

УДК 551.48:556.54

## ТРАНСФОРМАЦИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СТОКА РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В УСТЬЯХ СРЕДНИХ И МАЛЫХ РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ

© 2022 г. А. В. Савенко<sup>1, \*</sup>, О. С. Покровский<sup>2, 3</sup><sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
геологический факультет, Москва, Россия<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН,  
Архангельск, Россия<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Томск, Россия

\*e-mail: Alla\_Savenko@rambler.ru

Поступила в редакцию 12.11.2021 г.

После доработки 24.11.2021 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

По данным натурных наблюдений изучены закономерности миграции растворенных веществ в устьевых областях рек Черноморского побережья России (Анапка, Ашамба, Мезыбрь, Хотецай, Вулан, Кудепста, Мзымта). Консервативное поведение (линейная форма зависимости концентрации компонента от содержания хлоридов) установлено для ряда главных ионов и микроэлементов: Na, K, Mg, SO<sub>4</sub>, Li, Rb, Cs, Sr, Co, Ni, Cu, Cd, Sb, Ga, B, F, V, As, Mo, U. Условно неконсервативное поведение кальция и гидрокарбонатов также фактически соответствует консервативному, поскольку их избыток в устьях некоторых рек связан с притоком в зону смешения, помимо речных вод, рассредоточенного подземного стока. Неконсервативное поведение (нелинейная форма зависимости концентрации компонента от содержания хлоридов, свидетельствующая о его участии во внутриводоемных процессах в зоне смешения речных и морских вод) характерно для биогенных элементов, вовлеченных в продукционно-деструкционные (P, Si) и сорбционно-десорбционные (P) процессы; бария, в большей или меньшей степени десорбирующегося с речных взвесей (от ~0 до 390% его концентрации в речных водах), а также для Mn, Fe, Pb, Al, Ti, Y и редкоземельных элементов, которые удаляются из раствора в процессе коагуляции и флокуляции органических и органоминеральных коллоидов (от ~0 до 85%). Пространственно-временная изменчивость распределения растворенных макро- и микроэлементов в зоне смешения речных и морских вод зависит от изменчивости химического состава материкового стока и различий концентраций элементов на речной и морской границах зоны смешения, с возрастанием которых нивелируется влияние первого фактора. С привлечением ранее полученных данных показано сходство типов распределения растворенных макро- и микроэлементов в устьях крупных и малых рек российских секторов Черного и Каспийского морей, которое отличается только степенью вовлеченности элементов в те или иные внутриводоемные процессы в устье каждой реки в конкретный период времени.

**Ключевые слова:** устья рек, зона смешения речных и морских вод, основной солевой состав, растворенные микроэлементы, консервативное и неконсервативное поведение, Черноморское побережье России

**DOI:** 10.31857/S003015742203011X

На химическую трансформацию материкового стока растворенных веществ в устьевых областях рек оказывает влияние состав как речных, так и морских вод. Сток рек Российской Арктики и Дальнего Востока формируется преимущественно в зоне таежно-тундровых ландшафтов с гумидным климатом, а принимающие его воды по составу и солёности близки к “нормальной” морской воде, что за редкими исключениями (например, эстуарий Мезени с аномально высоким содержанием взвеси) предопределяет сходные черты простран-

ственно-временного распределения макро- и микроэлементов в устьях разных рек [1, 2, 5–9, 11, 15]. Реки юга России впадают во внутренние моря с сильно распресненной водой (Азовское и Черное моря) или Каспийское озеро-море со специфическим составом, а их водосборы охватывают области от гумидного субтропического до семиаридного и аридного климата. Учитывая разнообразие химического состава вод южных рек и морских бассейнов, а также значительную роль малых рек и водотоков в материковом стоке на отдельных

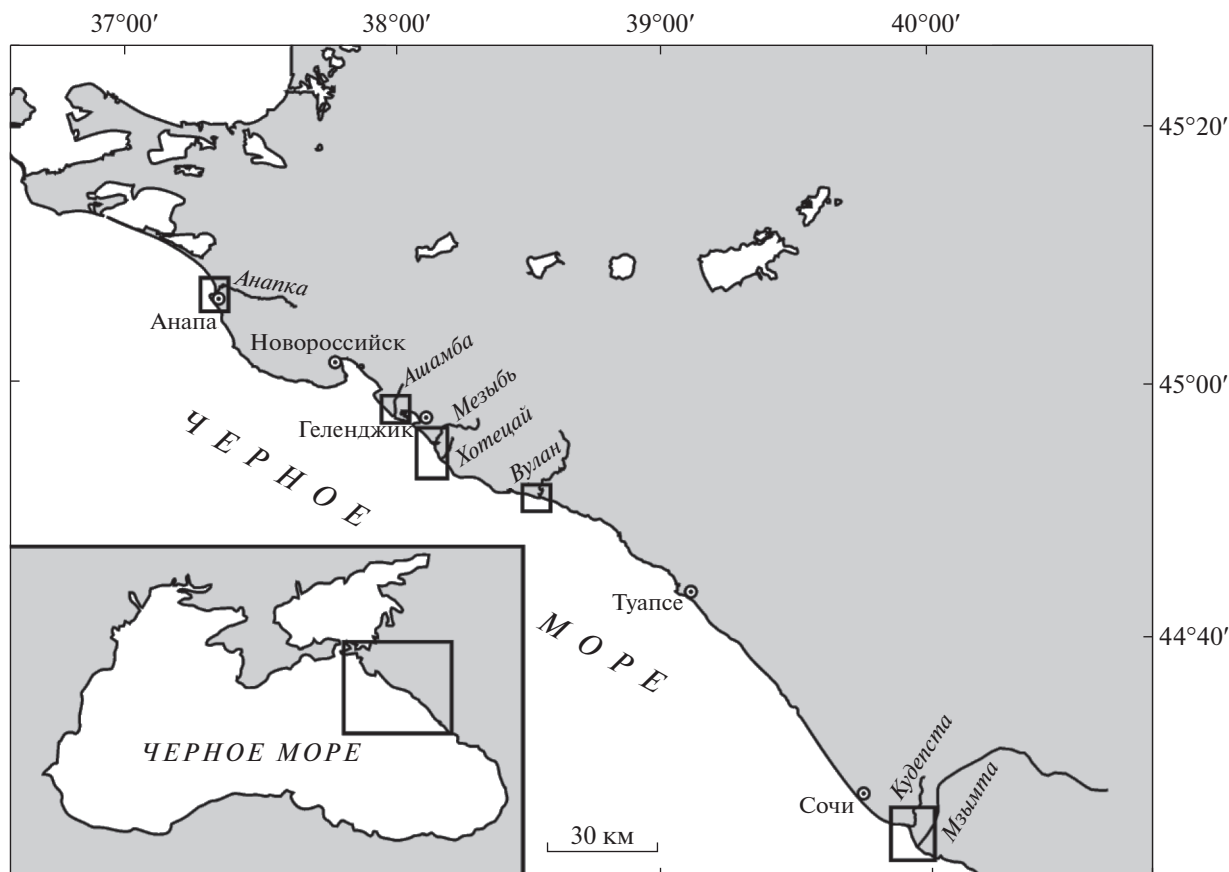


Рис. 1. Расположение полигонов отбора проб воды в устьях рек Черноморского побережья России.

участках морских побережий, представляет интерес сравнительный анализ закономерностей миграции растворенных веществ в устьевых областях малых, средних и крупных рек Азово-Черноморского бассейна и Каспийского моря.

Цель настоящей работы состояла в установлении общих черт и различий распределения растворенных форм макро- и микроэлементов в устьях средних и малых рек Черноморского побережья России и сопоставлении их с ранее полученными данными для зон смешения вод Волги, Урала и Северного Каспия [4, 10].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы воды, послужившие материалом для исследований, были отобраны в 2006–2014 гг. во время учебно-производственных практик и экспедиций НСО географического факультета МГУ в устьях 7 рек Черноморского побережья (рис. 1): Анапка (М.Н. Кожин), Ашамба (А.В. Полякова, М.В. Кривушин), Мезыбь и Хотецай (М.В. Кривушин), Вулан (А.В. Полякова), Кудепста и Мзымта (А.А. Полухин).

Опробование производили пластиковой емкостью из поверхностного слоя (с глубины 0.5 м) по

разрезам вдоль зоны смешения речных и морских вод. После этого растворы сразу отфильтровывали в 3 полипропиленовых флакона: 1) через плотный бумажный фильтр для анализа содержания главных ионов и фторидов; 2) через плотный бумажный фильтр с добавлением 1 мл хлороформа на 100 мл пробы для определения концентраций биогенных элементов; 3) через мембранный фильтр 0.45 мкм во флакон с предварительно добавленной аликвотой 5 М азотной кислоты марки ос.ч. (0.25 на 10 мл пробы) для анализа микроэлементного состава.

Для аналитических определений использовали методы объемного титрования (С1 меркуриметрически,  $\text{Alk} \approx \text{HCO}_3$ ), капиллярного электрофореза ( $\text{SO}_4$ ), спектрофотометрии (P, Si), ионометрии (F) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой ИСП МС (Na, K, Mg, Ca, микроэлементы). Для измерений методом ИСП МС высокоминерализованные пробы разбавляли 2% азотной кислотой марки ос.ч. так, чтобы содержание растворенных веществ составляло 300–500 мг/л. Относительная погрешность определений не превышала  $\pm 3\%$ . Правильность анализов оценивали с помощью международных стандартов речной воды SLRS-4 и SLRS-5 и стандарта воды из эстуария с соленостью 15‰ SLEW-3, для

**Таблица 1.** Концентрации главных ионов и растворенных форм биогенных элементов в устьях средних и малых рек Черноморского побережья России\*

№ пробы	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Na	K	Mg	Ca	Si	P <sub>мин</sub>	P <sub>орг</sub>
	мг/л								мкг/л	
Р. Анапка, 5 мая 2014 г.										
1-1	45.8	44.9	294	36.4	3.91	8.21	106	4.89	17.7	8.75
1-2	274	84.6	303	160	8.37	24.9	116	4.78	70.7	10.7
1-3	848	152	306	451	18.9	62.1	127	4.47	139	8.25
1-4	2100	349	299	1133	43.4	150	148	3.79	136	2.66
1-5	3920	598	273	2196	82.3	283	179	2.95	108	1.20
1-6	6880	1000	235	3730	143	463	232	1.63	61.8	0.70
1-7	9360	1340	198	5189	193	636	274	0.37	12.6	0.69
Р. Ашамба, 15 июля 2010 г.										
2-1	6380	948	231	3580	132	437	136	1.25	16.7	1.03
2-2	6510	973	228	3680	135	442	134	1.20	16.5	0.94
2-3	23.4	26.9	183	15.2	1.93	3.79	71.0	3.80	14.1	0.95
2-4	5150	780	227	2910	105	342	122	1.63	16.7	0.82
2-5	7080	1060	218	4010	146	484	144	0.99	13.6	1.74
2-6	7720	1180	223	4480	161	528	151	0.75	11.9	2.73
2-7	8540	1240	213	4760	174	569	160	0.48	11.2	4.87
2-8	7940	1180	221	4480	161	539	152	0.64	12.6	5.19
2-9	7370	1110	227	4210	151	501	148	0.81	14.0	1.42
То же, 30 августа 2010 г.										
3-1	1270	233	248	742	27.2	89.4	97.3	2.92	82.2	21.4
3-2	1680	282	257	938	35.4	120	99.2	2.72	78.2	20.4
3-3	2480	400	270	1410	52.5	176	105	2.39	66.9	17.6
3-4	3830	600	264	2200	79.8	265	119	2.05	51.4	13.8
3-5	5130	778	263	2900	104	350	130	1.62	40.5	10.6
3-6	5880	875	260	3290	122	398	137	1.35	34.1	8.97
3-7	7370	1070	240	4080	151	493	152	0.84	24.9	6.42
То же, 27–28 января 2011 г.										
4-1	741	139	255	401	16.9	48.3	78.7	2.91	21.4	0.49
4-2	1810	296	275	992	39.2	120	92.9	2.53	22.7	0.71
4-3	5840	853	244	3200	123	386	128	1.28	14.2	1.41
4-4	170	55.3	212	93.6	5.11	12.6	73.2	3.11	15.3	0.14
4-5	18.5	20.7	221	11.6	1.84	2.78	70.3	3.19	8.81	0.30
4-6	20.5	22.6	217	11.1	1.74	2.66	69.1	3.15	2.15	1.75
Р. Мезыбь, 1 сентября 2010 г.										
5-1	724	151	266	431	16.9	52.1	66.1	2.79	5.52	3.93
5-2	1110	203	271	639	23.9	78.2	72.8	2.62	6.04	3.77
5-3	1910	308	259	1070	40.1	128	81.4	2.37	9.39	4.22
5-4	2610	402	264	1450	54.8	175	86.7	2.22	16.6	3.39
5-5	3850	577	280	2150	79.7	260	99.1	1.82	15.5	2.94
5-6	5990	892	258	3350	125	404	121	1.17	12.5	3.40
5-7	8600	1250	222	4780	175	576	147	0.38	7.65	5.27

Таблица 1. Окончание

№ пробы	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Na	K	Mg	Ca	Si	P <sub>мин</sub>	P <sub>орг</sub>
	мг/л								мкг/л	
Р. Хотецай, 3 сентября 2010 г.										
6-1	490	112	179	262	11.9	34.9	77.1	5.59	4.73	0.31
6-2	1360	230	200	732	29.8	95.7	85.1	4.71	6.84	1.05
6-3	2340	385	192	1350	50.8	162	98.8	4.06	13.9	0.21
6-4	4840	743	223	2760	101	333	118	2.72	7.71	1.05
6-5	6870	1030	212	3920	142	464	139	1.64	7.06	0.32
Р. Вулан, 17 июля 2006 г.										
7-1	9050	—	196	—	—	—	206	0.26	1.87	—
7-2	8010	—	203	—	—	—	191	0.65	2.87	—
7-3	54.9	—	110	—	—	—	31.7	3.08	6.46	—
7-4	5650	—	214	—	—	—	154	1.24	3.60	—
7-5	6140	—	220	—	—	—	162	1.16	3.73	—
7-6	657	—	137	—	—	—	52.8	2.40	5.17	—
7-7	6720	—	223	—	—	—	172	0.90	3.16	—
7-8	34.3	—	114	—	—	—	34.3	3.14	6.60	—
7-9	8.57	—	101	—	—	—	28.5	3.02	8.04	—
Р. Кудепста, 30 мая 2011 г.										
8-1	5520	846	177	3170	116	382	104	1.22	—	—
8-2	7390	1100	189	4290	155	517	130	0.77	—	—
8-3	9660	1390	201	5340	196	644	156	0.25	—	—
8-4	144	70.0	121	111	5.31	13.4	33.3	2.44	—	—
8-5	232	77.3	134	142	6.05	17.8	37.1	2.41	—	—
Р. Мзымта, 29 мая 2011 г.										
9-1	2.82	13.8	70.8	2.19	0.46	1.65	24.1	2.62	—	—
9-2	7150	1060	162	4020	146	484	119	0.72	—	—
9-3	9790	1420	185	5470	200	659	159	0.23	—	—
9-4	2140	379	99.4	1320	47.9	159	52.1	1.85	—	—
9-5	9700	1420	203	5430	197	654	157	0.31	—	—
9-6	5550	833	149	3120	115	376	98.5	1.12	—	—

\* Здесь и в табл. 2–4 прочерк означает отсутствие данных.

которых расхождение измеренных и сертифицированных концентраций изученных элементов не превышало 20%.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа макро- и микроэлементного состава вод в устьевых областях рек Черноморского побережья России представлены в табл. 1–4. По этим данным были определены типы поведения и рассчитаны параметры зависимостей концентраций компонентов *i* от содержания хлоридов:

$$[i, \text{мг/л}] = a + b[\text{Cl}, \text{мг/л}], \quad (1)$$

где *a* – параметр, примерно равный концентрации компонента *i* в речных водах, выраженной в мг/л; *b* – угловой коэффициент. Численные значения параметров уравнения (1) для главных ионов и микроэлементов приведены в табл. 5.

Консервативное поведение, для которого характерна линейная форма зависимости (1), свидетельствующая об изменении концентрации компонентов только в результате гидродинамического смешения речной и морской водных масс, установлено для главных ионов, за исклю-

**Таблица 2.** Концентрации растворенных форм редких щелочных, щелочноземельных и анионогенных элементов в устьях средних и малых рек Черноморского побережья России

№ пробы	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	B	F	V	As	Mo
	мкг/л			мг/л	мкг/л	мг/л		мкг/л		
Р. Анапка, 5 мая 2014 г.										
1-1	22.3	1.65	0.004	1.67	91.5	0.13	0.25	0.49	0.40	0.52
1-2	24.3	2.68	0.005	1.74	89.5	0.17	0.27	0.50	0.41	0.60
1-3	27.8	5.73	0.011	1.91	86.1	0.28	0.32	0.54	0.48	0.81
1-4	38.0	13.1	0.029	2.25	78.0	0.56	0.41	0.58	0.51	1.39
1-5	51.8	24.4	0.051	2.89	70.6	0.94	0.53	0.70	0.71	2.32
1-6	76.0	40.8	0.105	3.80	51.1	1.57	0.72	0.84	0.83	3.69
1-7	94.4	56.9	0.132	4.52	20.9	2.14	0.90	0.97	1.02	4.83
Р. Ашамба, 15 июля 2010 г.										
2-1	—	40.2	0.087	3.35	39.7	1.44	—	0.67	0.85	3.72
2-2	—	39.1	0.096	3.31	38.1	1.44	—	0.60	0.82	3.56
2-3	—	0.83	0.011	1.16	79.6	0.057	—	0.26	0.44	0.31
2-4	—	31.2	0.074	2.88	48.7	1.14	—	0.60	0.78	2.90
2-5	—	43.4	0.114	3.58	34.6	1.60	—	0.71	0.84	3.82
2-6	—	48.9	0.116	3.81	30.8	1.84	—	0.72	0.88	4.32
2-7	—	52.7	0.126	4.04	24.9	1.94	—	0.76	0.96	4.56
2-8	—	48.3	0.112	3.87	28.7	1.87	—	0.79	0.95	4.25
2-9	—	44.2	0.108	3.68	33.9	1.75	—	0.68	0.90	3.88
То же, 30 августа 2010 г.										
3-1	—	8.43	0.020	1.86	76.7	0.35	—	0.33	0.44	0.88
3-2	—	11.0	0.026	1.98	73.4	0.44	—	0.33	0.47	1.10
3-3	—	15.7	0.042	2.25	67.9	0.63	—	0.40	0.55	1.36
3-4	—	23.8	0.054	2.66	58.8	0.91	—	0.46	0.64	2.09
3-5	—	31.1	0.078	3.09	50.1	1.17	—	0.57	0.69	2.79
3-6	—	35.7	0.082	3.31	44.9	1.35	—	0.59	0.77	3.25
3-7	—	46.2	0.098	3.89	33.4	1.70	—	0.66	0.89	4.11
То же, 27–28 января 2011 г.										
4-1	—	4.70	0.014	1.18	63.3	0.18	—	0.28	0.20	0.59
4-2	—	11.3	0.027	1.50	57.6	0.41	—	0.36	0.29	1.21
4-3	—	35.9	0.088	3.06	37.4	1.28	—	0.63	0.60	3.08
4-4	—	1.45	0.006	0.98	67.1	0.071	—	0.22	0.15	0.32
4-5	—	0.61	0.009	0.92	66.9	0.038	—	0.21	0.14	0.23
4-6	—	0.55	0.006	0.90	67.3	0.037	—	0.21	0.12	0.24
Р. Мезыбь, 1 сентября 2010 г.										
5-1	—	4.83	0.015	1.16	118	0.27	—	0.26	0.78	0.84
5-2	—	6.73	0.019	1.31	121	0.35	—	0.28	0.76	0.85
5-3	—	11.3	0.025	1.67	112	0.50	—	0.29	0.84	1.24
5-4	—	16.2	0.040	1.86	103	0.66	—	0.38	0.90	1.47
5-5	—	22.9	0.063	2.27	87.6	0.88	—	0.44	0.93	2.38
5-6	—	36.4	0.081	3.16	62.8	1.33	—	0.58	1.06	3.24
5-7	—	51.5	0.131	4.12	24.6	1.95	—	0.78	1.15	4.60

Таблица 2. Окончание

№ пробы	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	B	F	V	As	Mo
	мкг/л			мг/л	мкг/л	мг/л		мкг/л		
Р. Хотецай, 3 сентября 2010 г.										
6-1	–	3.75	0.011	1.92	78.2	0.25	–	0.39	0.41	0.64
6-2	–	9.14	0.022	2.23	73.8	0.42	–	0.49	0.46	0.98
6-3	–	15.1	0.031	2.49	80.0	0.60	–	0.52	0.58	1.46
6-4	–	30.3	0.077	3.18	58.4	1.11	–	0.67	0.74	2.97
Р. Вулан, 17 июля 2006 г.										
7-1	82.6	55.4	0.133	4.50	23.0	2.05	–	0.81	1.02	4.68
7-2	75.0	48.4	0.126	4.02	35.6	1.76	–	0.72	0.98	4.06
7-3	6.03	0.73	0.005	1.13	105	0.076	–	0.22	0.39	0.29
7-4	53.0	34.4	0.074	3.04	57.4	1.36	–	0.55	0.79	3.06
7-5	57.8	37.5	0.090	3.36	54.0	1.50	–	0.65	0.78	3.41
7-6	9.04	3.92	0.019	1.21	107	0.20	–	0.21	0.42	0.46
7-7	62.1	40.6	0.094	3.53	49.2	1.62	–	0.71	0.87	3.53
7-8	7.10	0.61	0.007	0.97	105	0.074	–	0.23	0.32	0.35
7-9	3.61	0.49	0.006	0.84	103	0.044	–	0.16	0.38	0.19
Р. Кудепста, 30 мая 2011 г.										
8-1	–	33.5	0.087	2.64	73.8	1.33	–	0.67	0.75	3.18
8-2	–	45.4	0.109	3.48	68.6	1.77	–	0.80	0.86	4.26
8-3	–	57.7	0.140	4.34	23.2	2.26	–	0.93	1.06	5.19
8-4	–	1.72	0.009	0.32	46.6	0.092	–	0.41	0.47	0.63
8-5	–	2.01	0.011	0.36	51.6	0.076	–	0.37	0.39	0.61
Р. Мзымта, 29 мая 2011 г.										
9-1	–	0.50	0.009	0.27	5.80	0.034	–	0.47	0.74	0.36
9-2	–	42.9	0.099	3.27	23.5	1.65	–	0.86	1.13	3.74
9-3	–	60.6	0.142	4.48	18.2	2.33	–	1.02	1.25	5.41
9-4	–	15.0	0.041	1.20	31.2	0.59	–	0.58	0.86	1.60
9-5	–	59.6	0.134	4.40	19.3	2.32	–	1.00	1.21	5.07
9-6	–	33.3	0.083	2.56	26.6	1.38	–	0.80	1.03	3.33

чением кальция и гидрокарбонатов, и ряда растворенных микроэлементов (Li, Rb, Cs, Sr, Co, Ni, Cu, Cd, Sb, Ga, B, F, V, As, Mo, U), что также наблюдалось в устьевых областях Волги и Урала [4, 10]. При этом распределение стронция, кобальта, никеля, меди, кадмия, сурьмы, галлия, ванадия, мышьяка и урана, концентрации которых на речной и морской границах зоны смешения различаются менее чем на порядок величины, находится под влиянием сильной пространственно-временной изменчивости химического состава речного стока и в меньшей степени прибрежных морских вод (рис. 2, 3), тогда как для типично морских элементов (натрия, калия, магния, сульфатов, рубидия, цезия, бора и молибдена) этот фактор имеет второстепенное значение (рис. 4).

Поведение растворенного кальция, миграция которого осуществляется в условиях значительных вариаций содержания в речных и морских водах (рис. 5), в устьях большинства рек также относится к консервативному типу, однако в зонах смешения Анапки и Вулана превышение его концентраций относительно расчетных значений по уравнению (1) достигает соответственно 7 и 11 мг/л, или 7 и 30% выноса с речным стоком. Дополнительное поступление гидрокарбонатов более значимо (до 9–67% их содержания в речном стоке с максимумом также для зоны смешения Вулана, см. табл. 5) и проявляется в устьях всех изученных рек, кроме Мзымты – самой многоводной реки региона с наименьшей величиной щелочности [3]. Поскольку хемогенное образование карбоната

**Таблица 3.** Концентрации растворенных форм тяжелых металлов в устьях средних и малых рек Черноморского побережья России, мкг/л

№ пробы	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Cd	Pb	Sb
Р. Анапка, 5 мая 2014 г.								
1-1	11.8	51.5	0.130	1.46	1.86	0.032	0.351	0.075
1-2	8.45	39.4	0.124	1.39	1.80	0.030	0.075	0.082
1-3	7.65	26.2	0.121	1.42	1.70	0.027	0.049	0.088
1-4	6.68	19.6	0.112	1.33	1.66	0.030	0.048	0.112
1-5	5.52	14.3	0.100	1.25	1.38	0.040	0.057	0.149
1-6	3.50	10.2	0.081	1.02	0.91	0.039	0.080	0.204
1-7	2.03	5.15	0.064	0.90	0.60	0.047	0.108	0.242
Р. Ашамба, 15 июля 2010 г.								
2-1	0.97	11.6	—	1.10	1.52	0.054	—	0.216
2-2	1.08	12.8	—	1.15	1.61	0.051	—	0.207
2-3	4.94	46.5	—	1.63	3.71	0.058	—	0.127
2-4	1.41	14.9	—	1.23	1.92	0.057	—	0.196
2-5	0.77	10.8	—	1.09	1.52	0.052	—	0.223
2-6	0.81	9.73	—	1.06	1.30	0.049	—	0.229
2-7	1.10	8.65	—	0.99	1.01	0.050	—	0.243
2-8	0.76	7.21	—	1.04	1.03	0.049	—	0.236
2-9	0.95	8.09	—	1.10	1.18	0.050	—	0.220
То же, 30 августа 2010 г.								
3-1	25.7	86.8	—	1.11	1.64	0.026	—	0.170
3-2	25.4	79.6	—	1.04	1.52	0.030	—	0.175
3-3	23.5	75.9	—	1.16	1.51	0.033	—	0.182
3-4	18.6	64.0	—	1.03	1.22	0.033	—	0.189
3-5	13.2	52.5	—	1.03	1.21	0.044	—	0.202
3-6	14.9	41.0	—	1.01	1.01	0.040	—	0.213
3-7	8.42	27.6	—	0.94	0.80	0.041	—	0.224
То же, 27–28 января 2011 г.								
4-1	0.69	27.4	—	0.55	1.81	0.077	0.113	0.126
4-2	1.04	20.8	—	0.61	1.62	0.077	0.080	0.154
4-3	0.43	14.2	—	0.74	1.17	0.062	0.090	0.202
4-4	0.83	36.2	—	0.60	1.96	0.030	0.334	0.121
4-5	1.22	34.8	—	0.62	2.05	0.086	0.370	0.140
4-6	0.77	32.4	—	0.54	1.72	0.078	0.347	0.117
Р. Мезыбь, 1 сентября 2010 г.								
5-1	14.4	72.7	—	1.12	3.27	0.053	—	0.169
5-2	2.59	43.7	—	1.14	3.43	0.051	—	0.158
5-3	1.46	33.5	—	1.09	2.88	0.053	—	0.168
5-4	1.33	30.1	—	1.10	2.74	0.054	—	0.184
5-5	1.25	25.5	—	1.03	2.22	0.052	—	0.193
5-6	1.06	16.0	—	0.96	1.71	0.054	—	0.217
5-7	0.55	9.70	—	0.91	0.83	0.049	—	0.239

Таблица 3. Окончание

№ пробы	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Cd	Pb	Sb
Р. Хотейай, 3 сентября 2010 г.								
6-1	1.01	39.5	–	1.62	1.83	0.032	–	0.142
6-2	1.12	26.2	–	1.56	1.68	0.037	–	0.141
6-3	1.27	20.1	–	1.43	1.61	0.031	–	0.157
6-4	0.93	15.4	–	1.29	1.33	0.041	–	0.186
Р. Вулан, 17 июля 2006 г.								
7-1	0.69	–	0.068	0.81	0.65	0.050	0.110	0.237
7-2	1.07	–	0.077	0.77	0.66	0.052	0.089	0.214
7-3	29.2	–	0.152	0.44	1.07	0.048	0.126	0.053
7-4	1.06	–	0.100	0.62	0.88	0.051	0.059	0.154
7-5	1.10	–	0.099	0.69	0.78	0.051	0.062	0.180
7-6	3.04	–	0.152	0.36	1.09	0.060	0.029	0.062
7-7	0.88	–	0.091	0.74	0.77	0.051	0.078	0.177
7-8	6.29	–	0.174	0.49	1.31	0.067	0.101	0.055
7-9	22.5	–	0.160	0.35	1.02	0.059	0.054	0.040
Р. Кудепста, 30 мая 2011 г.								
8-1	4.49	20.9	–	1.18	1.87	0.062	–	0.206
8-2	3.33	16.6	–	1.05	1.36	0.059	–	0.230
8-3	2.10	7.74	–	0.85	0.56	0.050	–	0.251
8-4	29.0	98.7	–	1.61	3.36	0.075	–	0.159
8-5	8.88	96.2	–	1.64	3.55	0.086	–	0.149
Р. Мзымта, 29 мая 2011 г.								
9-1	11.3	128	–	1.19	3.53	0.027	0.353	0.133
9-2	3.68	15.8	–	0.94	1.31	0.043	0.100	0.222
9-3	1.52	5.78	–	0.86	0.58	0.046	0.110	0.256
9-4	6.35	51.7	–	1.10	3.07	0.036	0.082	0.157
9-5	1.86	8.76	–	0.88	0.46	0.053	0.100	0.243
9-6	4.00	22.0	–	1.01	1.96	0.041	0.093	0.194

кальция, распространенное на устьевых взморьях южных рек России [13, 14] и, в частности, р. Урал [10], приводит к синхронному удалению компонентов карбонатной системы из раствора, единственной возможной причиной отмеченного избытка кальция и гидрокарбонатов в устьях черноморских рек может быть присутствие в зоне смешения более двух типов вод, в результате чего возникает нарушение линейности зависимости (1) при фактически консервативном введении компонентов, т.е. при отсутствии их вовлечения во внутриводоемные процессы. Третью, дополнительную водную массу на Черноморском побережье, скорее всего, образуют расположенные на материковом склоне рассредоточенные выходы гидрокарбонатно-кальциевых подземных вод, вно-

сящих существенный вклад в общий сток растворенных веществ. В устьях Волги, Кубани и Дона также установлена кажущаяся (условная) неконсервативность поведения кальция и связанного с ним стронция, выражающаяся в периодических отклонениях зависимостей (1) от линейного вида, однако в этом случае разделение смешивающихся вод на разные модификации происходит вследствие неодинаковой трансформации материкового стока в проточных и застойных районах устьевого взморья [4, 12].

Распределение биогенных элементов (минерального, органического фосфора и кремния) неодинаково для устьев разных рек и в различные периоды времени (рис. 6, табл. 5). Так, в устье Ашамбы в июле 2010 г. содержание растворенно-



Таблица 4. Концентрации растворенных форм элементов-гидролизатов в устьях средних и малых рек Черноморского побережья России, мкг/л

№ пробы	Al	Ga	Ti	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	U
Р. Анапка, 5 мая 2014 г.																		
1-1	17.5	0.007	0.218	0.022	0.050	0.027	0.0032	0.023	0.0043	0.0094	0.0047	0.0040	0.0014	0.0023	0.0009	0.0020	0.0008	0.57
1-2	12.7	0.006	0.188	0.017	0.010	0.013	0.0022	0.013	0.0026	0.0056	0.0019	0.0016	0.0007	0.0012	0.0006	0.0011	0.0005	0.61
1-3	8.04	0.006	0.121	0.016	0.007	0.010	0.0019	0.011	0.0023	0.0056	0.0023	0.0018	0.0010	0.0017	0.0008	0.0013	0.0008	0.67
1-4	6.98	0.014	0.064	0.018	0.008	0.009	0.0017	0.011	0.0028	0.0061	0.0035	0.0021	0.0017	0.0023	0.0013	0.0019	0.0013	0.83
1-5	6.92	0.018	0.051	0.025	0.009	0.010	0.0020	0.012	0.0043	0.0070	0.0055	0.0031	0.0028	0.0035	0.0023	0.0030	0.0021	1.04
1-6	6.01	0.031	0.040	0.037	0.012	0.015	0.0028	0.016	0.0061	0.0079	0.0091	0.0048	0.0046	0.0053	0.0039	0.0045	0.0035	1.40
1-7	6.28	0.037	0.041	0.048	0.015	0.019	0.0033	0.020	0.0078	0.0091	0.0123	0.0063	0.0057	0.0073	0.0050	0.0057	0.0046	1.74
Р. Ашамба, 15 июля 2010 г.																		
2-1	6.37	0.026	0.077	—	0.012	0.015	0.0028	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.25
2-2	6.72	0.027	0.083	—	0.011	0.015	0.0029	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.24
2-3	8.57	0.007	0.547	—	0.061	0.075	0.0048	0.014	0.0050	0.0069	0.0053	0.0030	0.0021	0.0018	0.0018	0.0024	0.0022	0.38
2-4	6.49	0.023	0.062	—	0.010	0.013	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.04
2-5	6.29	0.032	0.077	—	0.013	0.014	0.0028	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.25
2-6	6.82	0.033	0.062	—	0.012	0.017	0.0030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.37
2-7	6.21	0.034	0.050	—	0.015	0.017	0.0033	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.47
2-8	5.80	0.035	0.049	—	0.014	0.016	0.0030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.44
2-9	6.26	0.031	0.056	—	0.013	0.016	0.0031	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.33
То же, 30 августа 2010 г.																		
3-1	12.5	—	0.797	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.45
3-2	11.7	—	0.709	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.51
3-3	10.0	—	0.574	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.61
3-4	8.91	—	0.508	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.82
3-5	8.08	—	0.422	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.04
3-6	7.32	—	0.326	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.09
3-7	6.60	—	0.245	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.36
То же, 27–28 января 2011 г.																		
4-1	5.55	0.009	0.185	—	0.006	0.008	0.0016	0.013	0.0025	0.0053	0.0020	0.0018	0.0010	0.0013	0.0006	0.0014	0.0008	0.28
4-2	4.71	0.013	0.097	—	0.009	0.008	0.0017	0.011	0.0035	0.0064	0.0035	0.0019	0.0016	0.0019	0.0014	0.0017	0.0013	0.43
4-3	5.66	0.027	0.064	—	0.010	0.013	0.0025	0.015	0.0055	0.0075	0.0078	0.0039	0.0037	0.0048	0.0033	0.0041	0.0031	1.02
4-4	4.00	0.004	0.323	—	0.011	0.011	0.0019	0.020	0.0020	0.0074	0.0017	0.0031	0.0012	0.0025	0.0021	0.0024	0.0014	0.18
4-5	5.97	0.005	0.463	—	0.022	0.024	0.0041	0.019	0.0037	0.0083	0.0054	0.0056	0.0040	0.0018	0.0029	0.0024	0.0031	0.15
4-6	3.82	0.004	0.444	—	0.013	0.013	0.0032	0.023	0.0057	0.0086	0.0027	0.0036	0.0030	0.0029	0.0027	0.0032	0.0024	0.15

Таблица 4. Окончание

№ пробы	Al	Ga	Ti	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	U
Р. Мезыбь, 1 сентября 2010 г.																		
5-1	34.6	0.047	1.09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.41
5-2	29.7	0.047	0.960	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.46
5-3	25.6	0.045	0.667	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.54
5-4	22.1	0.048	0.593	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.67
5-5	18.1	0.044	0.453	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.84
5-6	13.1	0.044	0.322	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.13
5-7	8.13	0.041	0.144	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.47
Р. Хотелай, 3 сентября 2010 г.																		
6-1	8.70	0.006	0.820	—	0.010	0.010	0.0025	0.011	0.0027	0.0061	0.0029	0.0022	0.0011	0.0015	0.0006	0.0014	0.0007	0.62
6-2	8.37	0.011	0.676	—	0.008	0.009	0.0018	0.009	0.0026	0.0060	0.0029	0.0019	0.0012	0.0020	0.0012	0.0015	0.0010	0.74
6-3	7.66	0.013	0.577	—	0.009	0.010	0.0016	0.009	0.0040	0.0062	0.0041	0.0027	0.0017	0.0024	0.0014	0.0021	0.0014	0.88
6-4	5.70	0.024	0.449	—	0.011	0.015	0.0024	0.012	0.0048	0.0077	0.0065	0.0041	0.0035	0.0043	0.0030	0.0036	0.0026	1.20
Р. Вулан, 17 июля 2006 г.																		
7-1	5.82	0.038	0.050	0.044	0.015	0.019	0.0034	0.018	0.0081	0.0086	0.0126	0.0062	0.0056	0.0069	0.0049	0.0058	0.0045	1.56
7-2	5.95	0.032	0.064	0.042	0.012	0.018	0.0031	0.018	0.0069	0.0088	0.0105	0.0055	0.0052	0.0063	0.0046	0.0054	0.0042	1.41
7-3	4.73	0.003	0.318	0.013	0.010	0.009	0.0028	0.012	0.0030	0.0088	0.0019	0.0031	0.0007	0.0013	0.0007	0.0018	0.0008	0.31
7-4	5.53	0.027	0.070	0.028	0.010	0.016	0.0025	0.012	0.0049	0.0077	0.0076	0.0043	0.0038	0.0048	0.0029	0.0039	0.0030	1.07
7-5	4.56	0.026	0.058	0.031	0.011	0.016	0.0030	0.014	0.0058	0.0078	0.0089	0.0039	0.0039	0.0049	0.0033	0.0043	0.0031	1.14
7-6	4.57	0.006	0.123	0.009	0.005	0.008	0.0014	0.008	0.0018	0.0054	0.0028	0.0013	0.0008	0.0011	0.0005	0.0012	0.0006	0.38
7-7	5.56	0.029	0.058	0.033	0.013	0.016	0.0029	0.016	0.0067	0.0082	0.0087	0.0046	0.0043	0.0053	0.0036	0.0044	0.0034	1.21
7-8	6.65	0.008	0.252	0.029	0.028	0.057	0.0063	0.030	0.0077	0.0106	0.0083	0.0055	0.0011	0.0020	0.0009	0.0015	0.0009	0.32
7-9	6.11	0.007	0.310	0.023	0.012	0.031	0.0042	0.019	0.0060	0.0100	0.0046	0.0047	0.0010	0.0015	0.0006	0.0019	0.0009	0.27
Р. Кудепста, 30 мая 2011 г.																		
8-1	6.85	0.032	0.357	—	0.011	0.013	0.0027	0.012	0.0051	0.0076	0.0079	0.0040	0.0035	0.0048	0.0032	0.0038	0.0027	1.24
8-2	5.58	0.035	0.218	—	0.012	0.016	0.0027	0.018	0.0068	0.0088	0.0103	0.0048	0.0048	0.0059	0.0042	0.0047	0.0037	1.45
8-3	5.87	0.039	0.059	—	0.016	0.019	0.0034	0.019	0.0083	0.0090	0.0131	0.0062	0.0062	0.0076	0.0052	0.0061	0.0046	1.80
8-4	44.4	0.022	1.32	—	0.053	0.077	0.0099	0.067	0.0174	0.0149	0.0216	0.0174	0.0040	0.0079	0.0020	0.0069	0.0027	0.66
8-5	39.1	0.024	1.02	—	0.050	0.073	0.0094	0.064	0.0165	0.0134	0.0197	0.0158	0.0037	0.0076	0.0016	0.0064	0.0021	0.55
Р. Мзымта, 29 мая 2011 г.																		
9-1	35.0	0.068	2.96	—	0.041	0.076	0.0091	0.038	0.0120	0.0117	0.0114	0.0093	0.0024	0.0034	0.0011	0.0034	0.0016	0.35
9-2	6.55	0.048	0.342	—	0.013	0.016	0.0030	0.015	0.0067	0.0084	0.0097	0.0053	0.0045	0.0056	0.0039	0.0047	0.0038	1.28
9-3	5.74	0.043	0.058	—	0.017	0.020	0.0035	0.018	0.0077	0.0095	0.0132	0.0070	0.0062	0.0076	0.0054	0.0060	0.0047	1.62
9-4	7.57	0.061	1.05	—	0.009	0.011	0.0020	0.008	0.0036	0.0061	0.0041	0.0026	0.0020	0.0025	0.0016	0.0019	0.0013	0.61
9-5	6.10	0.041	0.093	—	0.015	0.018	0.0032	0.020	0.0083	0.0096	0.0135	0.0067	0.0061	0.0074	0.0055	0.0062	0.0047	1.68
9-6	5.98	0.052	0.518	—	0.010	0.014	0.0028	0.015	0.0059	0.0073	0.0075	0.0039	0.0039	0.0046	0.0031	0.0039	0.0029	1.11

**Таблица 5.** Типы и параметры распределения растворенных компонентов в устьях средних и малых рек Черноморского побережья России

Компонент <i>i</i>	Устье реки	Поведение	Параметры зависимостей (1) или величины дополнительного поступления (удаления)*		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
<i>Главные ионы</i>					
Na	Все устья	Конс.	9.83	0.560	0.999
K	То же	Конс.	2.05	0.0203	0.999
Mg	»	Конс.	4.16	0.0671	0.999
Ca	Анапка	Условно неконс.**	Избыток (до 7% при [Cl] = 1.0 г/л)		
	Ашамба 07.2010, 01.2011	Конс.	70.8	0.0103	0.998
	То же, 08.2010	»	84.3	0.0090	0.999
	Мезыбь	»	60.8	0.0100	0.999
	Хотецай	»	73.3	0.0095	0.997
	Вулан	Условно неконс.	Избыток (до 30% при [Cl] = 3.0–5.0 г/л)		
	Кудепста	Конс.	33.1	0.0129	0.999
	Мзымта	»	22.8	0.0138	0.999
SO <sub>4</sub>	Все устья	Конс.	40.1	0.142	0.999
HCO <sub>3</sub>	Анапка	Условно неконс.	Избыток (до 9% при [Cl] = 1.0–2.5 г/л)		
	Ашамба 07.2010	»	Избыток (до 21% при [Cl] = 4.0 г/л)		
	То же, 08.2010, 01.2011	»	Избыток (до 29% при [Cl] = 2.5–3.5 г/л)		
	Мезыбь	»	Избыток (до 9% при [Cl] = 4.0 г/л)		
	Хотецай	»	Избыток (до 21% при [Cl] = 4.0 г/л)		
	Вулан	»	Избыток (до 67% при [Cl] = 3.0–4.0 г/л)		
	Кудепста	»	Избыток (до 10% при [Cl] = 2.0–3.0 г/л)		
	Мзымта	Конс.	72.9	0.0126	0.992
<i>Биогенные элементы</i>					
Si	Анапка	Конс.	4.88	$-4.80 \times 10^{-4}$	0.999
	Ашамба 07.2010, 08.2010	Неконс.	Потери (до 12% при [Cl] = 2.0–2.5 г/л)		
	То же, 01.2011	Конс.	3.16	$-3.25 \times 10^{-4}$	0.999
	Мезыбь	»	2.98	$-3.03 \times 10^{-4}$	0.999
	Хотецай	Неконс.	Потери (до 10% при [Cl] = 2.0–3.0 г/л)		
	Вулан	»	Потери (до 14% при [Cl] = 1.0–1.5 г/л)		
	Кудепста	Конс.	2.47	$-2.29 \times 10^{-4}$	0.999
	Мзымта	Неконс.	Потери (до 10% при [Cl] = 2.0–4.0 г/л)		
P <sub>мин</sub>	Анапка	Неконс.	Избыток (до 700% при [Cl] = 1.3 г/л)		
	Ашамба 07.2010	»	Избыток (до 35% при [Cl] = 4.0–6.0 г/л)		
	То же, 08.2010	»	Потери (до 11% при [Cl] = 4.0–4.5 г/л)		
	То же, 01.2011	»	Избыток (до 950% при [Cl] = 1.0–1.5 г/л)		
	Мезыбь	»	Избыток (до 180% при [Cl] = 2.5 г/л)		
	Хотецай	»	Избыток (до 170% при [Cl] = 2.5 г/л)		
	Вулан	»	Потери (до 32% при [Cl] = 1.0 г/л)		

Таблица 5. Продолжение

Компонент <i>i</i>	Устье реки	Поведение	Параметры зависимостей (1) или величины дополнительного поступления (удаления)*		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
P <sub>орг</sub>	Анапка	Неконс.	Потери (до 58% при [СI] = 2.5 г/л)		
	Ашамба 07.2010	»	Потери (до 320% при [СI] = 6.0–6.5 г/л)		
	То же, 08.2010	»	Потери (до 8% при [СI] = 4.0–4.5 г/л)		
	То же, 01.2011	»	Потери (до 80% при [СI] = 0.5–1.0 г/л)		
	Мезыбь	»	Потери (до 37% при [СI] = 5.0–6.0 г/л)		
	Хотецай	»	Потери (до 60% при [СI] = 0.5 г/л)		
<i>Микроэлементы</i>					
Li	Анапка	Конс.	0.022	$7.79 \times 10^{-6}$	0.999
Rb	Все устья	Конс.	$5.7 \times 10^{-4}$	$6.02 \times 10^{-6}$	0.999
Cs	То же	Конс.	$4.5 \times 10^{-6}$	$1.39 \times 10^{-8}$	0.995
Sr	Анапка, Хотецай	Конс.	1.71	$3.03 \times 10^{-4}$	0.998
	Ашамба 07.2010, 01.2011	»	0.94	$3.69 \times 10^{-4}$	0.998
	То же, 08.2010	»	1.42	$3.28 \times 10^{-4}$	0.999
	Мезыбь, Вулан	»	0.92	$3.83 \times 10^{-4}$	0.998
	Кудепста, Мзымта	»	0.26	$4.27 \times 10^{-4}$	0.999
	Ba	Анапка	Неконс.	Избыток (до 13% при [СI] = 6.0 г/л)	
Ашамба 07.2010		Конс.	0.080	$-6.41 \times 10^{-6}$	0.999
То же, 08.2010		»	0.085	$-6.97 \times 10^{-6}$	0.999
То же, 01.2011		»	0.067	$-5.15 \times 10^{-6}$	0.999
Мезыбь		Неконс.	Избыток (до 17% при [СI] = 1.0–2.0 г/л)		
Хотецай		»	Избыток (до 18% при [СI] = 2.5 г/л)		
Вулан		»	Избыток (до 8% при [СI] = 0.5–1.5 г/л)		
Кудепста		»	Избыток (до 93% при [СI] = 5.5–7.5 г/л)		
B	Мзымта	»	Избыток (до 390% при [СI] = 2.0–2.5 г/л)		
	Все устья	Конс.	0.063	$2.23 \times 10^{-4}$	0.998
F	Анапка	Конс.	0.25	$6.89 \times 10^{-5}$	0.999
V	Анапка, Мзымта	Конс.	$4.8 \times 10^{-4}$	$5.36 \times 10^{-8}$	0.998
	Ашамба, Мезыбь, Вулан	»	$2.1 \times 10^{-4}$	$6.66 \times 10^{-8}$	0.990
	Хотецай, Кудепста	»	$3.8 \times 10^{-4}$	$5.66 \times 10^{-8}$	0.994
As	Анапка, Ашамба 07.2010, 08.2010, Хотецай, Вулан, Кудепста	Конс.	$3.9 \times 10^{-4}$	$6.82 \times 10^{-8}$	0.991
	Ашамба 01.2011	»	$1.4 \times 10^{-4}$	$7.94 \times 10^{-8}$	0.998
	Мезыбь, Мзымта	»	$7.4 \times 10^{-4}$	$5.08 \times 10^{-8}$	0.993
Mo	Все устья	Конс.	$3.3 \times 10^{-4}$	$4.97 \times 10^{-7}$	0.997
Mn	Анапка	Неконс.	Потери (до 28% при [СI] = 0.5–1.5 г/л)		
	Ашамба 07.2010	»	Потери (до 43% при [СI] = 1.0–2.5 г/л)		
	То же, 08.2010	Конс.	0.030	$-2.87 \times 10^{-6}$	0.984

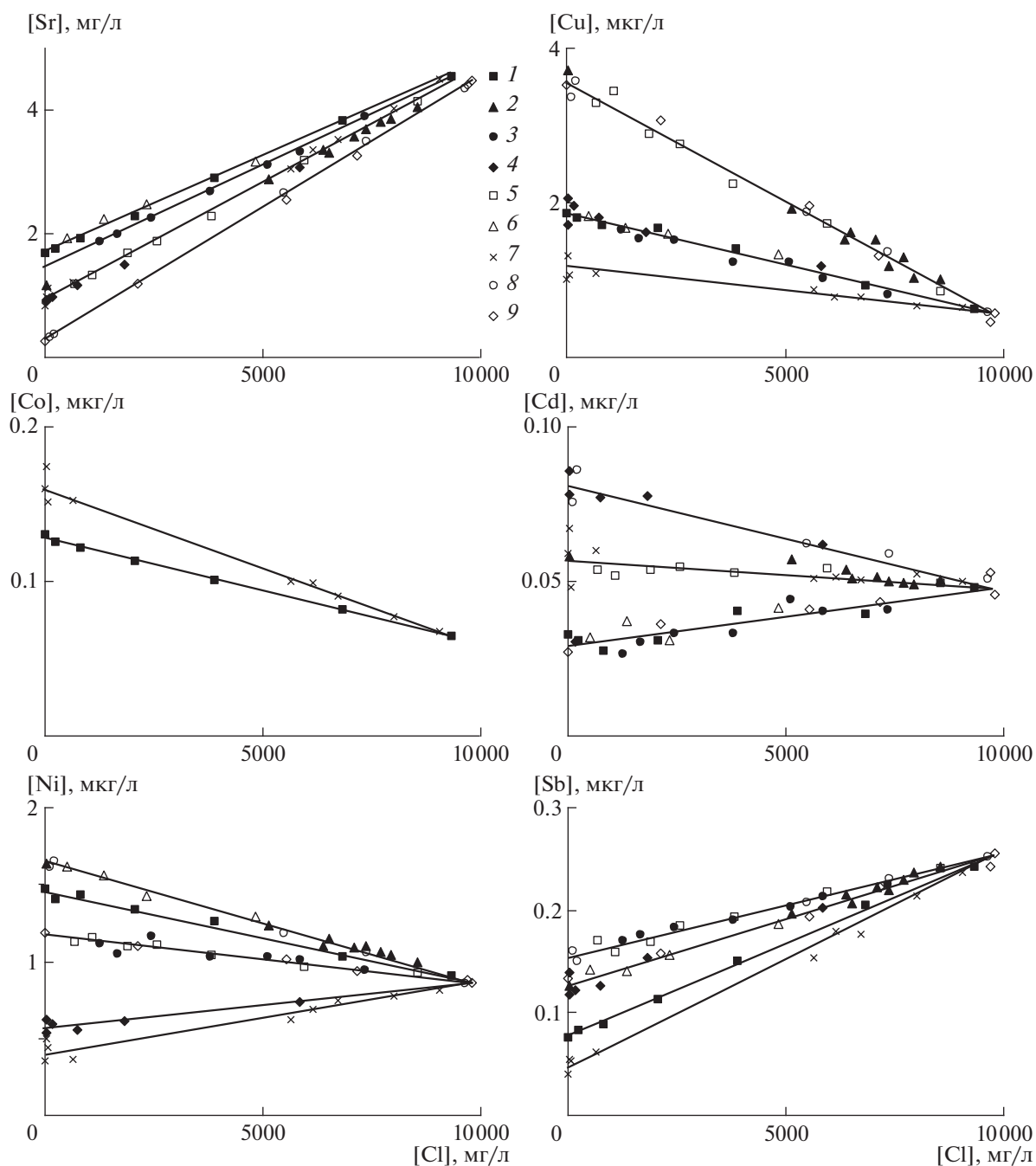
Таблица 5. Продолжение

Компонент <i>i</i>	Устье реки	Поведение	Параметры зависимостей (1) или величины дополнительного поступления (удаления)*		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
Fe	То же, 01.2011	Неконс.	Потери (до 20% при [СІ] = 0.5–1.0 г/л)		
	Мезыбь	»	Потери (до 77% при [СІ] = 1.1–1.6 г/л)		
	Хотецай	Конс.	$1.1 \times 10^{-3}$	$-2.57 \times 10^{-8}$	0.326
	Вулан	Неконс.	Потери (до 85% при [СІ] = 0.3–0.5 г/л)		
	Кудепста	»	Потери (до 67% при [СІ] = 0.3–0.5 г/л)		
	Мзымта	»	Потери (до 25% при [СІ] = 0.5–1.5 г/л)		
	Анапка	Неконс.	Потери (до 42% при [СІ] = 1.0–2.0 г/л)		
	Ашамба 07.2010, Хотецай	»	Потери (до 39% при [СІ] = 1.0–2.0 г/л)		
	То же, 08.2010	Конс.	0.098	$-9.47 \times 10^{-6}$	0.996
	То же, 01.2011	Неконс.	Потери (до 26% при [СІ] = 1.5–3.0 г/л)		
	Мезыбь	»	Потери (до 39% при [СІ] = 2.0–2.5 г/л)		
	Кудепста	»	Потери (до 32% при [СІ] = 3.0–4.0 г/л)		
Co	Мзымта	»	Потери (до 41% при [СІ] = 2.5–3.0 г/л)		
	Анапка	Конс.	$1.3 \times 10^{-4}$	$-6.80 \times 10^{-9}$	0.998
Ni	Вулан	»	$1.6 \times 10^{-4}$	$-1.05 \times 10^{-8}$	0.989
	Анапка	Конс.	$1.4 \times 10^{-3}$	$-5.06 \times 10^{-8}$	0.993
Cu	Ашамба 07.2010, Хотецай, Кудепста	»	$1.6 \times 10^{-3}$	$-7.81 \times 10^{-8}$	0.996
	Ашамба 08.2010, Мезыбь, Мзымта	»	$1.2 \times 10^{-3}$	$-2.94 \times 10^{-8}$	0.956
	Ашамба 01.2011	»	$5.7 \times 10^{-4}$	$2.78 \times 10^{-8}$	0.874
	Вулан	»	$4.0 \times 10^{-4}$	$4.54 \times 10^{-8}$	0.961
	Анапка, Ашамба 08.2010, 01.2011, Хотецай	Конс.	$1.9 \times 10^{-3}$	$-1.37 \times 10^{-7}$	0.976
	Ашамба 07.2010, Мезыбь, Кудепста, Мзымта	»	$3.6 \times 10^{-3}$	$-3.12 \times 10^{-7}$	0.995
Cd	Вулан	»	$1.1 \times 10^{-3}$	$-5.46 \times 10^{-8}$	0.931
	Анапка, Ашамба 08.2010, Хотецай, Мзымта	Конс.	$2.9 \times 10^{-5}$	$1.98 \times 10^{-9}$	0.946
	Ашамба 07.2010, Мезыбь, Вулан	»	$5.7 \times 10^{-5}$	$-8.15 \times 10^{-10}$	0.608
Pb	Ашамба 01.2011, Кудепста	»	$7.4 \times 10^{-5}$	$-2.14 \times 10^{-9}$	0.550
	Анапка	Неконс.	Потери (до 80% при [СІ] = 0.5–1.0 г/л)		
	Ашамба 01.2011, Мзымта	»	Потери (до 65% при [СІ] = 1.0–1.5 г/л)		
Sb	Вулан	»	Потери (до 74% при [СІ] = 0.5–1.2 г/л)		
	Анапка	Конс.	$7.5 \times 10^{-5}$	$1.82 \times 10^{-8}$	0.999
	Ашамба 07.2010, 01.2011, Хотецай, Мзымта	»	$1.3 \times 10^{-4}$	$1.30 \times 10^{-8}$	0.991
	Ашамба 08.2010, Мезыбь, Кудепста	»	$1.5 \times 10^{-4}$	$9.89 \times 10^{-9}$	0.989
	Вулан	»	$4.8 \times 10^{-5}$	$2.04 \times 10^{-8}$	0.996

Таблица 5. Окончание

Компонент <i>i</i>	Устье реки	Поведение	Параметры зависимостей (1) или величины дополнительного поступления (удаления)*		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
Al	Анапка	Неконс.	Потери (до 48% при [Сl] = 1.0–1.7 г/л)		
	Ашамба 07.2010, Хотецай	Конс.	$8.5 \times 10^{-3}$	$-3.09 \times 10^{-7}$	0.885
	Ашамба 01.2011, Вулан	»	$5.1 \times 10^{-3}$	$5.99 \times 10^{-8}$	0.348
	Ашамба 08.2010	Неконс.	Потери (до 14% при [Сl] = 2.5–3.5 г/л)		
	Мезыбь	»	Потери (до 18% при [Сl] = 2.5–3.5 г/л)		
	Кудепста	»	Потери (до 69% при [Сl] = 1.0–1.3 г/л)		
	Мзымта	»	Потери (до 68% при [Сl] = 0.7–1.0 г/л)		
Ga	Анапка, Ашамба, Хотецай, Вулан	Конс.	$5.3 \times 10^{-6}$	$3.53 \times 10^{-9}$	0.993
	Мезыбь	»	$4.8 \times 10^{-5}$	$-8.17 \times 10^{-10}$	0.923
	Кудепста	»	$2.2 \times 10^{-5}$	$1.73 \times 10^{-9}$	0.996
	Мзымта	»	$6.7 \times 10^{-5}$	$-2.58 \times 10^{-9}$	0.996
Ti	Анапка, Вулан	Неконс.	Потери (до 60% при [Сl] = 1.5–2.5 г/л)		
	Ашамба 07.2010, 01.2011	»	Потери (до 65% при [Сl] = 1.0–2.0 г/л)		
	То же, 08.2010	»	Потери (до 12% при [Сl] = 2.0–3.0 г/л)		
	Мезыбь	»	Потери (до 25% при [Сl] = 1.5–2.5 г/л)		
	Хотецай, Кудепста	»	Потери (до 38% при [Сl] = 0.7–1.3 г/л)		
	Мзымта	»	Потери (до 42% при [Сl] = 1.3–2.5 г/л)		
Y	Анапка	Неконс.	Потери (до 45% при [Сl] = 1.5–2.0 г/л)		
	Вулан	»	Потери (до 68% при [Сl] = 1.0–1.5 г/л)		
La	Все устья	Неконс.	Потери (до 63–82% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Ce	То же	Неконс.	Потери (до 59–82% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Pr	»	Неконс.	Потери (до 45–79% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Nd	»	Неконс.	Потери (до 47–81% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Sm	»	Неконс.	Потери (до 54–85% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Eu	»	Неконс.	Потери (до 34–54% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Gd	»	Неконс.	Потери (до 67–88% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Dy	»	Неконс.	Потери (до 66–89% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Ho	»	Неконс.	Потери (до 53–84% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Er	»	Неконс.	Потери (до 45–84% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Tm	»	Неконс.	Потери (до 55–84% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Yb	»	Неконс.	Потери (до 48–88% при [Сl] = 0.5 г/л)		
Lu	»	Неконс.	Потери (до 46–83% при [Сl] = 0.5 г/л)		
U	Анапка, Хотецай, Кудепста	Конс.	$5.7 \times 10^{-4}$	$1.24 \times 10^{-7}$	0.998
	Ашамба 07.2010, 08.2010, Мезыбь, Вулан, Мзымта	»	$3.0 \times 10^{-4}$	$1.38 \times 10^{-7}$	0.998
	Ашамба 01.2011	»	$1.6 \times 10^{-4}$	$1.49 \times 10^{-7}$	0.999

\* В % относительно содержания в речной водной массе; \*\* условно неконсервативное поведение обусловлено притоком в зону смешения подземных вод и фактически соответствует консервативному.

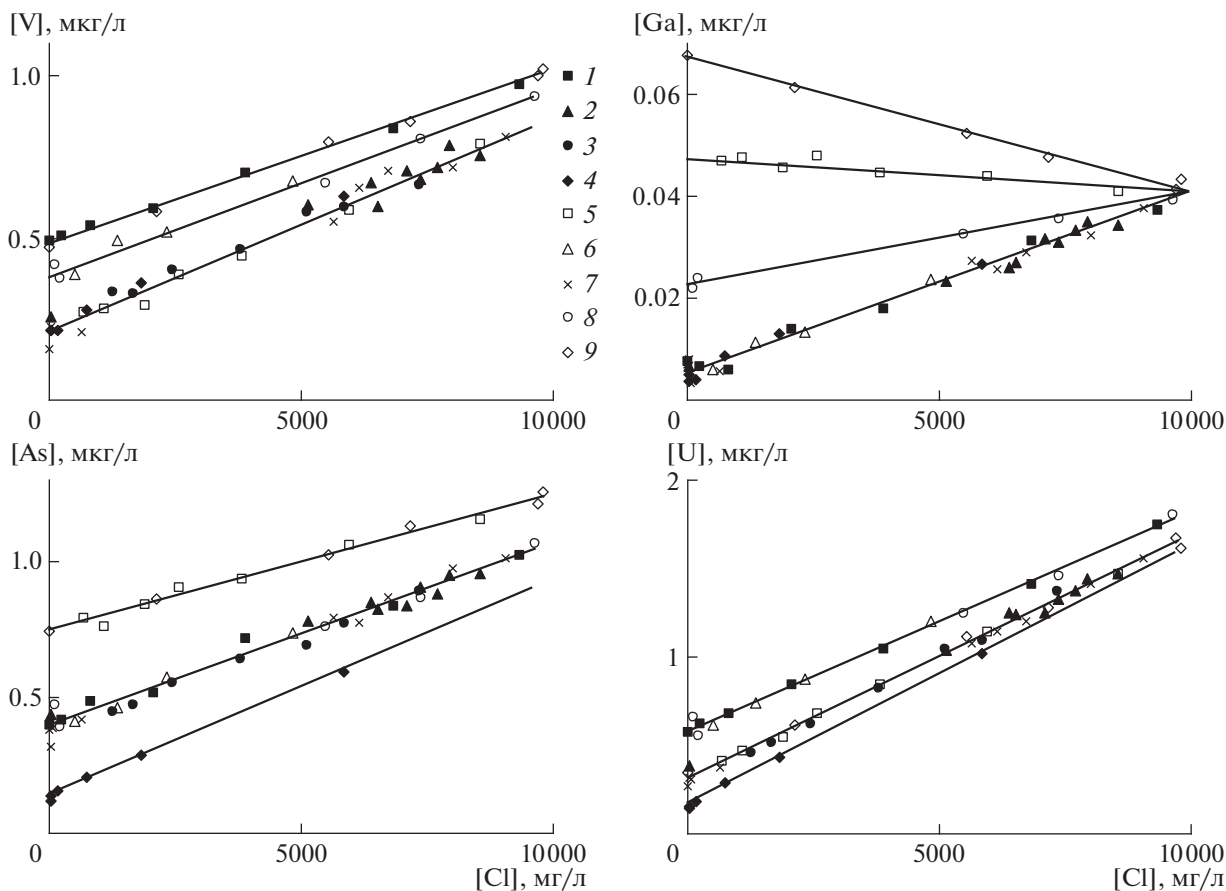


**Рис. 2.** Зависимости концентраций растворенных форм стронция, кобальта, никеля, меди, кадмия и сурьмы от содержания хлоридов в устьях рек Черноморского побережья России.

(1) – Анапка, май 2014 г.; (2) – Ашамба, июль 2010 г.; (3) – то же, август 2010 г.; (4) – то же, январь 2011 г.; (5) – Мезыбь, сентябрь 2010 г.; (6) – Хотейсай, сентябрь 2010 г.; (7) – Вулан, июль 2006 г.; (8) – Кудепста, май 2011 г.; (9) – Мзымта, май 2011 г.

го минерального фосфора было примерно постоянным (0.014–0.017 мг/л) на протяжении всей распресненной части зоны смешения, снижаясь до 0.011 мг/л лишь на устьевом взморье. Для органического фосфора наблюдалась обратная зависимость: при содержании хлоридов менее 6 г/л количество  $P_{\text{орг}}$  в растворе поддерживалось на уровне ~0.001 мг/л, тогда как при дальнейшем

осолонении возрастало до 0.005 мг/л. Однако к 30 августа 2010 г. ситуация принципиально изменилась: концентрации растворенных форм минерального и органического фосфора в речном стоке возросли на порядок величины, а при взаимодействии с морской водой происходило их резкое снижение с потерями, достигающими в водах средней солености соответственно 11 и 8%. При-



**Рис. 3.** Зависимости концентраций растворенных форм ванадия, мышьяка, галлия и урана от содержания хлоридов в устьях рек Черноморского побережья России. (1) – Анапка, май 2014 г.; (2) – Ашамба, июль 2010 г.; (3) – то же, август 2010 г.; (4) – то же, январь 2011 г.; (5) – Мезыбь, сентябрь 2010 г.; (6) – Хотецай, сентябрь 2010 г.; (7) – Вулан, июль 2006 г.; (8) – Кудепста, май 2011 г.; (9) – Мзымта, май 2011 г.

чиной аномально высокого содержания фосфора в речных водах в этот период мог быть ливневой смыв фосфорсодержащих удобрений с расположенных на водосборе виноградунов, поскольку в момент съемки в устье реки проходила высокая паводковая волна. Данное предположение подтверждается при анализе распределения в устье Ашамбы кремния, которое в июле и августе 2010 г. описывалось общей зависимостью от содержания хлоридов с максимальными потерями в результате биологического потребления ~12%.

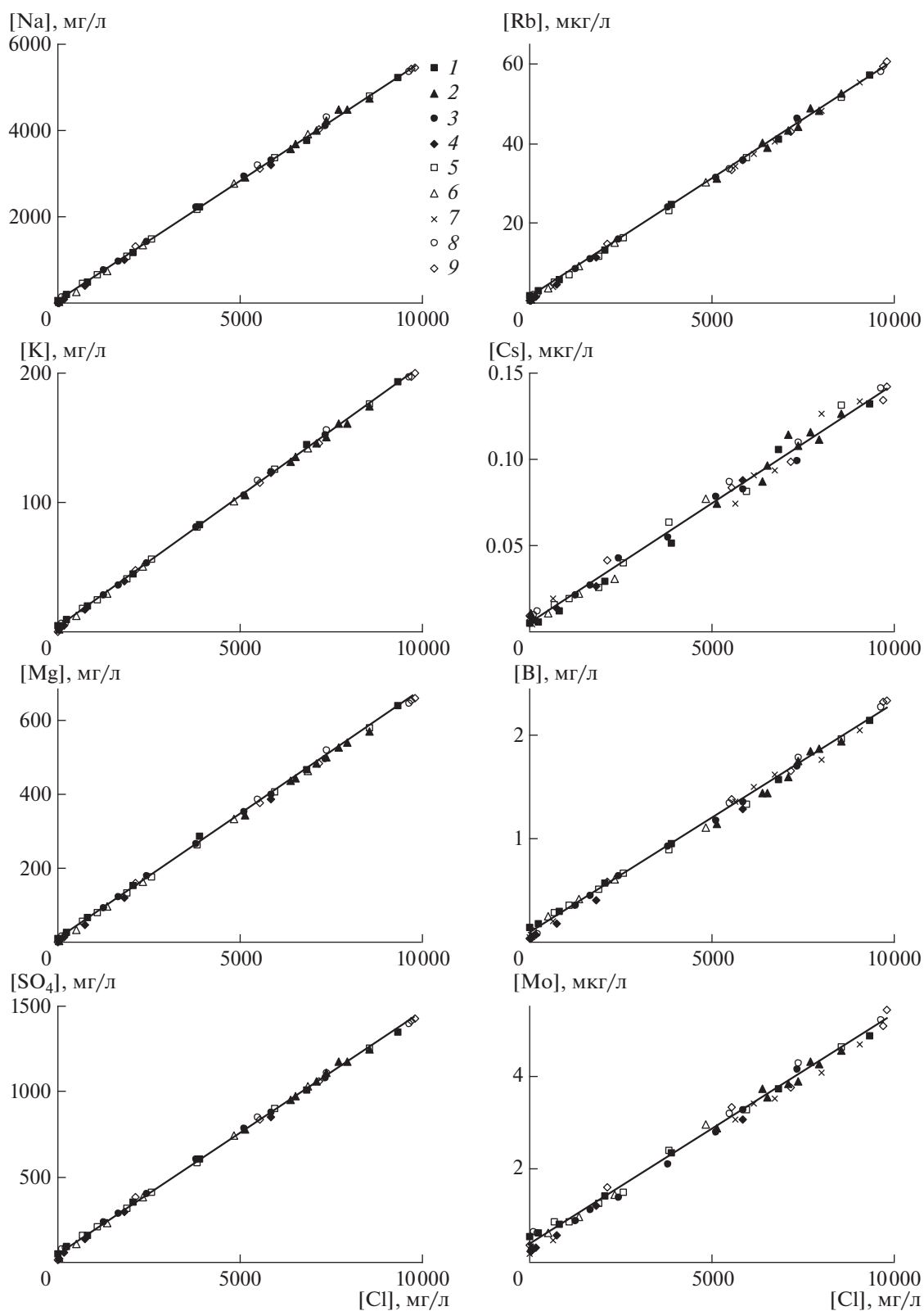
В январе 2011 г. в устье Ашамбы, а также в мае 2014 г. в устье Анапки во время съемок наблюдалось отсутствие стратификации, в результате чего ведущую роль в трансформации потоков растворенного фосфора играло, по-видимому, поступление в водную толщу поровых вод из взмучивающихся донных отложений, где происходит реминерализация органического вещества, в процессе которой в первую очередь высвобождаются фос-

фаты. Это привело к резкому возрастанию (соответственно в 9.5 и 7.0 раз) содержания минерального фосфора на начальных стадиях проникновения речных вод в морскую среду с последующим плавным снижением до собственных значений морской водной массы значений, а также к противоположно направленному изменению концентрации органического фосфора. Поведение кремния при этом было близко к консервативному, что указывает на слабую интенсивность процессов его ассимиляции–реминерализации в пределах устьевых областей.

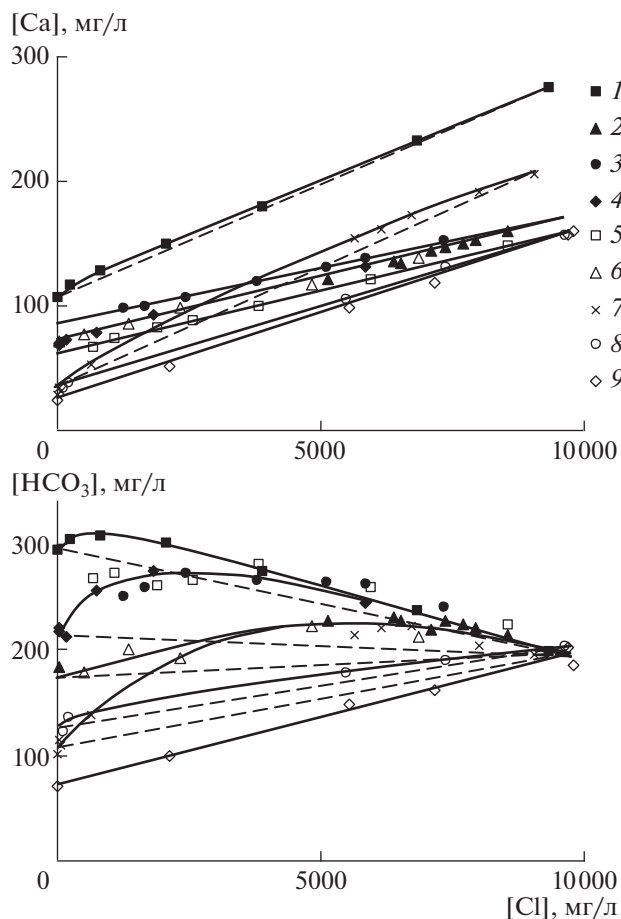
В устье Вулана отмечалось синхронное биологическое удаление растворенных форм минерального фосфора и кремния, концентрации которых снижались соответственно с 0.008 до 0.002 и с 3.0 до 0.3 мг/л при максимальных потерях, равных 32 и 14% выноса этих элементов с речными водами.

В устьях Мезыби и Хотецая главным фактором миграции растворенного минерального фосфора,



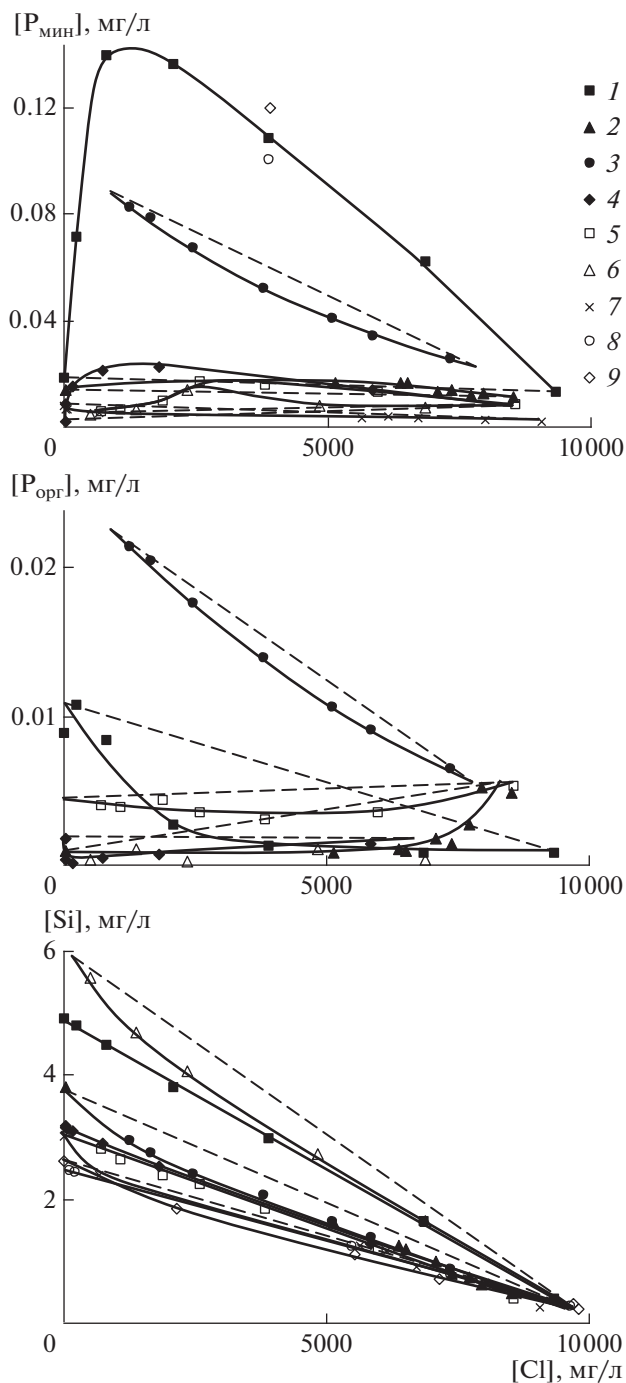


**Рис. 4.** Зависимости концентраций растворенных форм натрия, калия, магния, сульфатов, рубидия, цезия, бора и молибдена от содержания хлоридов в устьях рек Черноморского побережья России. (1) – Анапка, май 2014 г.; (2) – Ашамба, июль 2010 г.; (3) – то же, август 2010 г.; (4) – то же, январь 2011 г.; (5) – Мезыбь, сентябрь 2010 г.; (6) – Хотецай, сентябрь 2010 г.; (7) – Вулан, июль 2006 г.; (8) – Кудепста, май 2011 г.; (9) – Мзымта, май 2011 г.

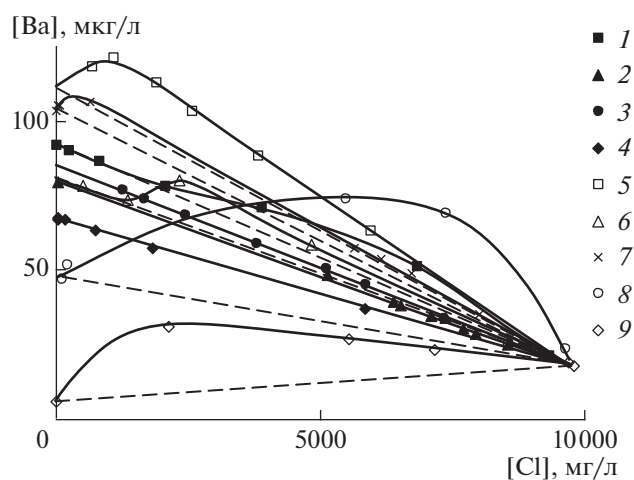


**Рис. 5.** Зависимости концентраций растворенных форм кальция и гидрокарбонатов от содержания хлоридов в устьях рек Черноморского побережья России. (1) – Анапка, май 2014 г.; (2) – Ашамба, июль 2010 г.; (3) – то же, август 2010 г.; (4) – то же, январь 2011 г.; (5) – Мезыбь, сентябрь 2010 г.; (6) – Хотецай, сентябрь 2010 г.; (7) – Вулан, июль 2006 г.; (8) – Кудепста, май 2011 г.; (9) – Мзымта, май 2011 г. Здесь и на рис. 6–9 пунктиром обозначены расчетные линии консервативного смешения двух водных масс.

по-видимому, служит десорбция с речных взвесей в водах промежуточной солености, приводящая к его дополнительному поступлению в раствор в количествах, превышающих речной сток до 1.8 и 1.7 раз. Решающим аргументом в пользу хемогенного механизма трансформации потока растворенных фосфатов в данном случае стало отсутствие взаимосвязи с концентрацией растворенного органического фосфора. Степень неконсервативности поведения кремния в устьях Мезыби, Хотецая, а также Кудепсты и Мзымты даже в одни и те же периоды времени сильно различается (табл. 5) и определяется, предположительно, локальными вариациями численности диатомовых водорослей, активно потребляющих этот элемент.



**Рис. 6.** Зависимости концентраций растворенных форм минерального, органического фосфора и кремния от содержания хлоридов в устьях рек Черноморского побережья России. (1) – Анапка, май 2014 г.; (2) – Ашамба, июль 2010 г.; (3) – то же, август 2010 г.; (4) – то же, январь 2011 г.; (5) – Мезыбь, сентябрь 2010 г.; (6) – Хотецай, сентябрь 2010 г.; (7) – Вулан, июль 2006 г.; (8) – Кудепста, май 2011 г.; (9) – Мзымта, май 2011 г.



**Рис. 7.** Зависимости концентрации растворенного бария от содержания хлоридов в устьях рек Черноморского побережья России.

(1) – Анапка, май 2014 г.; (2) – Ашамба, июль 2010 г.; (3) – то же, август 2010 г.; (4) – то же, январь 2011 г.; (5) – Мезыбь, сентябрь 2010 г.; (6) – Хотецай, сентябрь 2010 г.; (7) – Вулан, июль 2006 г.; (8) – Кудепста, май 2011 г.; (9) – Мзымта, май 2011 г.

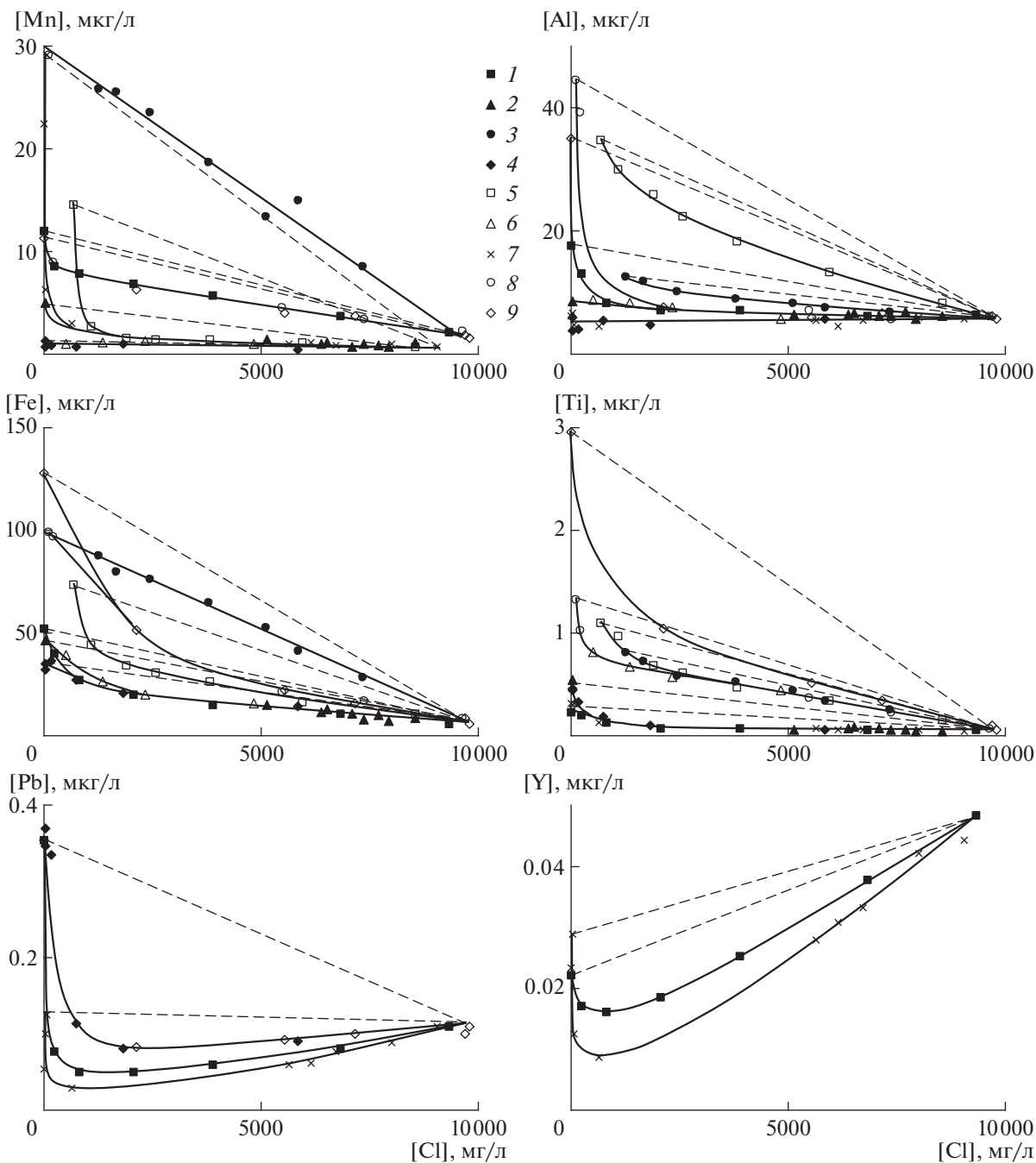
Таким образом, пространственно-временная изменчивость и степень неконсервативности распределения биогенных элементов в устьевых областях рек исследуемого района формируются под влиянием двух групп факторов: а) изменчивости химического состава речного стока; б) интенсивности протекания в зоне смешения речных и морских вод внутриводоемных биологических (ассимиляция гидробионтами, реминерализации органического вещества при взмучивании донных отложений) и химических (сорбционно-десорбционный обмен в поглощенном комплексе речных взвесей) процессов. В устьевых областях Волги и Урала поведение биогенных элементов контролируют эти же факторы, однако в первом случае главным внутриводоемным процессом, приводящим к удалению до 60–90 и 46–82% содержащихся в речных водах растворенных фосфатов и кремния, служит их ассимиляция водной биотой [4], а во втором – наиболее значимо поступление фосфатов в раствор из поровых вод поверхностного слоя донных отложений при сильном биологическом потреблении кремния [10].

На миграцию бария в зоне смешения речных и морских вод наибольшее влияние оказывают сорбционно-десорбционные процессы в поглощенном комплексе речных взвесей [1], и его поведение в устьевых областях рек Черноморского побережья России подтверждает этот вывод. Как показано на рис. 7, линейные зависимости концентрации растворенного бария от содержания

хлоридов (1) наблюдаются только в устье Ашамбы, тогда как в устьях Вулана, Анапки, Мезыби и Хотецая максимальная десорбция этого элемента составляет 8, 13, 17 и 18% содержания в речных водах, в устье Кудепсты – сравнима с выносом речным стоком, а в устье Мзымты – превышает его почти в 4 раза (табл. 5). Дополнительное поступление бария в раствор в зонах смешения вод Волги и Урала с водами Северного Каспия достигает соответственно 52 и 20% [4, 10].

Распределение растворенных форм марганца, железа, свинца, алюминия, титана, иттрия и редкоземельных элементов также аналогично характерному для устьевых областей Волги, Урала и большинства рек мира [1, 4, 10]: доминирование прочных комплексов с образующим коллоидную фракцию растворенным органическим веществом приводит к резкому снижению подвижности этих элементов уже на ранних стадиях смешения с морской водой в результате коагуляции и флокуляции органических и органоминеральных коллоидов (рис. 8, 9). Степень удаления элементов из раствора в устьях разных рек и в различные периоды времени варьируется в довольно широких пределах и зависит от их содержания в речных водах и химического состава последних (главным образом от содержания и состава органического вещества), причем для марганца, железа, свинца, алюминия, титана и иттрия оба фактора сопоставимы по значимости, тогда как для редкоземельных элементов ведущую роль играет их содержание в речном стоке. Так, в большинстве случаев максимальные потери марганца, железа и алюминия находятся в диапазоне 14–48%, хотя для устьев некоторых рек и Ашамбы в отдельные периоды поведение этих элементов близко к консервативному, а иногда их удаление из раствора достигает 67–85% (табл. 5). Сток растворенных свинца, титана и иттрия в зоне активной флокуляции коллоидов уменьшается соответственно на 65–80, 12–65 и 45–68%; редкоземельных элементов – на 34–54...66–89% с минимумом для европия и максимумом для гадолиния и диспрозия. Для устьевых областей Волги и Урала, несмотря на специфику химического состава вод Северного Каспия, оценки потерь элементов этой группы на геохимическом барьере река–море за редкими исключениями (консервативное поведение иттрия, более интенсивное удаление титана) близки к таковым для устьев рек Черноморского побережья России [4, 10].

В итоге, проведенные исследования позволили установить сходство типов распределения растворенных макро- и микроэлементов в устьях крупных и малых рек российских секторов Черного и Каспийского морей, которое в подавляющем большинстве случаев отличается только степенью вовлеченности элементов в те или иные внутриводоемные процессы.

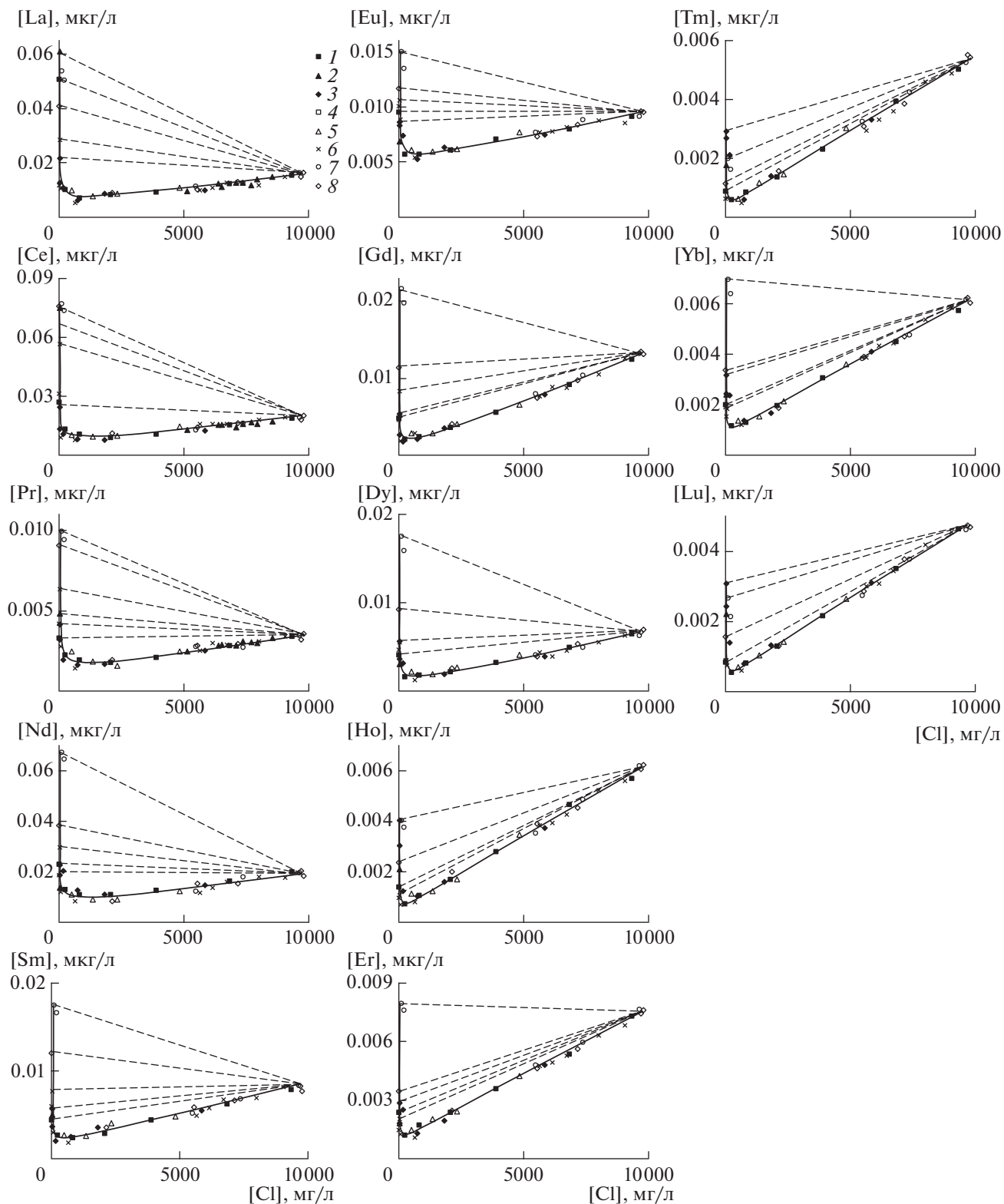


**Рис. 8.** Зависимости концентраций растворенных форм марганца, железа, свинца, алюминия, титана и иттрия от содержания хлоридов в устьях рек Черноморского побережья России. (1) – Анапка, май 2014 г.; (2) – Ашамба, июль 2010 г.; (3) – то же, август 2010 г.; (4) – то же, январь 2011 г.; (5) – Мезыбь, сентябрь 2010 г.; (6) – Хотецай, сентябрь 2010 г.; (7) – Вулан, июль 2006 г.; (8) – Кудепста, май 2011 г.; (9) – Мзымта, май 2011 г.

**ВЫВОДЫ**

1. В устьях 7 средних и малых рек Черноморского побережья России установлено консервативное поведение ряда главных ионов (Na, K, Mg, SO<sub>4</sub>) и растворенных микроэлементов (Li, Rb, Cs, Sr, Co, Ni, Cu, Cd, Sb, Ga, B, F, V, As, Mo, U), а

также условно неконсервативное, т.е. фактически соответствующее консервативному поведению кальция и гидрокарбонатов, обусловленное вкладом рассредоточенного подземного стока в их поступление в зону смешения речных и морских вод.



**Рис. 9.** Зависимости концентраций растворенных форм редкоземельных элементов от содержания хлоридов в устьях рек Черноморского побережья России.

(1) – Анапка, май 2014 г.; (2) – Ашамба, июль 2010 г.; (3) – то же, январь 2011 г.; (4) – Мезыбь, сентябрь 2010 г.; (5) – Хотейтай, сентябрь 2010 г.; (6) – Вулан, июль 2006 г.; (7) – Кудепста, май 2011 г.; (8) – Мзымта, май 2011 г.

2. Степень неконсервативности распределения биогенных элементов (P, Si) в зоне смешения речных и морских вод является следствием совместного влияния двух групп факторов: а) условий формирования химического состава речного стока; б) вовлеченности во внутриводоемные биологические (ассимиляция гидробионтами, реминерализации органического вещества при взмучивании донных отложений) и химические (сорбционно-десорбционный обмен в поглощенном комплексе речных взвесей) процессы.

3. Сток растворенного бария в устьях изученных рек, за исключением Ашамбы, увеличивается на 8–390% его концентрации в речных водах за счет десорбции из поглощенного комплекса терригенного материала.

4. Доминирование прочных комплексов с образующим коллоидную фракцию растворенным органическим веществом приводит к снижению подвижности марганца, железа, свинца, алюминия, титана, иттрия и редкоземельных элементов (от ~0 до 85%) на ранних стадиях смешения с морской водой в результате коагуляции и флокуляции органических и органоминеральных коллоидов.

5. Пространственно-временная изменчивость распределения всех изученных растворенных макро- и микроэлементов в зоне смешения речных и морских вод зависит от изменчивости химического состава материкового стока и различий концентраций элементов на речной и морской границах зоны смешения, с возрастанием которых нивелируется влияние первого фактора.

6. Сопоставление с ранее полученными данными для устьевых областей Волги и Урала показало сходство типов распределения растворенных макро- и микроэлементов в устьях крупных и малых рек российских секторов Черного и Каспийского морей, отличающееся степенью вовлеченности элементов в те или иные внутриводоемные процессы в устье каждой реки в конкретный период времени.

**Источники финансирования.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-05-00802).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М., 2012. 452 с.
2. Гордеев В.В., Филиппов А.С., Кравчишина М.Д. и др. Особенности геохимии речного стока в Белое море // Система Белого моря. Т. 2. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. Глава 4. М.: Научный мир, 2012. С. 225–308.
3. Маккавеев П.Н., Завьялов П.О. Сток малых и средних рек российского побережья Черного моря и его влияние на характеристики вод // Система Черного моря. Глава 3. Геохимия речного стока в Черное море. Раздел 3.2. М.: Научный мир, 2018. С. 287–322.
4. Савенко А.В., Бреховских В.Ф., Покровский О.С. Миграция растворенных микроэлементов в зоне смешения вод Волги и Каспийского моря (по многолетним данным) // Геохимия. 2014. № 7. С. 590–604.
5. Савенко А.В., Демиденко Н.А., Покровский О.С. Химическая трансформация стока растворенных веществ в устьевых областях Онеги и Мезени // Геохимия. 2016. № 5. С. 447–456.
6. Савенко А.В., Демиденко Н.А., Покровский О.С. Пространственно-временная изменчивость трансформации стока растворенных веществ в эстуарии Мезени // Океанология. 2019. Т. 59. № 2. С. 216–226.
7. Савенко А.В., Ефимова Л.Е. Трансформация стока растворенных веществ в зоне смешения речных и морских вод // Геоэкологическое состояние Арктического побережья России и безопасность природопользования. М.: ГЕОС, 2007. С. 285–299.
8. Савенко А.В., Покровский О.С. Миграция растворенных веществ в устье р. Серебрянки бассейна Японского моря (Сихотэ-Алинский заповедник) // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 6. С. 579–584.
9. Савенко А.В., Покровский О.С. Распределение растворенных веществ в эстуарии Енисея и на прилегающей акватории Карского моря и его межгодовая изменчивость // Геохимия. 2019. Т. 64. № 11. С. 1175–1186.
10. Савенко А.В., Покровский О.С. Трансформация стока растворенных веществ в устье р. Урал // Геохимия. 2020. Т. 65. № 8. С. 811–822.
11. Савенко А.В., Покровский О.С., Кожин М.Н. Трансформация стока растворенных веществ в устьевых областях малых водотоков южного побережья Кольского полуострова // Океанология. 2011. Т. 51. № 5. С. 837–848.
12. Савенко А.В., Цыцарин А.Г., Павлишеникова Е.С. Поведение стронция, фтора и бора в устьевых областях Кубани и Дона // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 6. С. 732–742.
13. Хрусталева Ю.П. Закономерности современного осадконакопления в Северном Каспии. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1978. 208 с.
14. Хрусталева Ю.П. Закономерности осадконакопления во внутриконтинентальных морях аридной зоны. Л.: Наука, 1989. 261 с.
15. Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий. Владивосток: Дальнаука, 2004. 279 с.

## Transformation of Major and Trace Element Composition of the Dissolved Matter Runoff in the Mouths of Medium and Small Rivers of the Black Sea Coast of Russia

A. V. Savenko<sup>a, #</sup>, O. S. Pokrovsky<sup>b, c</sup>

<sup>a</sup>*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Federal Research Centre of Complex Studying of the Arctic Region RAS, Arkhangelsk, Russia*

<sup>c</sup>*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: Alla\_Savenko@rambler.ru*

Based on field observations, the regularities of dissolved matter migration in the mouth areas of rivers of the Black Sea coast of Russia (Anapka, Ashamba, Mezzyb', Hotetsai, Vulcan, Kudepsta, and Mzymta) were studied. Conservative behavior (a linear form of the relationship between the component concentration and chlorides content) was established for a number of major ions and trace elements: Na, K, Mg, SO<sub>4</sub>, Li, Rb, Cs, Sr, Co, Ni, Cu, Cd, Sb, Ga, B, F, V, As, Mo, and U. The conditionally non-conservative behavior of calcium and hydrocarbonates also actually corresponds to the conservative one, since their excess in the mouths of some rivers is associated with the inflow of dispersed groundwater runoff into the mixing zone, in addition to river waters. Non-conservative behavior (a nonlinear form of the relationship between the component concentration and chlorides content, indicating its participation in autochthonous processes in the mixing zone between the riverine and seawater masses) is typical for nutrients involved in production-destruction (P, Si) and sorption-desorption (P) processes; barium, to a greater or lesser extent desorbed from river suspended matter (from ~0 to 390% of its concentration in river waters), as well as for Mn, Fe, Pb, Al, Ti, Y, and rare-earth elements, which are removed from the solution during coagulation and flocculation of organic and organo-mineral colloids (from ~0 to 85%). The spatiotemporal variability of the distribution of dissolved major and trace elements in the mixing zone between the riverine and seawater masses depends on the variability of the chemical composition of continental runoff and differences in the concentrations of elements at the river and sea boundaries of the mixing zone, with an increase in which the influence of the first factor is leveled. Using previously obtained data, the similarity of the types of distribution of dissolved major and trace elements in the mouths of large and small rivers of the Russian sectors of the Black and Caspian Seas was shown, which differs only in the degree of involvement of elements in certain autochthonous processes at the mouth of each river in a specific period of time.

**Keywords:** river mouths, mixing zone between the riverine and seawater masses, main salt composition, dissolved trace elements, conservative and nonconservative behavior, the Black Sea coast of Russia