

УДК 551.468

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИЛИВНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА В ЗИМНЮЮ МЕЖЕНЬ

© 2017 г. А. В. Лещев, И. В. Мискевич, В. Б. Коробов, А. С. Лохов, А. Л. Чульцова, Г. Д. Хоменко, С. К. Белоруков, А. Е. Яковлев

Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Шишова РАН, Архангельск, Россия

e-mail: szoioras@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.04.2015 г.

Рассмотрено влияние приливов на формирование гидрологических и гидрохимических характеристик устья реки Северная Двина при наличии ледостава. Анализировались результаты натурных наблюдений, проведенных в дельте и на приустьевом участке реки в марте 2014 г. Подобные наблюдения на Северной Двине зимой ранее не осуществлялись. Выявлено, что короткопериодные колебания скоростей течений в зимнюю межень могут проследиваться на удалении 85–95 км от морского края дельты. Влияние приливов на короткопериодную изменчивость гидрохимических показателей начинает фиксироваться на удалении 70 км от морского края дельты. В дельте, в зоне смешения речных и морских вод, приливные колебания всех исследуемых показателей получают наибольшую интенсивность.

DOI: 10.7868/S0030157416060083

ВВЕДЕНИЕ

Устьевые области рек приливных морей отличаются высокой пространственно-временной изменчивостью гидрологических и гидрохимических параметров. Это, в первую очередь, связано с наличием широкого спектра гармоник волн прилива, которые генерируют как короткопериодные (часы-сутки), так и долгопериодные (месяцы-годы) колебания устьевых характеристик. Следует заметить, что их наложение на процессы синоптического и сезонного масштабов при наличии антропогенного воздействия и мелководной трансформации приливной волны значительно искажает временную изменчивость гидрохимических показателей. Она может сильно отличаться от квазигармонических волн, типичных для колебаний уровня воды и приливных течений. Подобная ситуация характерна и для устьевой области реки Северная Двина.

Река Северная Двина – самая крупная река, впадающая в Белое море, в которое она выносит более 50% растворенных и взвешенных веществ [1–3, 11]. В последние годы в устьевой области Северной Двины (в области ее маргинального фильтра [5]) проведено много исследований [4, 10, 11, 13–17], но природные процессы и явления в области короткопериодной изменчивости, особенно в период ледостава, изучены крайне слабо.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Шишова РАН в период с 17 по 28 марта 2014 г. провело экспедиционные работы в устьевой области р. Северной Двины. Целью экспедиции было определение влияния приливной волны на формирование различных параметров ее экосистемы в зимнюю межень, включая гидрологические и гидрохимические характеристики.

Наблюдения проводились на 6 полусуточных станциях (рис. 1, табл. 1) с дискретностью 3 часа (для взвешенных веществ на придонном горизонте – с дискретностью 1 час). Станции 1–5 располагались на придельтовом участке устьевой области Северной Двины, станция 6 – в ее дельте. Для измерения скоростей течений на среднем горизонте вывешивался гидрофизический зонд SEAGUARD® RCM фирмы AANDERA. В отбираемых пробах воды определялось содержание растворенного кислорода, фосфатного фосфора, нитритного азота, кремния и концентрации общей взвеси. Содержание растворенного в воде кислорода определялось объемным методом Винклера. Концентрация взвешенных веществ в воде определялась методом фильтрации через предварительно взвешенные ядерные лавсановые фильтры с диаметром пор 0.45 мкм и последую-

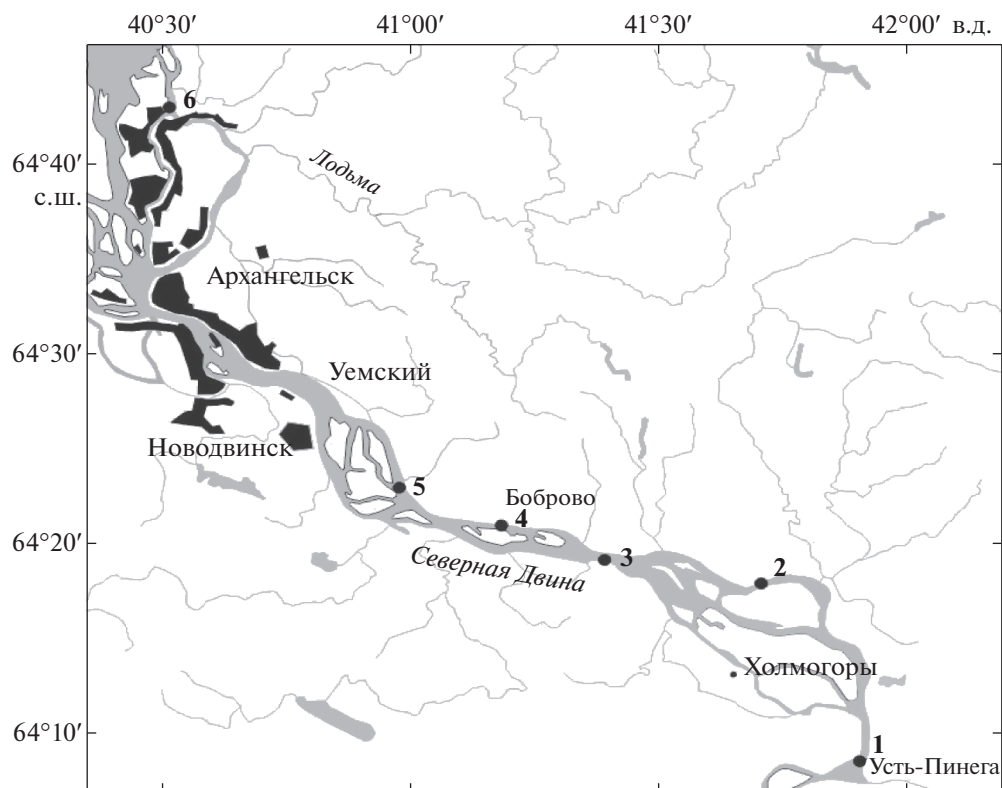


Рис. 1. Схема полусуточных станций в устьевой области р. Северной Двины в марте 2014 г.

щим их взвешиванием. Содержания фосфатного фосфора и нитритной формы азота определялись методом Морфи-Райли и методом Бендшнайдера-Робинсона, соответственно [8, 9, 12]. Определение растворенного кремния проводилось по методике, разработанной во ВНИРО, и модифицированной Кролевым по голубому КМК [8, 9, 12]. Параллельно производилось зондирование водной толщи для определения температуры, электропроводности и минерализации воды регистратором Cond 1971.

Пробы для анализа по гидрохимии отбирались каждые 3 часа. Отбор проб на взвешенные вещества производился каждый час со среднего гори-

зонта. При этом каждые 3 часа пробы воды для определения содержания взвеси отбирались синхронно с отбором гидрохимических проб с тех же горизонтов.

Полученный массив данных для различных станций получился неоднородным из-за сложностей проведения полевых работ при ледоставе и короткого светового дня. При его статистическом анализе в число рассчитываемых параметров наряду со стандартными величинами (среднеарифметическое значение и среднеквадратическое отклонение) были включены робастные статистики (медиана и интерквартильный размах), рекомендуемые для обработки малых выборок [6], в том

Таблица 1. Перечень станций комплексных наблюдений в устьевой области р. Северной Двины в марте 2014 г.

№ станции	Дата	Координаты		Глубина, м	Удаление от морского края дельты, км
		φ, с.ш.	λ, в.д.		
1	17.03.2014	64°09.172'	41°54.800'	16	134
2	19.03.2014	64°18.033'	41°39.441'	6	106
3	21.03.2014	64°19.560'	41°24.585'	17	93
4	24.03.2014	64°21.022'	41°12.048'	7	82
5	26.03.2014	64°22.992'	41°00.689'	6	70
6	31.03.2014	64°42.148'	40°32.202'	14	18

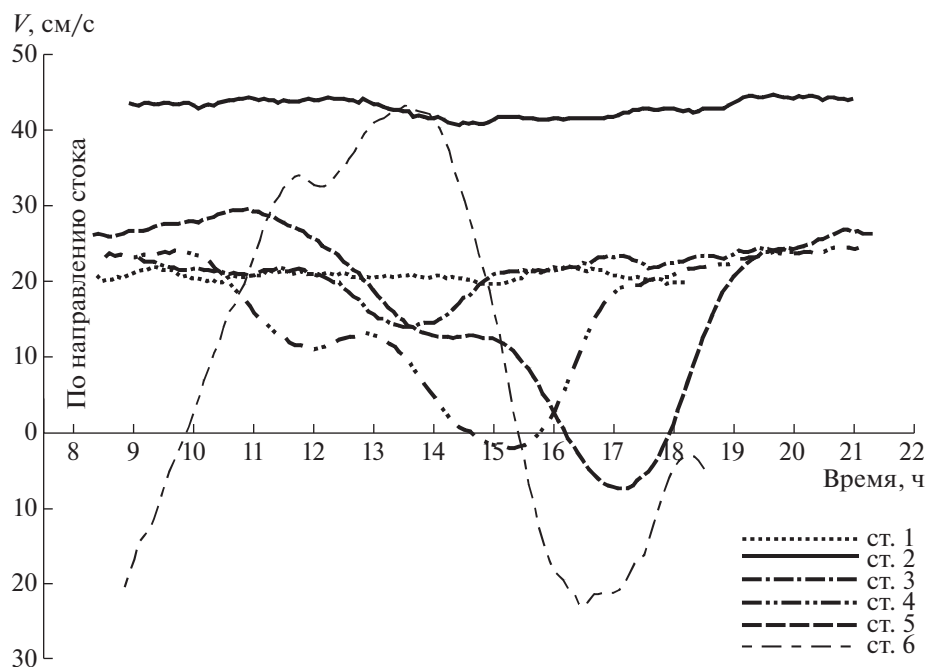


Рис. 2. Проекция скорости течения на направление стока реки по станциям в устьевой области р. Северной Двины в марте 2014 г.

числе для условий приливных устьев рек [7]. Такие характеристики обладают наибольшей эффективностью для обработки временных рядов с 3–5 значениями, включая выборки данных с наличием отклонений от нормального закона распределения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Толщина ледяного покрова Северной Двины в период наблюдений колебалась от 45 до 60 см. Результаты статистической обработки результатов наблюдений для поверхностного и придонного горизонтов представлены в табл. 2 и 3. В них $C_{ср}$ — среднеарифметическое значение; σ — среднеквадратическое отклонение; C_m — медиана; H — интерквартильный размах; $C_{макс}$ — максимальное значение; $C_{мин}$ — минимальное значение; N — количество наблюдений.

Интерквартильный размах определяется как разность между квантилями, т.е. $H = C_{0.75} - C_{0.25}$ ($C_{0.25}$ и $C_{0.75}$ — квантили или медианы для половинной выборки). В нашем случае он может выступать, как оценка масштаба изменчивости, в том числе генерируемой приливной волной. В свою очередь индикатором наличия последней могут служить колебания скорости и направления течений (рис. 2).

Короткопериодные колебания гидрохимических характеристик возникают при наличии приливо-отливных течений на участке фронтального

раздела между двумя водными массами (объемами) с различным качеством воды. В первую очередь, это относится к зоне смешения речных и морских вод. Подобные разделы в устьях рек также могут появляться на участках сброса сточных вод, локальной разгрузки подземных вод и в зонах впадения боковых притоков (малых рек). Другим фактором, способным вызвать квазигармонические изменения гидрохимических характеристик, может служить взмучивание донных отложений на пиках скоростей течений в фазу прилива и отлива, достигающих порога эрозии донных наносов. Подобный процесс в состоянии периодически запускать процесс вторичного “загрязнения” устьевых вод. В ледостав взмучивание донных отложений также могут вызывать периодические подъемы и укладки на грунт прибрежного льда. Одновременно, за счет периодических деформаций ледового покрова (раскрытия и закрытия приливных трещин) циклически меняется процесс газообмена между атмосферой и устьевыми водами [7].

Анализ данных из табл. 3–4 указывает на разнородный тип пространственных изменений параметра H для различных показателей. Тем не менее, здесь можно выделить ряд показателей, для которых подобные изменения имеют идентичный характер. К ним относятся следующие параметры: максимальная скорость течений в фазу прилива, взвешенные вещества, фосфатный фосфор и нитритный азот. Пространственную из-

Таблица 2. Статистические характеристики состава вод устьевого области р. Северной Двины на поверхностном горизонте в марте 2014 г.

№ станции	Показатель	Статистики						
		C_{cp}	σ	C_m	H	C_{max}	C_{min}	N
1	Взвесь, мг/л	1.0	0.6	1.0	0.6	1.7	0.4	3
	Кислород, мг/л	5.14	0.06	5.16	0.06	5.19	5.08	3
	Кислород, %	35.1	0.4	35.3	0.4	35.5	34.7	3
	Фосфор фосфатный, мкг/л	26	2	27	1	27	25	3
	Азот нитритный, мкг/л	1.8	0.1	1.8	0.1	2.0	1.7	3
	Кремний, мкг/л	4617	53	4600	51	4676	4575	3
2	Минерализация, мг/л	177	0.4	177	0	177	176	5
	Взвесь, мг/л	1.5	0.2	1.5	0.2	1.7	1.3	5
	Кислород, мг/л	5.47	0.46	5.31	0.29	6.24	5.09	5
	Кислород, %	37.4	3.1	36.3	2.0	42.7	34.8	5
	Фосфор фосфатный, мкг/л	30	3	30	2	34	26	5
	Азот нитритный, мкг/л	1.7	0.3	1,7	0.1	2.0	1.3	5
3	Кремний, мкг/л	4622	452	4854	136	4863	3821	5
	Минерализация, мг/л	174	0	174	0	174	174	4
	Взвесь, мг/л	1.7	0.4	1.6	0.6	2.1	1.3	4
	Кислород, мг/л	5.24	0.10	5.20	0.10	5.39	5.17	4
	Кислород, %	35.7	0.7	35.5	0.5	36.7	35.2	4
	Фосфор фосфатный, мкг/л	27	7	27	6	35	18	4
4	Азот нитритный, мкг/л	1.5	0.3	1.6	0.2	1.7	1.2	4
	Кремний, мкг/л	4697	123	4748	85	4778	4515	4
	Минерализация, мг/л	167	2.2	171	2.0	171	166	5
	Взвесь, мг/л	1.3	0.2	1.3	0.1	1.5	1.1	5
	Кислород, мг/л	5.29	0.08	5.28	0.07	5.42	5.20	5
	Кислород, %	37.1	0.3	37.0	0.3	37.5	36.7	5
5	Фосфор фосфатный, мкг/л	30	2	30	2	33	27	5
	Азот нитритный, мкг/л	1.6	0.3	1.5	0.4	2.2	1.4	5
	Кремний, мкг/л	4863	36	4871	34	4913	4820	5
	Минерализация, мг/л	173	0.6	173	1.0	174	173	5
	Взвесь, мг/л	1.8	0.3	1.8	0.3	2.3	1.5	5
	Кислород, мг/л	5.02	0.78	5.27	0.28	5.54	3.64	5
6	Кислород, %	34.2	5.3	35.9	2.0	37.7	24.9	5
	Фосфор фосфатный, мкг/л	28	4	27	6	33	24	5
	Азот нитритный, мкг/л	1.7	0.3	1.6	0.3	2.1	1.5	5
	Кремний, мкг/л	4700	65	4710	76	4795	4634	5
	Минерализация, мг/л	1444	155	1424	132	1650	1279	4
	Взвесь, мг/л	5.1	2.6	4.8	2.8	8.4	2.2	4
6	Кислород, мг/л	5.69	—	5.69	—	5.70	5.68	2
	Кислород, %	38.9	—	38.9	—	39.0	38.9	2
	Фосфор фосфатный, мкг/л	51	8	50	13	58	44	4
	Азот нитритный, мкг/л	4.1	0.9	4.0	1.4	5.1	3.1	4
	Кремний, мкг/л	4412	86	4409	138	4489	4329	4

Таблица 3. Статистические характеристики состава вод устьевой области р. Северной Двины на придонном горизонте в марте 2014 г.

№ станции	Показатель	Статистические характеристики						
		$C_{\text{ср}}$	σ	$C_{\text{м}}$	H	$C_{\text{макс}}$	$C_{\text{мин}}$	N
1	Взвесь, мг/л	0.8	0.5	0.9	0.5	1.3	0.3	3
	Кислород, мг/л	5.76	0.05	5.73	0.05	5.82	5.73	3
	Кислород, %	39.3	0.4	39.2	0.3	39.8	39.1	3
	Фосфор фосфатный, мкг/л	24	2	25	1	26	23	3
	Азот нитритный, мкг/л	1.6	0.0	1.6	0	1.6	1.6	3
	Кремний, мкг/л	4465	301	4625	267	4651	4117	3
2	Минерализация, мг/л	177	0.4	177	0	177	176	5
	Взвесь, мг/л	1.5	0.2	1.5	0.2	1.7	1.3	5
	Кислород, мг/л	5.47	0.46	5.31	0.29	6.24	5.09	5
	Кислород, %	37.4	3.1	36.3	2.0	42.7	34.8	5
	Фосфор фосфатный, мкг/л	30	3	30	2	34	26	5
	Азот нитритный, мкг/л	1.7	0.3	1.7	0.1	2.0	1.3	5
3	Кремний, мкг/л	4622	452	4854	136	4863	3821	5
	Минерализация, мг/л	176	0.6	176	1.0	176	175	4
	Взвесь, мг/л	1.6	0.5	1.8	0.4	2.1	0.9	4
	Кислород, мг/л	5.16	0.11	5.13	0.10	5.32	5.06	4
	Кислород, %	35.1	0.8	34.9	0.7	36.3	34.4	4
	Фосфор фосфатный, мкг/л	30	3	31	2	32	26	4
4	Азот нитритный, мкг/л	1.6	0.1	1.6	0.1	1.7	1.4	4
	Кремний, мкг/л	4789	84	4769	74	4905	4710	4
	Минерализация, мг/л	169	2.3	168	4.0	172	167	5
	Взвесь, мг/л	1.4	0.3	1.3	0.1	1.9	1.1	5
	Кислород, мг/л	5.24	0.09	5.20	0.15	5.33	5.14	5
	Кислород, %	36.7	1.0	36.8	1.7	37.7	35.4	5
5	Фосфор фосфатный, мкг/л	31	1	31	1	32	29	5
	Азот нитритный, мкг/л	1.9	0.6	1.6	0.1	2.9	1.6	5
	Кремний, мкг/л	4803	85	4837	76	4880	4668	5
	Минерализация, мг/л	174	0.6	174	1.0	174	173	5
	Взвесь, мг/л	1.8	0.5	1.6	0.5	2.5	1.4	5
	Кислород, мг/л	5.24	0.08	5.26	0.08	5.36	5.14	5
6	Кислород, %	35.7	0.6	35.9	0.7	36.4	35.0	5
	Фосфор фосфатный, мкг/л	29	6	31	8	36	23	5
	Азот нитритный, мкг/л	1.6	0.3	1.6	0.4	2.0	1.3	5
	Кремний, мкг/л	4773	66	4761	34	4880	4702	5
	Минерализация, мг/л	3629	1538	3652	2192	5252	1958	4
	Взвесь, мг/л	5.4	2.7	5.0	3.6	8.8	3.0	4
6	Кислород, мг/л	6.72	—	6.72	—	7.45	5.98	2
	Кислород, %	47.0	—	47.0	—	52.8	41.3	2
	Фосфор фосфатный, мкг/л	48	12	48	18	60	35	4
	Азот нитритный, мкг/л	4.3	1.3	4.4	2.0	5.6	2.9	4
	Кремний, мкг/л	3950	289	3973	409	4236	3617	4

Таблица 4. Статистические характеристики концентрации взвешенных веществ (мг/л) вод устьевого области р. Северной Двины на среднем горизонте в марте 2014 г.

№№ станции	Статистики						
	$C_{\text{ср}}$	σ	$C_{\text{м}}$	H	$C_{\text{макс}}$	$C_{\text{мин}}$	N
1	1.5	0.681	1.4	0.8	2.9	0.3	10
2	1.3	0.164	1.3	0.2	1.7	1.1	13
3	1.6	0.367	1.6	0.4	2.1	0.9	10
4	1.2	0.273	1.2	0.4	1.7	0.7	13
5	1.9	0.345	1.9	0.4	2.7	1.5	13
6	5.8	1.657	5.7	1.8	8.4	3.0	10

менчивость интерквартильного размаха для них удается аппроксимировать экспоненциальной зависимостью с высокими коэффициентами корреляции. Она отражена на рис. 3, на котором первая пара столбцов соответствует ст. 1, вторая – ст. 2 и т.д., а в каждой паре столбцов первый соответствует поверхностному, второй – придонному горизонту.

Рисунок 3 указывает на наличие статистически достоверных трендов к возрастанию короткопериодной изменчивости указанных показателей по мере приближения к морской границе дельты Северной Двины. Наиболее ярко она выражена непосредственно в дельте реки, но для приливных течений, нитритного азота и фосфатного фосфора она уже прослеживается со ст. 5, т.е. на удалении около 70 км от морского края дельты.

Приливные течения, направленные вверх по устьевому водотоку, в период проведения наблюдений зафиксированы только на станциях 4–6, но их “нелинейный” характер, связанный с влиянием приливной волны, отмечается уже на ст. 3, расположенной на удалении 93 км от морского края дельты Северной Двины (рис. 2). Наибольшую интенсивность они получают непосредственно в дельте, но период их существования очень мал и не превышает 1–2 часов.

Для кремния отмечается тенденция к понижению его короткопериодной изменчивости на придельтовом участке реки, но в дельте Северной Двины она возрастает, достигая своего максимума. Объяснить подобное поведение кремния на придельтовом участке затруднительно. Возможно, оно обусловлено наличием различий в содержании кремния в водах Северной Двины и ее крупного правобережного притока – реки Пинеги.

Короткопериодные колебания кислорода на придельтовом участке реки прямо коррелируют с наибольшими скоростями течений. Здесь максимум таких колебаний наблюдался на ст. 2, на которой наличие высоких скоростей течений при-

водит к ослаблению ледового покрова и улучшению условий аэрации вод Северной Двины.

Для взвешенных веществ короткопериодная изменчивость концентрации на придельтовом участке реки по сравнению с ее дельтой выражена сравнительно слабо, т.к. здесь она во многом зависит от геоморфологии устьевого водотока, определяющего внутрирусловую структуру течений. В частности, пробы воды, отобранные на наиболее узких участках русла (на станциях 1 и 3), имели более значительную изменчивость концентрации взвеси, чем на станциях 2, 4 и 5 (рис. 3). Однако, на ст. 5, где появляются приливные течения, их концентрации повышаются по сравнению с вышерасположенными станциями 2 и 3. Одновременно на ст. 5 зафиксировано повышение интерквартильного размаха для концентраций фосфатов и нитритов, что указывает также на влияние приливной волны.

Концентрация взвешенных веществ в воде на станциях 1–5 соответствовала своим годовым минимумам, что характерно для зимней межени, когда поступление взвешенных веществ в реку ограничено из-за наличия ледового покрова и малого стока с территории водосбора. На ст. 6 из-за осуществления круглогодичного судоходства и увеличения скоростей приливо-отливных течений, в отличие от станций 1–5, содержание взвешенных веществ в воде было выше в несколько раз.

Короткопериодные колебания взвешенных веществ в дельте Северной Двины примерно на порядок превышают аналогичные их изменения на придельтовом участке реки и, в основном, зависят от изменений скорости приливо-отливных течений. Локальные максимумы их концентраций в полусуточном цикле обычно приурочены к времени фиксации наибольших скоростей течений в фазы отлива и прилива, локальные минимумы к срокам появления минимальных скоростей.

При анализе рядов наблюдений за содержанием взвеси в воде, выполненных с интервалом в 1 час, были выявлены следующие особенности. На ст. 1 за период наблюдений были выявлены два значительных отклонения от средних значений. Одно отклонение в сторону уменьшения до 0.3 мг/л и второе отклонение в сторону увеличения до 2.9 мг/л, концентрации взвешенных веществ в воде. По-видимому, это связано с влиянием притока Северной Двины реки Пинега и неравномерным перемешиванием двух различных водных масс. В табл. 4 приведены статистические характеристики для содержания взвешенных веществ в пробах воды, отобранных со среднего горизонта с интервалом в 1 час. Как видно из табл. 4, только на ст. 2 значения концентраций взвеси в воде были на одном уровне за весь период наблюдений. Средне-квадратичное отклонение на этой

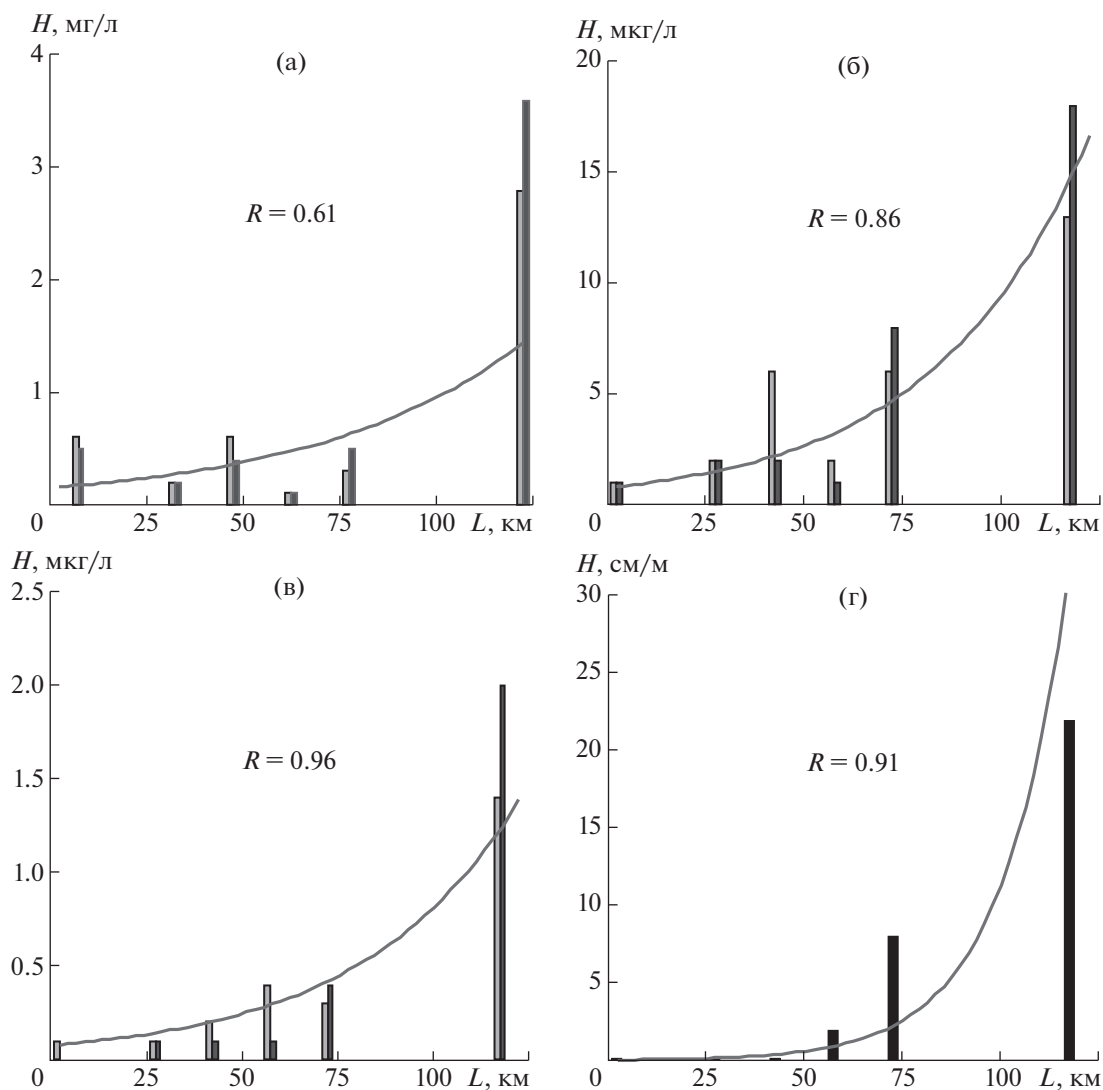


Рис. 3. Пространственные изменения параметра H для взвешенных веществ (а), фосфатного фосфора (б), нитритного азота (в) и максимальной скорости приливного течения (г) в устьевой области р. Северной Двины в марте 2014 г.: L – расстояние вниз по течению реки от верхней границы устьевой области реки (R – коэффициент корреляции между H и L).

станции самое маленькое по значению. На остальных станциях разброс между максимально и минимально наблюдаемыми концентрациями был более значимым.

Полученные результаты позволяют дать рекомендацию с осторожностью относиться к интерпретации гидрохимических результатов эпизодических наблюдений в дельте и на нижнем отрезке придельтового участка устьевой области реки Северной Двины даже в период ледостава. Принято считать, что в это время года для большинства показателей водных экосистем характерен стационарный режим. Однако, в зависимости от срока отбора проб в течение приливо-отливного цикла, можно получать различные результаты. Более достоверную картину по качеству воды в данной ситуации могут давать значения, осредненные за

приливо-отливной цикл, т.е. появляется необходимость проведения полусуточных наблюдений, желательно с дискретностью не менее 1–2 часа.

Влияние приливной волны следует учитывать и при математическом моделировании процессов загрязнения вод устьевой области Северной Двины в период ледостава. При выборе граничных условий рекомендуется использовать створы на удалении более 90 км от морского края еи дельты. Это позволит получать несмещенные оценки при любом выборе начальных условий, т.к. они практически не будут зависеть от воздействия приливной волны.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. В период ледостава в устьевой области Северной Двины влияние приливной волны, если ориентироваться на короткопериодные колеба-

ния скоростей течений, может проследиваться на удалении 85–95 км от морского края дельты. Ее влияние на короткопериодную изменчивость гидрохимических показателей начинает фиксироваться на удалении 70 км от морского края дельты. Это, в первую очередь, касается показателей, имеющих значительную зависимость от обменных процессов между донными отложениями и водной средой. В дельте, в зоне смешения речных и морских вод, короткопериодные колебания всех гидрохимических показателей получают наибольшую интенсивность.

Работа выполнена в рамках проекта фундаментальных исследований СЗО ИО РАН “Физические и химические процессы в экосистемах устьевых областей и водосборов рек Белого моря”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Колесниченко Н.Н. Проблемы качества поверхностных вод в бассейне Северной Двины. М.: Наука, 2003. 234 с.
2. Гидрология устьевой области Северной Двины / Под ред. Зотина М.И., Михайлова В.Н. М.: Гидрометеоздат, 1965. 376 с.
3. Кузнецов В.С., Мискевич И.В., Зайцева Г.Б. Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 194 с.
4. Лещёв А.В. Особенности трансформации и переноса взвеси в устьевой области реки Северной Двины // Проблемы региональной экологии. 2013. № 3. С. 114–119.
5. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–737.
6. Микулинская С.М., Рожков В.А. Обработка малых выборок // Режимообразующие факторы, информационная база и методы ее анализа. Л.: Гидрометеоздат, 1989. С. 167–176.
7. Мискевич И.В., Боголицын К.Г. Гидрохимия приливных устьев рек: методы расчетов и прогнозирования. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2001. 126 с.
8. РД 52.10.243–92. Руководство по химическому анализу морских вод. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 264 с.
9. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / Под ред. Сапожникова В.Ф. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 203 с.
10. Савенко А.В., Шевченко В.П. Сезонная изменчивость распределения растворенных форм биогенных элементов и щелочности в устье Северной Двины // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 4. С. 459–463.
11. Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Отв. ред. Лисицын А.П., ред. Немировская И.А. М.: Научный мир, 2012. 784 с.
12. Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: АН СССР. ИО РАН, 1992. 200 с.
13. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Коробов В.Б. Особенности распределения, миграции и трансформации ртути в водах устьевой области р. Северная Двина // Метеорология и гидрология. 2010. № 4. С. 85–92.
14. Чульцова А.Л. Уровень накопления и содержание биогенных элементов в конце зимы в снеговом, ледовом покровах и воде устьевой области реки Северной Двины (весна 2011 г.) // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием. 10–14 сентября 2012 г., г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 2012. С. 289–293.
15. Шевченко В.П., Покровский О.С., Филиппов А.С. и др. Об элементном составе взвеси реки Северная Двина (бассейн Белого моря) // Докл. РАН. 2010. Т. 430. № 5. С. 686–692.
16. Pokrovsky O.S., Viers J., Dupré B. et al. Biogeochemistry of carbon, major and trace elements in watersheds of northern Eurasia drained to the Arctic Ocean: The change of fluxes, sources and mechanisms under the climate warming prospective // Comptes Rendus Geoscience. 2012. V. 344. P. 663–677.
17. Savenko A.V., Shevchenko V.P., Novigatskii A.N., Efimova L.E. Effect of seasonal variability in the chemical composition of the riverine runoff on the distribution of dissolved forms of strontium, calcium, fluorine, and boron in the mouths of the Severnaya Dvina and Onega Rivers // Oceanology. 2003. V. 43. Suppl. 1. P. S99–S107.

Spatial Features of Tidal Variations in the Hydrological and Biological Characteristics of the North Dvina Estuary Region in the Winter Low-Water Period

A. V. Leshchev, I. V. Miskevich, V. B. Korobov, A. S. Lokhov, A. L. Chultsova, **G. D. Khomenko**, S. K. Belorukov, A. E. Yakovlev

We consider the influence of tides on the formation of hydrological and hydrochemical characteristics of the Northern Dvina estuary in the presence of the ice cover. The results of field observations conducted in the Delta and over a section in the estuary of the river in March 2014 are analyzed. This kind of observation on the Northern Dvina in winter has not been carried out before. We revealed that short-term oscillations of current velocities in the winter low-water period can be traced over a distance of 85–95 km from the sea edge of the Delta. The influence of tides on short-term variability of hydrochemical indicators can be recorded already at a distance of 70 km from the sea edge of the Delta. In the Delta, in the mixing zone of river and sea water, tidal variations in all investigated indicators gain the highest intensity.