

МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОД ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ И ЕГО МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ¹

© 2016 г. А.В. Савенко*, В.Ф. Бреховских**, О.С. Покровский***

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119992 Москва, Ленинские горы, МГУ, Геологический факультет.
E-mail: Alla_Savenko@rambler.ru

**Институт водных проблем Российской академии наук
Россия, 119333 Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: vadim@aqualaser.ru

***Национальный исследовательский Томский государственный университет
Россия, 634050 Томск, просп. Ленина, д. 36. E-mail: oleg@get.obs-mip.fr

Поступила 22.08.2015

По многолетним данным о содержании растворенных форм макрокомпонентов, биогенных элементов и микроэлементов сделана оценка пространственных вариаций химического состава вод дельты Волги и его межгодовой изменчивости. Показано, что в пределах дельты значительной трансформации подвергается только сток биогенных элементов под влиянием продукционно-деструкционных процессов, тогда как миграция главных ионов и растворенных микроэлементов в дельтовых водотоках происходит без каких-либо существенных изменений.

Ключевые слова: химический состав воды, главные ионы, микроэлементы, межгодовая изменчивость, дельта Волги.

Известно, что экологическое состояние водных экосистем в значительной мере контролируется содержанием растворенных форм не только биогенных элементов, но также главных ионов, определяющих специфику солевого фона, и микроэлементов, участвующих в физиологических процессах гидробионтов или оказывающих на них токсическое воздействие. Несмотря на большой интерес к гидрохимии устьевых областей рек, заметно усилившийся в последние годы как в нашей стране, так и за рубежом, некоторые вопросы трансформации химического состава речного стока до сих пор изучены весьма слабо. В первую очередь это относится к пространственной и временной изменчивости распределения растворенных веществ. Чтобы восполнить этот пробел, на протяжении ряда лет нами выполнялись гидрохимические съемки дельты Волги с целью оценки пространственных вариаций и межгодовой изменчивости концентраций компонентов основного солевого состава, биогенных элементов и микроэлементов в водах дельтовых водотоков, результаты которых представлены в настоящей статье.

Материалы и методы исследований

Исследования дельтовых водотоков проводились в августе 2007-2010 гг. в период наибольшей интенсивности внутриводоёмных процессов и охватывали русловые системы рукавов Бахтемир, Старая Волга, Камызяк, Болда и Бузан дельты Волги, а также низовье Ахтубы (рис.).

Пробы воды отбирали из поверхностного слоя пластиковым батометром. Сразу после этого выполняли их фильтрацию и консервацию: для анализа содержания компонентов основного солевого состава пробы фильтровали через плотный бумажный фильтр; для анализа содержания микроэлементов растворы отфильтровывали через мембранный фильтр 0.45 мкм в полипропиленовые флаконы с предварительно внесенными туда аликвотами 5 N азотной кислоты марки особо чистая (0.2 мл на 8 мл пробы).

¹ Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (грант БИО-ГЕО-КЛИМ 14.B25.31.001) и РФФ (гранты 14-37-00038 и 15-17-10009).

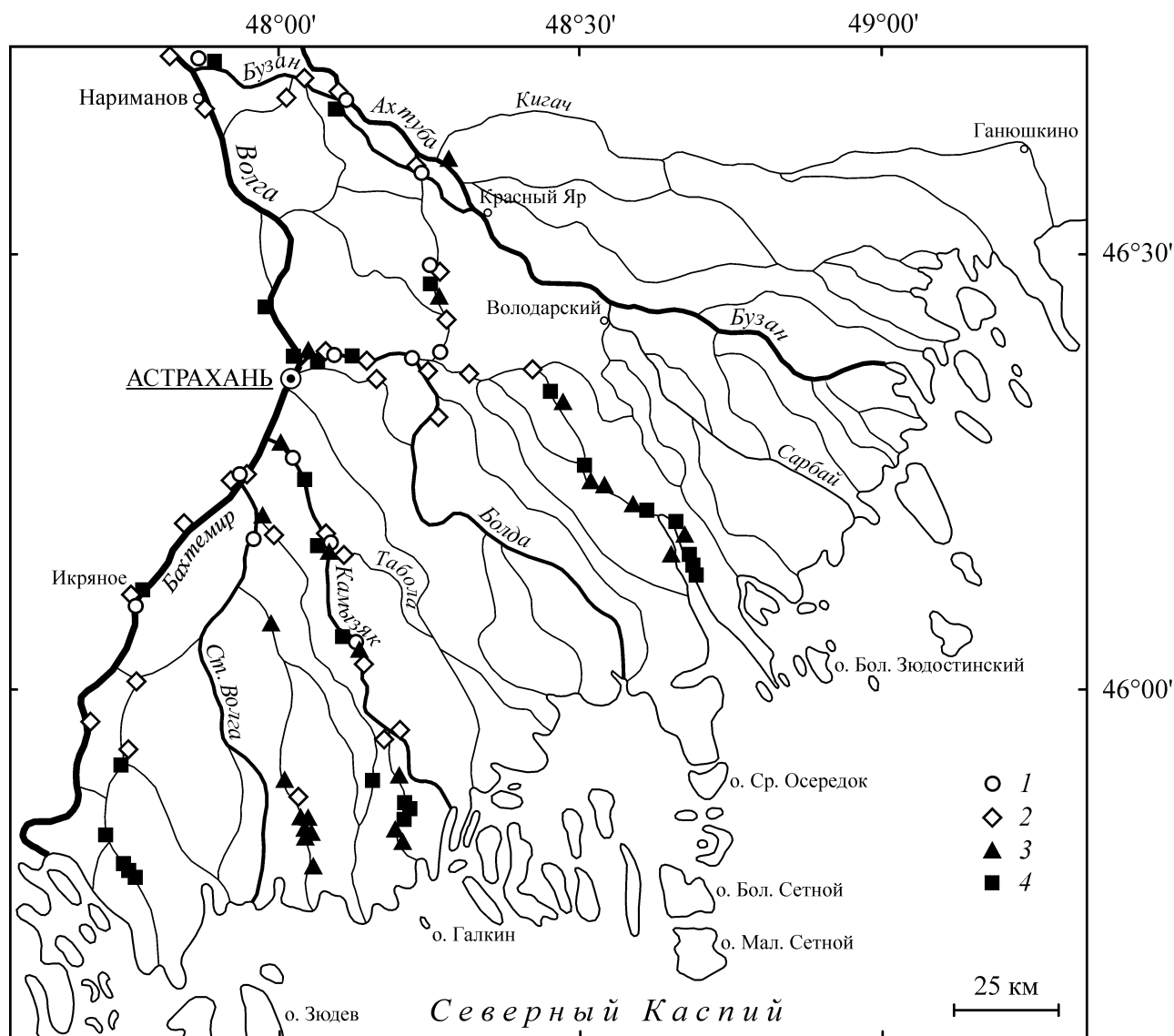


Рис. Расположение станций отбора проб воды в дельте Волги: 1 – 9-21 августа 2007 г., 2 – 6-25 августа 2008 г., 3 – 7-19 августа 2009 г., 4 – 6-22 августа 2010 г. **Fig.** Locations of water sampling stations in the Volga River delta: 1 is August, 9-21, 2007; 2 is August, 6-25, 2008; 3 is August, 7-19, 2009; 4 is August, 6-22, 2010.

При аналитических определениях использовали методы объемного титрования (Alk, Cl меркуриметрически), капиллярного электрофореза (SO_4) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой ICP-MS (Na, K, Mg, Ca, микроэлементы). Относительная погрешность измерений не превышала 3%.

Результаты и их обсуждение

Минерализация вод в русловых системах дельты Волги в 2007-2010 гг. находилась в интервалах 271-280, 273-328, 324-354 и 287-317 мг/л при среднегеометрических величинах 274, 299, 338 и 300 мг/л. Существенные отклонения содержания главных ионов от типичных значений для дельтовых водотоков отмечались только в низовье Ахтубы (табл. 1), что, по-видимому, связано со спецификой трансформации химического состава ее вод после отделения от русла Волги. Различия концентраций макрокомпонентов в водах Ахтубы и дельтовых рукавах носят изменчивый в многолетнем плане характер, что указывает на преобладание влияния кратковременных факторов формирования ионного стока (гидрометеорологические условия) над долговременными (состав донных отложений и слагающих речную долину горных пород и почв).

Таблица 1. Минерализация (*M*) и концентрации растворенных форм макро- и микроэлементов в водотоках дельты Волги* и низовье Ахтубы** в 2007-2010 гг. **Table 1.** Mineralization (*M*) and concentrations of dissolved forms of macro- and trace elements in the Volga River delta watersheds and in the Akhtuba River lower reaches in 2007-2010.

Компонент	Размерность концентрации	2007 г.		2008 г.		2009 г.	2010 г.	
		дельта Волги (<i>n</i> = 10)	низовье Ахтубы	дельта Волги (<i>n</i> = 20)	низовье Ахтубы	дельта Волги (<i>n</i> = 26)	низовье Ахтубы	дельта Волги (<i>n</i> = 30)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>M</i>	мг/л	$\frac{274}{271-280}$	272	$\frac{299}{273-328}$	331	$\frac{338}{324-354}$	331	$\frac{300}{287-317}$
Главные ионы								
Cl	мг/л	$\frac{36.2}{35.7-37.0}$	35.7	$\frac{29.3}{28.7-29.7}$	33.6	$\frac{26.2}{25.3-27.0}$	34.4	$\frac{29.7}{27.9-31.0}$
SO ₄	«	$\frac{46.2}{44.8-47.9}$	54.9	$\frac{60.0}{50.5-69.9}$	84.4	$\frac{72.0}{65.1-78.9}$	82.3	$\frac{63.5}{59.6-68.0}$
HCO ₃	«	$\frac{116.8}{115.9-117.1}$	108.6	$\frac{130.2}{116.2-146.4}$	117.7	$\frac{150.9}{144.0-162.9}$	122.0	$\frac{126.2}{117.1-136.6}$
Na	«	$\frac{15.6}{15.2-16.3}$	15.5	$\frac{15.1}{13.5-17.9}$	21.8	$\frac{20.4}{17.6-26.0}$	27.6	$\frac{15.2}{13.6-16.6}$
K	«	$\frac{2.52}{2.37-2.68}$	1.81	$\frac{2.81}{2.56-3.15}$	3.49	$\frac{3.09}{2.83-3.61}$	1.75	$\frac{2.89}{2.75-3.09}$
Mg	«	$\frac{11.0}{10.7-11.6}$	11.4	$\frac{11.6}{10.5-13.2}$	16.0	$\frac{11.4}{10.6-12.7}$	10.8	$\frac{11.8}{10.8-12.6}$
Ca	«	$\frac{45.6}{43.5-48.5}$	43.8	$\frac{49.3}{46.3-53.2}$	53.7	$\frac{53.4}{49.3-58.6}$	51.7	$\frac{50.2}{46.6-54.1}$
Биогенные элементы								
P _{мин}	мкг/л	$\frac{26.2}{15.8-49.2}$	81.6	$\frac{35.4}{7.9-60.0}$	86.0	$\frac{29.5}{4.4-64.1}$	87.8	$\frac{16.1}{1.0-57.9}$
Si	мг/л	$\frac{1.66}{1.38-2.19}$	3.01	$\frac{2.81}{2.39-3.20}$	1.96	$\frac{2.56}{2.40-3.31}$	4.17	$\frac{1.69}{1.11-2.83}$
Редкие щелочные и щелочноземельные элементы								
Li	мкг/л	$\frac{4.09}{3.74-4.31}$	3.90	–	–	$\frac{4.85}{4.31-5.55}$	5.24	–
Rb	«	$\frac{0.92}{0.89-1.00}$	0.81	$\frac{1.01}{0.94-1.14}$	1.03	$\frac{1.16}{1.05-1.29}$	0.90	$\frac{1.16}{1.09-1.23}$
Cs	нг/л	$\frac{1.8}{1.4-2.5}$	2.2	$\frac{1.7}{0.9-2.7}$	0.6	$\frac{2.2}{1.2-3.9}$	2.1	$\frac{2.1}{1.5-2.8}$
Sr	мкг/л	$\frac{411}{405-421}$	399	$\frac{431}{418-455}$	497	$\frac{530}{512-550}$	550	$\frac{485}{468-514}$
Ba	«	$\frac{28.0}{27.1-30.3}$	24.3	$\frac{28.1}{25.8-30.3}$	26.3	$\frac{30.2}{28.8-33.2}$	24.9	$\frac{28.5}{25.8-35.9}$

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тяжелые металлы								
Mn	мкг/л	$\frac{2.85}{2.14 - 3.79}$	6.55	$\frac{3.31}{2.01 - 6.55}$	6.93	$\frac{2.58}{1.41 - 5.95}$	5.96	$\frac{2.89}{1.48 - 6.09}$
Fe	«	$\frac{35.1}{20.2 - 52.7}$	47.2	$\frac{27.4}{17.7 - 43.8}$	19.4	$\frac{45.3}{27.0 - 63.6}$	34.2	$\frac{36.5}{20.7 - 52.3}$
Co	«	$\frac{0.087}{0.070 - 0.113}$	0.145	$\frac{0.073}{0.052 - 0.103}$	0.103	$\frac{0.080}{0.056 - 0.111}$	0.117	$\frac{0.098}{0.072 - 0.119}$
Ni	«	$\frac{1.50}{1.38 - 1.59}$	1.61	$\frac{1.49}{1.36 - 1.64}$	1.41	$\frac{1.45}{1.27 - 1.70}$	1.32	$\frac{1.40}{1.19 - 1.56}$
Cu	«	$\frac{1.67}{1.61 - 1.73}$	1.57	$\frac{1.63}{1.38 - 1.86}$	1.40	$\frac{1.61}{1.21 - 1.90}$	1.39	$\frac{1.77}{1.33 - 2.17}$
Zn	«	$\frac{6.79}{6.00 - 7.58}$	7.45	$\frac{5.94}{3.94 - 6.90}$	4.35	$\frac{3.79}{2.62 - 5.43}$	3.13	$\frac{8.07}{5.35 - 10.3}$
Pb	«	$\frac{0.093}{0.071 - 0.118}$	0.119	$\frac{0.112}{0.065 - 0.148}$	0.117	$\frac{0.090}{0.051 - 0.147}$	0.092	$\frac{0.144}{0.084 - 0.221}$
Cd	нг/л	$\frac{16.7}{10.4 - 24.7}$	16.4	$\frac{21.6}{10.8 - 36.3}$	8.5	$\frac{16.5}{8.0 - 29.0}$	10.6	$\frac{24.3}{15.2 - 36.2}$
Ag	«	$\frac{1.36}{1.06 - 1.69}$	1.14	–	–	–	–	–
Tl	«	$\frac{11.8}{9.8 - 13.7}$	10.4	–	–	–	–	–
Sb	«	$\frac{92.3}{88.9 - 96.6}$	84.1	$\frac{86.6}{78.7 - 94.5}$	77.5	–	–	$\frac{100.4}{89.7 - 117.5}$
Элементы-гидролизаты								
Al	мкг/л	$\frac{21.8}{17.6 - 27.0}$	30.7	$\frac{16.8}{9.5 - 27.1}$	12.3	$\frac{20.9}{12.9 - 30.7}$	21.2	$\frac{19.6}{8.2 - 35.1}$
Ga	нг/л	$\frac{8.4}{6.0 - 13.4}$	12.8	$\frac{9.6}{6.5 - 12.6}$	5.9	$\frac{11.1}{7.7 - 13.9}$	8.1	$\frac{13.8}{8.7 - 17.1}$
Sc	«	$\frac{310}{267 - 374}$	505	–	–	$\frac{301}{262 - 343}$	511	–
Y	«	$\frac{38.2}{29.9 - 54.8}$	49.3	$\frac{39.6}{33.5 - 46.5}$	17.3	$\frac{43.7}{30.7 - 55.3}$	38.2	–
Ti	мкг/л	$\frac{0.93}{0.77 - 1.16}$	1.10	$\frac{0.89}{0.65 - 1.13}$	0.76	$\frac{0.96}{0.64 - 1.28}$	0.83	$\frac{1.01}{0.64 - 1.34}$
Zr	нг/л	$\frac{43.0}{35.8 - 57.0}$	19.8	$\frac{57.3}{42.0 - 72.4}$	38.4	$\frac{57.2}{34.5 - 69.2}$	39.7	$\frac{53.2}{35.9 - 70.9}$
Hf	«	$\frac{3.07}{2.60 - 3.63}$	3.31	$\frac{3.76}{2.46 - 4.63}$	2.86	$\frac{3.67}{2.22 - 5.33}$	3.23	–
Th	«	$\frac{2.55}{2.22 - 3.07}$	1.68	$\frac{2.81}{2.05 - 3.94}$	1.27	$\frac{3.70}{2.71 - 4.56}$	4.08	$\frac{3.12}{2.27 - 4.71}$
U	«	$\frac{777}{760 - 813}$	682	$\frac{743}{702 - 783}$	566	$\frac{799}{708 - 860}$	674	$\frac{634}{605 - 663}$
Редкоземельные элементы								
La	нг/л	$\frac{34.9}{23.4 - 46.3}$	42.5	$\frac{30.9}{22.0 - 42.5}$	20.4	$\frac{36.2}{23.8 - 56.1}$	35.2	$\frac{28.4}{16.8 - 46.2}$

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ce	«	$\frac{75.8}{56.6-89.2}$	90.2	$\frac{60.1}{40.2-78.1}$	40.4	$\frac{72.4}{54.2-88.2}$	73.7	$\frac{53.4}{34.2-83.6}$
Pr	«	$\frac{10.7}{9.9-11.6}$	11.3	$\frac{7.9}{5.9-9.9}$	4.0	$\frac{9.1}{7.3-11.1}$	9.0	$\frac{6.7}{4.2-9.8}$
Nd	«	$\frac{42.8}{40.6-47.9}$	45.5	$\frac{32.7}{22.2-42.8}$	17.4	$\frac{35.1}{24.7-42.8}$	39.2	$\frac{28.7}{20.0-41.3}$
Sm	«	$\frac{8.4}{6.2-10.6}$	9.5	$\frac{6.5}{4.7-9.5}$	6.2	$\frac{7.5}{6.3-10.4}$	7.4	$\frac{6.1}{4.1-9.4}$
Eu	«	$\frac{4.2}{3.3-4.8}$	4.9	$\frac{4.0}{3.0-4.9}$	3.2	$\frac{3.6}{2.6-4.3}$	3.0	$\frac{3.4}{2.8-4.2}$
Gd	«	$\frac{7.8}{6.0-9.9}$	9.6	$\frac{7.0}{5.2-9.3}$	5.5	$\frac{8.1}{6.8-9.7}$	9.0	$\frac{6.6}{4.2-9.8}$
Tb	«	$\frac{1.0}{0.8-1.2}$	0.9	$\frac{1.0}{0.7-1.2}$	0.7	$\frac{1.0}{0.8-1.2}$	1.0	–
Dy	«	$\frac{6.2}{5.4-7.3}$	7.8	$\frac{6.2}{4.9-7.5}$	4.1	$\frac{6.4}{5.0-7.4}$	6.6	$\frac{5.6}{4.0-7.5}$
Ho	«	$\frac{1.1}{0.9-1.4}$	1.1	$\frac{1.2}{0.9-1.5}$	0.8	$\frac{1.3}{1.1-1.6}$	1.3	$\frac{1.0}{0.7-1.4}$
Er	«	$\frac{4.1}{3.3-4.9}$	3.8	$\frac{4.0}{3.4-4.8}$	3.5	$\frac{4.0}{3.2-4.8}$	3.6	$\frac{3.5}{2.5-4.7}$
Tm	«	$\frac{0.61}{0.53-0.68}$	0.56	$\frac{0.62}{0.50-0.71}$	0.45	$\frac{0.58}{0.46-0.69}$	0.52	$\frac{0.54}{0.41-0.65}$
Yb	«	$\frac{4.4}{3.8-5.4}$	4.1	$\frac{4.2}{3.5-4.7}$	3.5	$\frac{4.3}{3.5-5.1}$	3.5	$\frac{3.9}{3.0-5.1}$
Lu	«	$\frac{0.54}{0.47-0.60}$	0.52	$\frac{0.63}{0.55-0.74}$	0.50	$\frac{0.64}{0.55-0.73}$	0.61	$\frac{0.58}{0.47-0.69}$
Аниогенные элементы								
B	мкг/л	$\frac{21.5}{19.7-23.0}$	21.0	–	–	$\frac{32.1}{27.8-35.9}$	38.2	$\frac{32.7}{28.2-36.5}$
V	«	$\frac{2.41}{2.31-2.47}$	2.54	$\frac{2.24}{2.02-2.52}$	2.44	$\frac{2.14}{1.82-2.33}$	2.65	$\frac{2.83}{2.40-3.13}$
Cr	«	$\frac{0.16}{0.13-0.21}$	0.19	$\frac{0.21}{0.15-0.32}$	0.10	$\frac{0.15}{0.09-0.27}$	0.09	$\frac{0.15}{0.11-0.19}$
Ge	нг/л	$\frac{10.0}{8.4-11.7}$	10.5	$\frac{7.9}{5.4-9.8}$	6.1	$\frac{7.6}{5.2-10.5}$	6.0	$\frac{7.7}{5.7-9.6}$
As	мкг/л	$\frac{1.38}{1.30-1.47}$	2.16	$\frac{1.42}{1.33-1.53}$	2.31	$\frac{1.34}{1.25-1.43}$	2.69	$\frac{1.51}{1.34-1.66}$
Se	«	$\frac{0.54}{0.40-0.66}$	0.71	–	–	–	–	–
Mo	«	$\frac{0.67}{0.61-0.70}$	0.65	$\frac{0.72}{0.68-0.76}$	0.69	$\frac{0.76}{0.73-0.79}$	0.76	$\frac{0.80}{0.77-0.83}$
W	«	$\frac{0.022}{0.020-0.027}$	0.023	$\frac{0.017}{0.011-0.023}$	0.006	$\frac{0.021}{0.016-0.028}$	0.025	$\frac{0.022}{0.018-0.027}$

Примечания: *в числителе приведены среднегеометрические значения, в знаменателе – диапазон измеренных концентраций; **курсивом отмечены значимые отклонения от диапазона концентраций в дельте Волги. **Notes:** *geometric mean values are listed in numerator, ranges of the measured concentrations are resulted in denominator; **italics shown meaningful deviations from range of the concentrations in the Volga River delta.

Концентрации растворенных форм минерального фосфора и кремния в дельтовых водотоках изменялись в широких пределах (табл. 1), составляя в среднем соответственно 26.2, 35.4, 29.5 и 16.1 мкг Р/л и 1.66, 2.81, 2.56 и 1.69 мг Si/л во время съемок 2007-2010 гг. Это по порядку величин совпадает со среднегодовыми концентрациями биогенных элементов в вершине дельты: 17.5 мкг Р/л и 2.61 мг Si/л согласно обобщению данных режимных наблюдений в с. Верхнее Лебяжье за 1934-1977 гг. (Леонов, Дубинин, 2001). В низовье Ахтубы содержание минерального фосфора во все годы превышало максимальные концентрации в дельтовых рукавах, тогда как содержание кремния отличалось от наблюдаемых в дельте концентраций как в большую, так и в меньшую сторону.

Ранее нами было показано (Савенко и др., 2011), что между содержанием растворенных фосфатов и кремния существует хорошо выраженная взаимосвязь, характер которой (простая положительная или отрицательная линейная зависимость, ломаная линейная зависимость) различался в разные годы наблюдений. Также было установлено, что межгодовая изменчивость параметров этой зависимости определяется вариациями биомассы фитопланктона, более чем на 90% состоящей из диатомовых водорослей, которые, помимо фосфора, в значительных количествах потребляют кремний. Это позволяет утверждать, что ведущую роль в трансформации стока растворенных форм минерального фосфора и кремния в дельтовых водотоках играют процессы ассимиляции водной биотой и регенерации при разложении органического вещества.

Распределение растворенных форм микроэлементов в русловых системах рукавов дельты Волги, так же, как и компонентов основного солевого состава, характеризуется пространственной однородностью: концентрации элементов всех групп изменялись в довольно узких интервалах значений, за пределы которых в отдельных случаях выходило содержание в низовье Ахтубы (табл. 1).

Средние концентрации лития, рубидия и цезия в дельтовых водотоках (4.09-4.85, 0.92-1.16 и 0.0017-0.0022 мкг/л) близко соответствовали таковым на речной границе зоны смешения волжских и каспийских вод, равным 3.88, 1.12 и 0.002 мкг/л по данным наблюдений 2004-2006 гг. (Савенко и др., 2014), но при этом существенно отличались от содержания в глобальном материковом стоке: 1.84, 1.63 и 0.011 мкг/л (Гордеев, 2012). Содержание стронция в волжских водах почти на порядок выше, чем в стоке рек мира (60 мкг/л, Гордеев, 2012), и составило 410-530 мкг/л на акватории дельты в 2001 (Моисеенко и др., 2005) и 2007-2010 гг. и 250-700 мкг/л на ее морском крае в 1996 и 2003-2006 гг. (Савенко и др., 2014). Концентрация растворенного бария в дельте Волги (28.0-30.2 мкг/л) и на ее морской границе (28.8 мкг/л, Савенко и др., 2014) в наименьшей степени подвержена межгодовым колебаниям и близка к содержанию в речном стоке: 23.0 мкг/л (Гордеев, 2012).

Концентрации тяжелых металлов в дельтовых рукавах по данным съемок 2007-2010 гг. сопоставимы с типичными значениями при выходе волжских вод на устьевое взморье и средними концентрациями в материковом стоке, за исключением цинка и серебра, для которых различие содержания в водах рек мира и Волги достигало порядка величины (табл. 2). С результатами мониторинга микроэлементного состава водотоков дельты и прилегающей к ней части Нижней Волги наблюдается удовлетворительное соответствие по марганцу, никелю и меди, тогда как расхождение концентраций кобальта, цинка, свинца и кадмия составило 10, 9, 30 и 17 раз, что, возможно, связано с использованием нами более чувствительного метода анализа ICP-MS.

Таблица 2. Концентрации растворенных форм тяжелых металлов в водотоках дельты Волги и глобальном речном стоке*. **Table 2.** Concentrations of dissolved forms of heavy metals in the Volga River delta watersheds and in the global river runoff*.

Эле- мент	Средние концентрации в растворе, мкг/л					
	реки мира (Гордеев, 2012)	дельта Волги				
		2007-2010 гг. (данная работа)	2004-2006 гг. (Савенко и др., 2014)	1999-2003 гг. (Чуйко, По- пова, 2004)	2001 г. (Моисеенко и др., 2005)	1997 г. (Бреховских и др., 1999)
1	2	3	4	5	6	7
Mn	10.0	2.6-3.3	4.0-16.2	3.1-6.0	28.5	2.3
Fe	66.0	27.4-45.3	13.0-18.1	–	–	–
Co	0.15	0.07-0.10	0.13-0.24	–	0.7	–
Ni	0.5	1.4-1.5	1.8-2.2	–	2.3	–

Продолжение таблицы 2.

1	2	3	4	5	6	7
Cu	1.5	1.6-1.8	1.9-2.7	3.2-8.0	1.7	3.3
Zn	0.6	3.8-8.1	–	16.7-29.5	5.4	33.2
Pb	0.08	0.09-0.14	0.2-0.5	1.4-2.8	1.9	1.8
Cd	0.02	0.02	0.03-0.04	0.25-0.34	0.11	0.23
Ag	0.02	0.0014	0.005	–	–	–
Sb	0.07	0.09-0.10	0.11	–	–	–

Примечание: *здесь и в таблицах 3 и 4: 2004-2006 гг. – речная граница зоны смешения волжских и каспийских вод; 1997 и 2001 гг. – Нижняя Волга, включая дельту. Note: *here and in the tables 3 and 4: 2004-2006 is the mixing zone of waters of the Volga River and the Caspian Sea; 1997 and 2001 is the Lower Volga River including delta.

Содержание элементов-гидролизатов, включая редкоземельные элементы, в русловых системах дельты близко к их средним концентрациям на речной границе зоны смешения и в глобальном материковом стоке (табл. 3). Обращает внимание лишь на два порядка более высокое содержание скандия в волжских водах и обеднение их торием, что нуждается в подтверждении на более обширном материале.

Таблица 3. Концентрации растворенных форм элементов-гидролизатов в водотоках дельты Волги и глобальном речном стоке. **Table 3.** Concentrations of dissolved forms of elements-hydrolyzates in the Volga River delta watersheds and in the global river runoff.

Элемент	Средние концентрации в растворе, мкг/л		
	реки мира (Гордеев, 2012)	дельта Волги	
		2007-2010 гг. (данная работа)	2004-2006 гг. (Савенко и др., 2014)
Al	32.0	16.8-21.8	6.2-9.3
Ga	0.030	0.008-0.014	0.008
Sc	0.004	0.30-0.31	0.49
Y	0.040	0.038-0.044	0.025
Ti	0.50	0.89-1.01	0.56-2.8
Zr	0.039	0.043-0.057	–
Hf	0.0059	0.0031-0.0038	–
Th	0.041	0.0026-0.0037	–
U	0.37	0.63-0.80	0.58
La	0.050	0.028-0.036	–
Ce	0.080	0.053-0.076	0.030-0.060
Pr	0.007	0.007-0.011	0.005-0.009
Nd	0.040	0.029-0.043	0.020-0.030
Sm	0.008	0.006-0.008	–
Eu	0.001	0.003-0.004	–
Gd	0.008	0.007-0.008	–
Tb	0.001	0.001	–
Dy	0.030	0.006	0.004-0.006
Ho	0.001	0.001	0.002-0.005
Er	0.004	0.004	0.005-0.013
Tm	0.001	0.0005-0.0006	0.0014-0.0021
Yb	0.017	0.004	0.007-0.011
Lu	0.001	0.0005-0.0006	0.0015-0.0026

Для анионогенных элементов наблюдается хорошая сходимость концентраций в дельте Волги по данным разных лет и содержания в речном стоке (табл. 4), что указывает на слабую пространственно-

временную изменчивость их распределения. Существенные отличия от состава стока рек мира характерны только для селена и вольфрама.

Таблица 4. Концентрации растворенных форм аниогенных элементов в водотоках дельты Волги и глобальном речном стоке. **Table 4.** Concentrations of dissolved forms of anionogenic elements in the Volga River delta watersheds and in the global river runoff.

Элемент	Средние концентрации в растворе, мкг/л			
	реки мира (Гордеев, 2012)	дельта Волги		
		2007-2010 гг. (данная работа)	2004-2006 гг. (Савенко и др., 2014)	2001 г. (Моисеенко и др., 2005)
B	10.2	21.5-32.7	17.7	–
V	0.71	2.14-2.83	2.35	2.29
Cr	0.70	0.15-0.21	–	0.58
Ge	0.0068	0.0076-0.010	–	–
As	0.62	1.34-1.51	1.97	1.66
Se	0.07	0.54	–	0.77
Mo	0.42	0.67-0.80	0.81	0.44
W	0.10	0.017-0.022	0.020	–

Таким образом, результаты проведенных исследований, характеризующие эколого-гидрохимическое состояние вод в дельте Волги, позволяют утверждать, что в русловых системах дельтовых рукавов значительной трансформации подвергается только сток биогенных элементов под влиянием продукционно-деструкционных процессов. Миграция ионов основного солевого состава и растворенных микроэлементов в дельтовых водотоках происходит без каких-либо существенных изменений, о чем свидетельствует небольшая пространственная вариабельность концентраций изученных компонентов на фоне более ярко выраженной межгодовой изменчивости, обусловленной динамикой условий формирования стока в вершине дельты.

Выводы

Установлена пространственная однородность распределения главных ионов и растворенных форм микроэлементов в русловых системах рукавов дельты Волги: концентрации элементов всех групп, кроме биогенных, изменялись в довольно узких интервалах значений, за пределы которых в отдельных случаях выходило содержание в низовье Ахтубы.

Распределение растворенных форм минерального фосфора и кремния в дельтовых водотоках характеризуется сильной пространственной изменчивостью и контролируется процессами ассимиляции водной биотой и регенерации при разложении органического вещества.

Для всех изученных растворенных компонентов (главные ионы, биогенные элементы, редкие щелочные и щелочноземельные элементы, тяжелые металлы, элементы-гидролизаты, редкоземельные элементы и аниогенные элементы) выявлена существенная межгодовая изменчивость концентраций, которая, наряду с продукционно-деструкционными процессами для биогенных элементов, является ведущим фактором формирования химического состава вод дельты Волги при выходе на устьевое взморье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бреховских В.Ф., Катунин Д.Н., Островская Е.А., Перекальский В.М., Попова О.В.* 1999. Процессы переноса и накопления тяжелых металлов на Нижней Волге // Водные ресурсы. Т. 26. № 4. С. 451-461.
- Гордеев В.В.* 2012. Геохимия системы река–море. М.: ИП Матушкина И.И. 452 с.
- Леонов А.В., Дубинин А.В.* 2001. Взвешенные и растворенные формы биогенных элементов, их соотношение и взаимосвязь в основных притоках Каспийского моря // Водные ресурсы. Т. 28. № 3. С. 261-279.
- Моисеенко Т.И., Гашикина Н.А., Шарова Ю.Н., Покоева А.Г.* 2005. Экотоксикологическая оценка последствий загрязнения вод р. Волги // Водные ресурсы. Т. 32. № 4. С. 410-424.

- Савенко А.В., Бреховских В.Ф., Лабунская Е.Н.* 2011. Межгодовая изменчивость распределения растворенных форм биогенных элементов в водах дельты Волги и ее связь с вариациями биомассы фитопланктона // *Аридные экосистемы*. Т. 17. № 4(49). С. 70-75.
- Савенко А.В., Бреховских В.Ф., Покровский О.С.* 2014. Миграция растворенных микроэлементов в зоне смешения вод Волги и Каспийского моря (по многолетним данным) // *Геохимия*. № 7. С. 590-604.
- Чуйко Е.В., Попова О.В.* 2004. Тяжелые металлы в водотоках дельты р. Волги // *Комплексные исследования биологических ресурсов южных морей и рек. Материалы I Международн. научно-практич. конф. молодых ученых*. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ. С 26-209.

MACRO- AND MICROELEMENT WATER COMPOSITION OF THE VOLGA RIVER DELTA AND ITS INTERANNUAL VARIABILITY

© 2016. A.V. Savenko*, V.F. Brekhovskikh**, O.S. Pokrovsky***

**M.V. Lomonosov Moscow State University, Geological Faculty
Russia, 119992 Moscow, Leninskie Gory, 1. E-mail: Alla_Savenko@rambler.ru*

***Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences
Russia, 119333 Moscow, Gubkin str., 3. E-mail: vadim@aqua.laser.ru*

****National Research Tomsk State University
Russia, 634050 Tomsk, Lenin prosp., 36. E-mail: oleg@get.obs-mip.fr*

Estimation of spatial variations of chemical composition of the Volga River delta waters and its interannual variability was made on the base of long-term data about content of macro components, biogenic elements, and trace elements. It was shown, that significant transformation inside of the delta is typical only for the biogenic elements runoff influenced by production–destruction processes whereas migration of the major ions and dissolved trace elements in the delta watersheds occurs without any essential variations.

Keywords: chemical composition of water, major ions, trace elements, interannual variability, the Volga River delta.