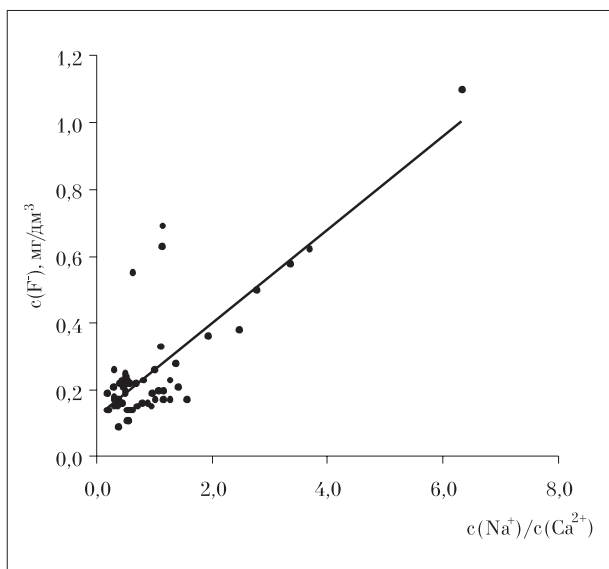
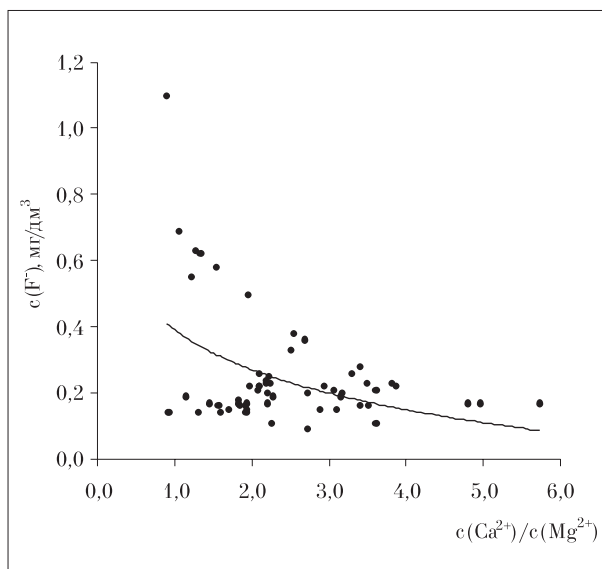


Рис. 3. Зависимость концентрации фторид-ионов в водах от мольной доли  $Ca^{2+}$ .  
Уравнение зависимости:  $c(F^-) = -0,459 \cdot \ln(\chi Ca^{2+}) + 1,9152$ ;  $R = 0,78$



**Рис. 4.** Зависимость содержания фторид-ионов от отношения концентраций  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  в пробах поверхностных вод Московской области. Уравнение зависимости:  $c(\text{F}^-) = 0,1306 \cdot (c(\text{Na}^+)/c(\text{Ca}^{2+})) + 0,1183$ ;  $R = 0,77$



**Рис. 5.** Зависимость содержания фторид-ионов от отношения концентраций  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  в пробах поверхностных вод Московской области. Уравнение зависимости:  $c(\text{F}^-) = -0,142 \ln(c(\text{Ca}^{2+})/c(\text{Mg}^{2+})) + 0,3476$ ;  $R = 0,39$

ками, в результате седиментации или абсорбции растениями и гумусом депонируются в верхних слоях почвы, не мигрируя в водоёмы.

Концентрация фторид-ионов в природных водах в существенной мере зависит от соотношений концентраций важнейших катионов. В этой связи нами рассмотрены зависимости концентраций фторид-ионов от мольной доли ионов кальция и отношений концентраций  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ :

$$\chi_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+]} \cdot 100\%.$$

Можно видеть (рис. 3), что среди исследованных вод в основном преобладают воды с существенной или средней долей кальция.

Это содержание соответствует низкому содержанию фторид-ионов. Снижение содержания кальция приводит к некоторому повышению концентрации фторид-ионов, а в одном случае (проба № 58) (Мытищи), мольная доля кальция оказалась незначительной, что привело к резкому увеличению концентрации фторид-ионов в воде (рис. 4). Полученные данные о тесной взаимосвязи между долей кальция в катионном составе вод и содержанием в них фторид-ионов согласуются с данными работы [13], в которой подобная закономерность выявлена на примере вод Обь-Иртышского междуречья.

Менее однозначный характер имеет влияние на концентрацию фторид-ионов соотно-

шений  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  (рис. 4–5), которые достаточно часто применяются для анализа причин миграций фторид-ионов в природных условиях.

### Заключение

Несмотря на зафиксированное ранее накопление фторид-ионов в природных объектах Московского региона, концентрация фторид-ионов в исследованных водоёмах находятся в диапазоне 0,09–1,1 мг/дм<sup>3</sup>, и только в единственном случае (р. Яуза, пересечение с Ярославским шоссе) наблюдается превышение предельно допустимой концентрации для рыбохозяйственных водоёмов (0,75 мг/дм<sup>3</sup>).

Ответственными за поддержание невысоких концентраций фторид-иона в природных водах являются барьерные функции почв. Для поверхностных малокальциевых гидрокарбонатно-натриевых вод придорожных территорий Московского региона характерны более высокие концентрации фторид-ионов, чем для вод со сравнительно высоким содержанием кальция, что подтверждает известные закономерности гидрохимического поведения фторид-ионов.

### Литература

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизован-

ных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М., 2002. 84 с.

2. Selinus O., Alloway B.J. Essentials of medical geology: impacts of the natural environment on public health. Burlington, MA: Elsevier Academic Press, 2005. 812 p.

3. Петренко Д.Б., Нестеров И.С., Якунина Ю.Н., Новикова Н.Г., Корсакова Н.В., Васильев Н.В. Фтор в почвах придорожных территорий Московской области // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. 2013. № 4. С. 75–79.

4. Петренко Д.Б., Новикова Н.Г., Дмитриева В.Ю., Нестеров И.С., Корсакова Н.В., Кривман Л.В., Васильев Н.В. Фтор в растениях придорожных территорий Московской области (на примере Ярославского шоссе, г. Мытищи) // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. 2014. № 5. С. 48–54.

5. Савенко В.С., Зезин Д.Ю., Савенко А.В. Фтор в поверхностных и грунтовых водах бассейна среднего течения р. Клязьмы // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 5. С. 544–552.

6. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.

7. ФР.1.31.2005.01774. Методика выполнения измерений водородного показателя (рН), общей жёсткости, массовых концентраций Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, F<sup>-</sup> и других ионов в водных средах методом потенциометрии. М.: Эконикс-эксперт, 2005. 127 с.

8. Унифицированные методы анализа вод / Под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1973. 376 с.

9. Atekwana E.A., Atekwana E.A., Rowe R.S., Werkema D.D.Jr., Legalld F.D. The relationship of total dissolved solids measurements to bulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon // Journal of Applied Geophysics. 2004. V. 56. P. 281–294.

10. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

11. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.

12. Garand A., Mucci A. The solubility of fluorite as a function of ionic strength and solution composition at 25 °C and 1 atm total pressure // Marine Chemistry. 2004. V. 91. P. 27–35.

13. Ермолов Ю.В. О содержании фтора в природных водах южной части Обь-Иртышского междуречья // Сибирский экологический журнал. 2009. № 2. С. 319–325.

## References

1. SanPiN 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Moskva, 2002. 84 p. (in Russian).

2. Selinus O., Alloway B.J. Essentials of medical geology: impacts of the natural environment on public health. Burlington, MA: Elsevier Academic Press, 2005. 812 p.

3. Petrenko D.B., Nesterov I.S., Yakunina Yu.N., Novikova N.G., Korsakova N.V., Vasiliev N.V. Fluoride in roadside soils of Moscow region // Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennye nauki. 2013. No. 4. P. 75–79 (in Russian).

4. Petrenko D.B., Novikova N.G., Dmitrieva V.Yu., Nesterov I.S., Korsakova N.V., Krigman L.V., Vasiliev N.V. Fluoride in roadside plants of Moscow region (Yaroslavl'skoe high-way, Mytishchi) // Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennye nauki. 2014. No. 5. P. 75–79 (in Russian).

5. Savenko V.S., Zezin D.Y., Savenko A.V. Fluorine in surface and subsoil waters in the Middle Klyaz'ma Basin // Vodnye Resursy. 2014. V. 41. No. 5. P. 556–563 (in Russian).

6. GOST 31861-2012. Water. General requirements for sampling. M.: Standardinform, 2013. 32 p. (in Russian).

7. FR.1.31.2005.01774. Measurement procedure of hydrogen ion exponent (pH), total hardness, mass concentration Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, F<sup>-</sup> e.a. ions in water solutions by potentiometry. Moskva: Ekonics-ekspert, 2005. 127 p. (in Russian).

8. Unified methods for water analysis / Ed. Yu. Yu. Lurie. M.: Chimia, 1973. 376 p. (in Russian).

9. Atekwana E.A., Atekwana E.A., Rowe R.S., Werkema D.D.Jr., Legalld F.D. The relationship of total dissolved solids measurements to bulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon // Journal of Applied Geophysics. 2004. V. 56. P. 281–294.

10. Order of the Federal Fishery Agency of 18.01.2010 № 20 “On the approval of water quality standards for water bodies of fishery value, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance” (in Russian).

11. Shvartsev S.L. Hydrogeochemistry of the hypergenesis zone. Moskva: Nedra, 1998. 366 p. (in Russian).

12. Garand A., Mucci A. The solubility of fluorite as a function of ionic strength and solution composition at 25 °C and 1 atm total pressure // Marine Chemistry. 2004. V. 91. P. 27–35.

13. Yermolov Yu.V. On the content of fluorine in natural waters of the southern part of the Ob-Irtysh interfluvium // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2009. No. 2. P. 319–325 (in Russian).