

УДК 550.46;556.314

## ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕЙ СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В КУРШСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

© 2016 г. В. А. Кравцов<sup>1</sup>, Е. М. Емельянов<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград<sup>2</sup>Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Калининград

e-mail: abio@atlas.baltnet.ru

Поступила в редакцию 09.01.2014 г.

После доработки 27.06.2014 г.

Исследовано распределение концентраций растворенного кислорода, форм фосфора и взвешенных веществ в Куршском заливе Балтийского моря в малоизученных условиях его сплошного ледового покрытия в зимние сезоны 2010, 2011 и 2013 гг. Опробованы поверхностные и придонные воды на 51 станции. Ледовый покров не оказывает существенного влияния на характерный сезонный ход содержаний всех изученных показателей в водоеме. Содержания минерального и органического фосфора в заливе оказались в 2–4 раза ниже по сравнению с их летними значениями. Наблюдалось снижение концентраций органического фосфора (в 2–3 раза) в заливе от 2010 г. к 2011 г. и, затем, к 2013 г., что вызвано уменьшением его продуцирования фитопланктоном. Несмотря на изолированность от атмосферы льдом, отсутствие волнового перемешивания и снижение продуцирования кислорода в результате сезонного зимнего снижения интенсивности фотосинтетических процессов, в водоеме не наблюдалось его дефицита. Это обусловлено тем, что поступление кислорода в залив с речным стоком и продуцирование в самом заливе при фотосинтезе превышает его потребление на окисление органических веществ из-за низкой биопродуктивности вод в зимний период. Зимнее уменьшение доли биогенной взвеси отражается в падении ее общей концентрации в водах (в 4–7 раз) по сравнению с летними сезонами. Отсутствие волнового взмучивания донных осадков также приводит к снижению ее вторичного поступления из осадков в придонные воды. Не обнаружено негативных тенденций изменения геоэкологической обстановки в заливе по изученным показателям в условиях его сплошного ледового покрытия.

DOI: 10.7868/S003015741602012X

### ВВЕДЕНИЕ

Куршский залив – самый крупный залив-лагуна Балтийского моря площадью 1610 км<sup>2</sup>. Он расположен в юго-восточной части бассейна. Залив отделен от моря Куршской косой длиной 98 км и шириной от 400 м до 3.8 км (рис. 1). Узкий Клайпедский пролив, соединяющий залив и море, расположен на севере залива между окончанием Куршской косы и городом Клайпеда. Залив является мелководным (средняя глубина 3.7 м) [15]. Южная часть водоема является пресноводной за счет интенсивного притока речных вод (главным образом, р. Неман). Соленость воды в районе Клайпедского пролива колеблется от 0.01 до 6–7‰. Это связано с довольно нестабильным гидрологическим режимом в этом районе [8]. Соленость зависит от притоков морских вод, которые происходят эпизодически во время сильных штормов и нагона морских вод в залив. По гидрологическим и геоморфологическим признакам Куршский залив относят к лагунным экосистемам “закрытого” типа [2].

Согласно классификации Алекина и Ляхина [1], по химическому составу вода Куршского залива относится к классу гидрокарбонатной ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ). Значения pH вод в этой лагуне находятся в диапазоне значений от 7.0 до 8.8 [7].

Сезонная изменчивость является главной отличительной чертой гидрохимического режима Куршского залива. Биологические циклы значительно влияют на сезонные колебания гидрохимических показателей [2]. Среди распространенных типов фито- и зоопланктона преобладают пресноводные виды. Виды бентоса определяются соленостью и типами донных осадков. Основной особенностью Куршского залива является высокая численность и биомасса фитопланктона, которые еще более возросли за последние 20–30 лет [2, 13]. В последнее время залив характеризуется как высокоэвтрофный водоем с аномально высоким уровнем “цветения” воды (особенно, сине-зеленых водорослей) в вегетационные периоды [2, 10]. Куршский залив является высокопродуктив-

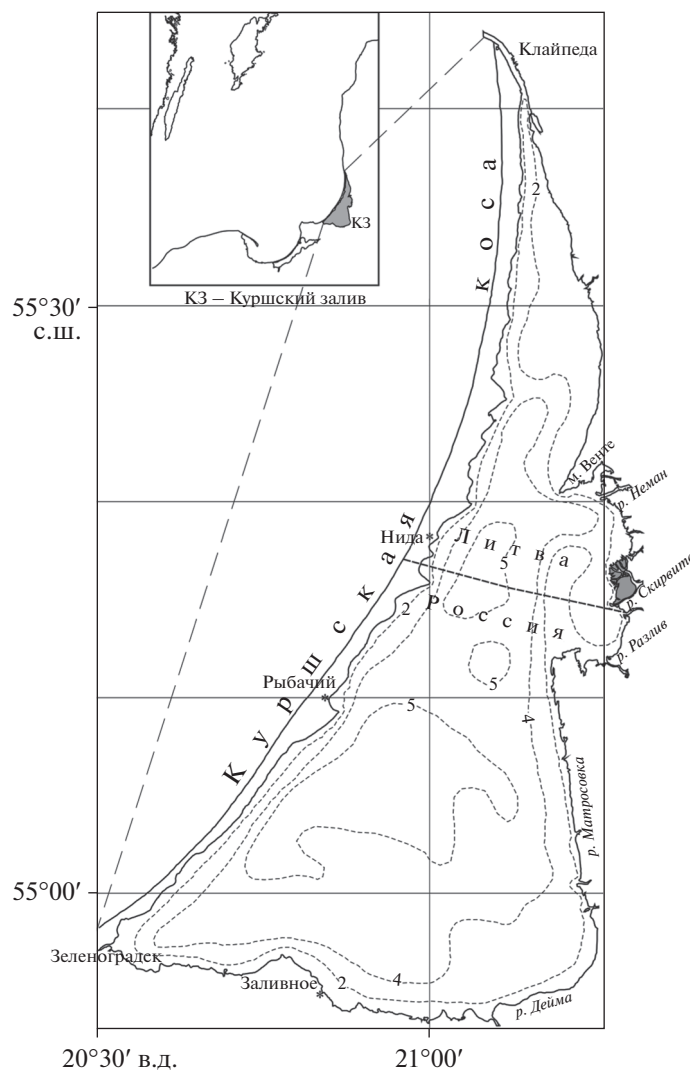
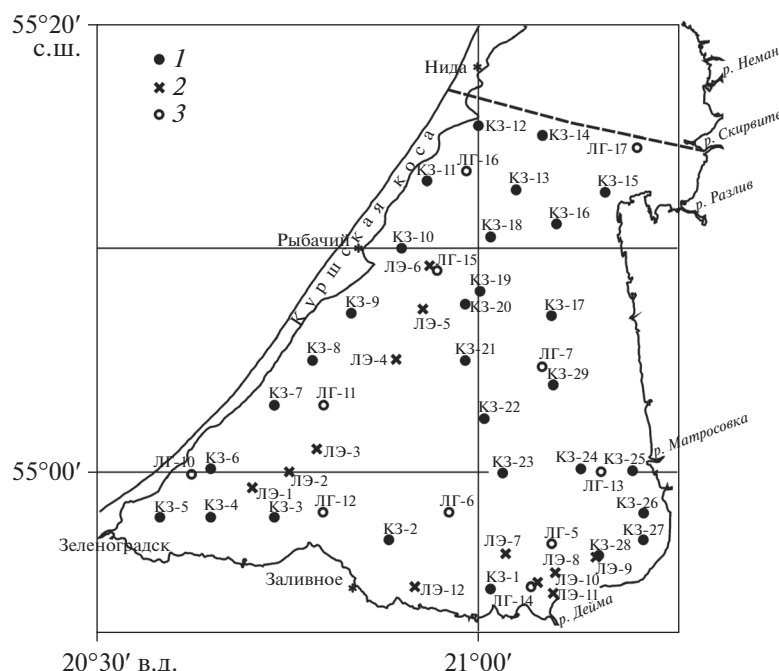


Рис. 1. Батиметрическая карта Куршского залива [15].

ным рыбохозяйственным водоемом. Снижение в 1990-е годы внешней биогенной (P, N) нагрузки на водоем в связи с уменьшением объемов промышленного производства и применения минеральных удобрений не привело к улучшению экологической ситуации в заливе [2]. В периоды “цветения” здесь наблюдается избыток общего фосфора (который почти в 2 раза превышает уровень, вызывающий эвтрофирование) и общего азота, отмечался периодический замор рыб из-за недостатка кислорода [2]. Главная роль в процессах эвтрофирования залива на современном этапе принадлежит внутриводоемной биогенной нагрузке за счет аккумуляции и, затем, частичной регенерации соединений фосфора и азота из донных отложений и растительности, которая сейчас соизмерима с существовавшей ранее внешней нагрузкой [2]. В гиперэвтрофных водоемах, к которым относится и Куршский залив, внутренняя

биогенная нагрузка может превышать внешнюю и на определенной стадии его развития функционирование системы “биогены–фитопланктон” уже может не зависеть от их поступления извне [2].

Концентрации растворенного кислорода в водах лагуны, в основном, определяются его расходом на процессы окисления органических веществ (ОВ). Антропогенное загрязнение, а также поступление гуминовых веществ с речными стоками, особенно, во время длительных сезонов дождей, являются определяющими факторами в высоком содержании ОВ в водах Куршского залива [15]. Влияние речного стока становится меньше в летнее время, однако, быстрое развитие фитопланктона и его биомассы увеличивает количество ОВ в лагуне [15]. Другим источником ОВ в Куршском заливе являются продукты отмирания и разложения бентоса и планктона, содержащихся в донных отложениях [4].



**Рис. 2.** Карта-схема расположения ледовых гидрохимических станций в Куршском заливе. 1 – станции КЗ, 2010 г.; 2 – станции ЛЭ, 2011 г.; 3 – станции ЛГ, 2013 г.

Годовое поступление взвешенных веществ в залив с речным стоком составляет 802 тыс. тонн, из них основная часть взвеси – 781 тыс. тонн поступает со стоком р. Неман. Это примерно в 11 раз больше, чем поступление осадочного вещества с речным стоком в Вислинский залив [3]. Основными источниками взвешенного материала в Куршском заливе являются: терригенный материал, приносимый реками; биологическое воспроизводство осадочного материала в водах бассейна; сезонные гидродинамические процессы (абразия берегов и взмучивание донных осадков) [14]. В южной части лагуны в вегетационные периоды преобладает биогенный осадочный материал (особенно, во время сильного «цветения» воды). В это время в меньшей степени встречается терригенный материал, который поставляется реками Неман, Матросовка, Немонин, Дейма и другими реками [15].

Донные осадки Куршского залива представлены песками, крупными алевритами, мелко-алевритовыми илами, и, в небольшом количестве, алевритово-пелитовыми илами [15]. Илы покрывают дно всей южной части залива и впадины средней и северной его частей. Донные осадки залива богаты ОВ (5–7%  $C_{орг}$ ), которое представлено детритом, преимущественно планктонного происхождения, и гумусами [2]. Довольно ровный рельеф дна и широкое распространение илистых осадков благоприятно для развития донных беспозвоночных [2].

После безледных периодов 2001–2009 гг. [2] в условиях сплошного ледового покрова зим 2010, 2011 и 2013 гг. отбор проб воды для проведения наших исследований был осуществлен непосредственно с льда Куршского залива (рис. 2). До сих пор особенности гидрохимического режима залива в подледных условиях не были достаточно изучены. Впервые представилась уникальная возможность изучить ряд показателей (растворенный кислород, формы фосфора и взвешенное вещество) вне влияния атмосферных и активных биологических процессов, оценить их межгодовую и сезонную изменчивость. Определение содержания взвешенных веществ в этих условиях также важно для оценки геоэкологической обстановки в этом полузамкнутом заливе лагунного типа, являющегося своеобразной природной ловушкой осадочного вещества, в т.ч. и различных загрязнителей.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Бурение лунок во льдах Куршского залива для пробоотбора производилось ручным шнековым ледобуром диаметром 130 мм и бензопилой. Глубина определялась размеченным ручным лотом. Координаты станций фиксировались по GPS-навигатору (модель Garmin) с точностью  $\pm 5$  м.

Пробы воды из поверхностного (подледного) (0.5 м от поверхности) и придонного (0.5 м от дна) горизонтов водной толщи залива для определе-

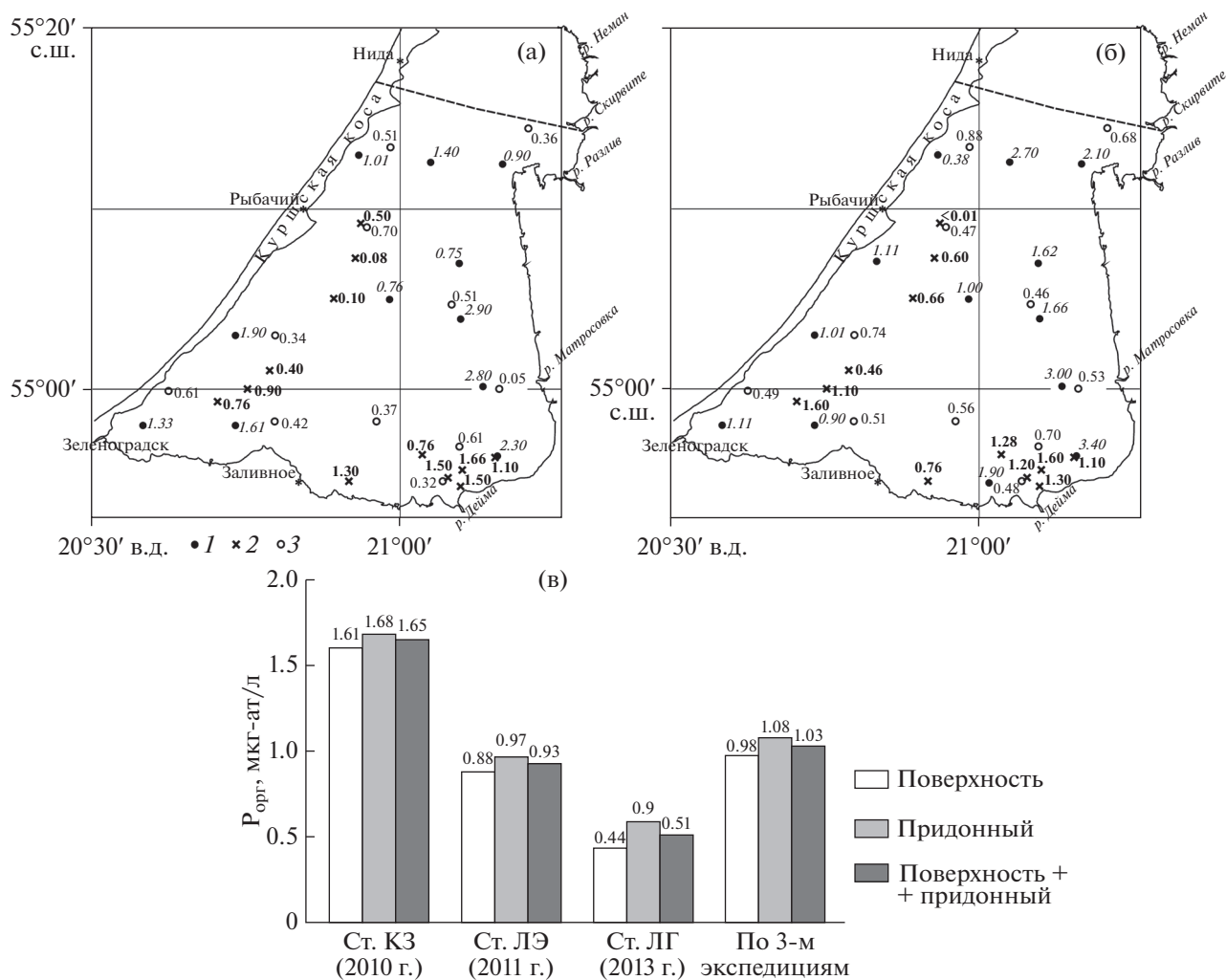


Рис. 3. Карта-схема распределения концентраций органического фосфора (в мкг-ат/л  $P_{орг}$ ) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях водной толщи и их средних значений (в) в Куршском заливе. Условные обозначения см. рис. 2.

ния концентраций водной взвеси, растворенного кислорода и форм фосфора были отобраны 5-литровым пластиковым батометром типа "Niskin" на 28 станциях (КЗ) в феврале–марте 2010 г., на 12 станциях (ЛЭ) в январе 2011 г. и на 11 станциях (ЛГ) в феврале 2013 г. Подледные работы были проведены на 51 станции, которые расположены по всей акватории Российского сектора Куршского залива (рис. 2, таблица).

**Химический анализ проб воды** проводили в химико-аналитической лаборатории АО ИО РАН. Гидрохимические анализы выполнялись по стандартным методикам, внесенным в Государственный реестр методик количественного химического анализа воды.

Концентрации *органического фосфора* определялись расчетным путем по разнице концентраций между общим и минеральным фосфором ( $P_{орг} = P_{общ} - P_{мин}$ ) (рис. 3).

Для определения *концентраций минерального (неорганического) фосфора* был использован метод Морфи–Райли [10]. Изучено 68 проб, отобранных на 34 станциях (рис. 4, 5).

Метод определения *общего (валового) фосфора* основан на окислении органических соединений фосфора под действием персульфата калия и переводе их в соли ортофосфорной кислоты [10] с последующим определением по методу Морфи–Райли. Изучено 68 проб, отобранных на 34 станциях.

Концентрацию *растворенного кислорода* определяли титриметрическим методом, основанном на принципе йодометрического титрования по методу Винклера [12]. Определения проведены в 56 пробах воды, отобранных на 28 станциях (рис. 6).

**Определение концентрации взвешенных веществ (водной взвеси)** осуществлялось путем фильтрации проб воды под вакуумом через поликарбо-

Концентрации взвеси, кислорода и форм фосфора в водах Куршского залива (ледовые экспедиции 2010, 2011 и 2013 гг.)

	Станция	Координаты		Глубина, м	Горизонт пробоотбора	Концентрация взвеси, мг/л	O <sub>2</sub> , мг/л	P <sub>мин.</sub> , мкг-ат/л	P <sub>орг.</sub> , мкг-ат/л	P <sub>общ.</sub> , мкг-ат/л
		с. ш.	в. д.							
1	КЗ-1	54°54.67'	21°00.98'	3.5	Поверхн.	2.1	—	—	—	—
2					Прид.	10.6	—	2.70	1.90	4.60
3	КЗ-2	54°57.04'	20°52.92'	3.9	Поверхн.	0.8	—	—	—	—
4					Прид.	2.2	—	—	—	—
5	КЗ-3	54°58.01'	20°43.94'	4.4	Поверхн.	0.6	15.8	0.22	1.61	1.83
6					Прид.	1.8	7.8	0.71	0.90	1.61
7	КЗ-4	54°58.04'	20°39.01'	4.0	Поверхн.	0.3	—	—	—	—
8					Прид.	0.4	—	—	—	—
9	КЗ-5	54°57.99'	20°35.02'	3.2	Поверхн.	0.3	18.1	0.41	1.33	1.74
10					Прид.	0.3	11.6	0.58	1.11	1.69
11	КЗ-6	55°00.07'	20°38.99'	4.4	Поверхн.	0.5	—	—	—	—
12					Прид.	1.0	—	—	—	—
13	КЗ-7	55°03.02'	20°43.98'	4.5	Поверхн.	0.5	15.2	0.33	1.90	2.23
14					Прид.	0.4	12.5	0.50	1.01	1.51
15	КЗ-8	55°05.03'	20°47.04'	4.7	Поверхн.	0.4	—	—	—	—
16					Прид.	0.7	—	—	—	—
17	КЗ-9	55°07.05'	20°49.98'	4.6	Поверхн.	0.2	14.1	—	—	—
18					Прид.	2.0	11.6	0.61	1.11	1.72
19	КЗ-10	55°10.01'	20°53.99'	4.5	Поверхн.	0.8	—	—	—	—
20					Прид.	1.2	—	—	—	—
21	КЗ-11	55°13.04'	20°56.00'	4.4	Поверхн.	0.5	15.4	0.77	1.01	1.78
22					Прид.	1.8	8.4	0.94	0.38	1.32
23	КЗ-12	55°15.00'	21°00.00'	3.9	Поверхн.	0.3	—	—	—	—
24					Прид.	1.0	—	—	—	—
25	КЗ-13	55°12.62'	21°02.89'	5.3	Поверхн.	0.4	—	0.70	1.40	2.10
26					Прид.	3.0	—	2.00	2.70	4.70
27	КЗ-14	55°15.00'	21°05.03'	5.2	Поверхн.	0.6	15.3	—	—	—
28					Прид.	2.2	5.6	—	—	—
29	КЗ-15	55°12.39'	21°09.96'	4.0	Поверхн.	0.5	15.8	0.30	0.90	1.20
30					Прид.	10.7	11.8	0.60	2.10	2.70
31	КЗ-16	55°11.01'	21°05.98'	5.0	Поверхн.	1.2	—	—	—	—

Таблица. Продолжение

Станция	Координаты		Глубина, м	Горизонт пробоотбора	Концентрация взвеси, мг/л	O <sub>2</sub> , мг/л	P <sub>мин.</sub> , мкг-ат/л	P <sub>орт.</sub> , мкг-ат/л	P <sub>общ.</sub> , мкг-ат/л
	с.ш.	в.д.							
32				Прид.	4.4	—	—	—	—
33	55°07.04'	21°05.98'	4.6	Поверхн.	0.6	10.3	1.51	0.75	2.26
34				Прид.	1.1	6.3	1.44	1.62	3.06
35	55°10.54'	21°01.02'	4.6	Поверхн.	0.5	—	—	—	—
36				Прид.	2.8	—	—	—	—
37	55°07.34'	20°59.02'	5.3	Поверхн.	1.1	—	—	—	—
38				Прид.	2.4	—	—	—	—
39	55°05.01'	20°59.22'	4.8	Поверхн.	0.5	14.8	0.64	0.76	1.40
40				Прид.	2.0	7.4	1.20	1.00	2.20
41	55°02.35'	21°00.51'	4.8	Поверхн.	1.6	—	—	—	—
42				Прид.	3.5	—	—	—	—
43	54°59.90'	21°01.89'	4.6	Поверхн.	0.7	—	—	—	—
44				Прид.	6.6	—	—	—	—
45	55°00.08'	21°08.06'	4.1	Поверхн.	0.8	9.8	0.80	2.80	3.60
46				Прид.	1.0	7.7	1.10	3.00	4.10
47	55°00.01'	21°12.16'	2.9	Поверхн.	24.4	—	—	—	—
48				Прид.	36.4	—	—	—	—
49	54°58.09'	21°12.99'	3.0	Поверхн.	1.4	—	—	—	—
50				Прид.	2.0	—	—	—	—
51	54°57.05'	21°13.09'	3.2	Поверхн.	24.0	—	—	—	—
52				Прид.	1.8	—	—	—	—
53	54°56.27'	21°09.28'	3.3	Поверхн.	18.3	16.9	0.30	2.30	2.60
54				Прид.	5.0	8.7	3.80	3.40	7.20
55	55°03.91'	21°05.92'	4.6	Поверхн.	1.2	9.9	1.94	2.90	4.84
56				Прид.	2.0	5.9	2.16	1.66	3.82
				Поверхн.	0.2–24.4	9.9–18.1	0.22–1.94	0.75–2.90	1.20–4.84
				Прид.	0.3–36.4	5.6–12.5	0.50–3.80	0.38–3.00	1.32–7.20
				Поверхн.	3.0	14.3	0.72	1.61	2.33
				Прид.	3.9	8.8	1.41	1.68	3.09
				Поверхн. + + прид.	0.2–36.4	5.6–18.1	0.22–3.80	0.75–3.00	1.20–7.20
					3.5	11.5	1.09	1.65	2.74

**Пределы**

Средние значения

**Пределы**

Средние значения

Таблица. Продолжение

	Станция	Координаты		Глубина, м	Горизонт пробоотбора	Концентрация взвеси, мг/л	O <sub>2</sub> , мг/л	P <sub>мин.</sub> , мкг-ат/л	P <sub>орг.</sub> , мкг-ат/л	P <sub>общ.</sub> , мкг-ат/л
		с.ш.	в.д.							
57	ЛЭ-1	54°59.30'	20°42.00'	4.9	Поверхн.	0.4	—	0.40	0.76	1.16
58					Прид.	0.3	7.8	0.20	1.60	1.80
59	ЛЭ-2	55°00.03'	20°44.96'	5.2	Поверхн.	1.0	15.5	0.10	0.90	1.00
60					Прид.	0.5	8.0	0.20	1.10	1.30
61	ЛЭ-3	55°01.03'	20°47.17'	5.0	Поверхн.	0.3	13.1	0.70	0.40	1.10
62					Прид.	2.2	9.4	0.70	0.46	1.16
63	ЛЭ-4	55°05.03'	20°53.33'	5.1	Поверхн.	0.4	14.2	0.40	0.10	0.50
64					Прид.	0.2	7.1	0.84	0.66	1.50
65	ЛЭ-5	55°07.22'	20°55.54'	5.2	Поверхн.	0.5	13.9	0.52	0.08	0.60
66					Прид.	0.3	6.6	1.20	0.60	1.80
67	ЛЭ-6	55°09.22'	20°56.01'	5.4	Поверхн.	0.5	14.4	0.60	0.50	1.10
68					Прид.	1.9	6.4	1.10	0.01	1.10
69	ЛЭ-7	54°56.38'	21°02.00'	4.4	Поверхн.	1.6	12.3	0.20	0.76	0.96
70					Прид.	3.8	7.00	0.78	1.28	2.06
71	ЛЭ-8	54°55.50'	21°05.95'	3.1	Поверхн.	3.9	10.5	4.04	1.66	5.70
72					Прид.	6.4	10.4	4.30	1.60	5.90
73	ЛЭ-9	54°56.52'	21°08.48'	3.8	Поверхн.	7.4	—	4.90	1.10	6.00
74					Прид.	4.8	—	4.90	1.10	6.00
75	ЛЭ-10	54°55.07'	21°04.53'	4.0	Поверхн.	5.5	—	3.50	1.50	5.00
76					Прид.	6.0	—	3.50	1.20	4.70
77	ЛЭ-11	54°54.60'	21°05.80'	2.8	Поверхн.	4.3	—	3.20	1.50	4.70
78					Прид.	3.4	—	3.50	1.30	4.80
79	ЛЭ-12	54°54.86'	20°54.84'	4.0	Поверхн.	0.7	—	0.80	1.30	2.10
80					Прид.	1.9	—	0.24	0.76	1.00
					Поверхн.	0.3–7.4	10.5–15.5	0.10–4.90	0.10–1.66	0.50–6.00
					Прид.	0.2–6.4	6.4–10.4	0.20–4.90	0.01–1.60	1.00–6.00
					Поверхн.	2.2	13.4	1.61	0.88	2.49
					Прид.	2.6	7.8	1.79	0.97	2.76
					Поверхн. + + прид.	0.2–7.4	6.4–15.5	0.10–4.90	0.01–1.66	0.50–6.00
						2.4	10.4	1.70	0.93	2.63
81	ЛГ-5	54°56.78'	21°06.07'	4.4	Поверхн.	15.0	—	2.41	0.61	3.02
82					Прид.	7.0	10.2	2.34	0.70	3.04

Таблица. Окончание

Станция	Координаты		Глубина, м	Горизонт пробоотбора	Концентрация взвеси, мг/л	O <sub>2</sub> , мг/л	P <sub>мин.</sub> , мкг-ат/л	P <sub>орт.</sub> , мкг-ат/л	P <sub>общ.</sub> , мкг-ат/л
	с.ш.	в.д.							
83	54°58.21'	20°57.90'	5.0	Поверхн.	3.8	—	0.15	0.37	0.52
84				Прид.	2.5	6.6	0.67	0.56	1.23
85	55°04.72"	21°05.72'	5.0	Поверхн.	3.3	13.4	0.38	0.51	0.89
86				Прид.	5.5	6.6	1.57	0.46	2.03
87	54°59.91'	20°37.54'	3.6	Поверхн.	3.0	14.3	0.18	0.61	0.80
88				Прид.	1.3	11.8	0.45	0.49	0.94
89	55°30.00'	20°48.00'	5.4	Поверхн.	2.3	10.5	0.17	0.34	0.51
90				Прид.	4.0	8.4	0.48	0.74	1.21
91	54°58.18'	20°47.00'	4.9	Поверхн.	2.0	13.7	0.13	0.42	0.54
92				Прид.	3.5	7.8	0.25	0.51	0.76
93	55°00.02'	21°09.99'	4.4	Поверхн.	5.9	7.8	2.41	0.05	2.46
94				Прид.	7.0	7.6	2.11	0.53	2.64
95	54°54.88'	21°04.40'	3.2	Поверхн.	8.7	—	2.45	0.32	2.77
96				Прид.	6.0	9.2	2.39	0.48	2.88
97	55°09.00'	20°57.00'	5.2	Поверхн.	1.3	11.4	0.36	0.70	1.07
98				Прид.	2.0	5.8	0.63	0.47	1.10
99	55°13.45'	20°59.30'	4.9	Поверхн.	2.0	10.6	0.21	0.51	0.72
100				Прид.	2.6	5.2	0.64	0.88	1.52
101	55°14.02'	21°12.75'	2.2	Поверхн.	10.5	8.6	1.47	0.36	1.83
102				Прид.	4.5	8.8	1.44	0.68	2.12
	<b>Пределы</b>			Поверхн.	1.3–15.0	7.8–14.3	0.13–2.45	0.05–0.70	0.51–3.20
				Прид.	1.3–7.0	5.2–11.8	0.25–2.39	0.46–0.88	0.76–3.04
	Средние значения			Поверхн.	5.2	11.3	0.94	0.44	1.38
				Прид.	4.2	8.0	1.18	0.59	1.77
	<b>Пределы</b>			Поверхн. +	1.3–15.0	5.2–14.3	0.13–2.39	0.05–0.88	0.51–3.20
				+ прид.	4.7	9.4	1.06	0.51	1.57
	<b>Данные по всем экспедициям</b>								
	<b>Пределы</b>			Поверхн.	0.2–24.4	7.8–18.1	0.10–4.90	0.05–2.90	0.50–6.00
				Прид.	0.2–36.6	5.2–12.5	0.20–4.90	0.01–3.00	0.76–7.20
	Средние значения			Поверхн.	3.5	13.0	1.09	0.98	2.07
				Прид.	3.6	8.2	1.45	1.08	2.54
	<b>Пределы</b>			Поверхн. +	0.2–36.6	5.2–18.1	0.10–4.9	0.01–3.00	0.50–7.20
				+ прид.	3.6	10.43	1.28	1.03	2.31

Примечание. Поверхностный слой – горизонт 0.5 м; придонный слой – горизонт 0.5 м от дна.



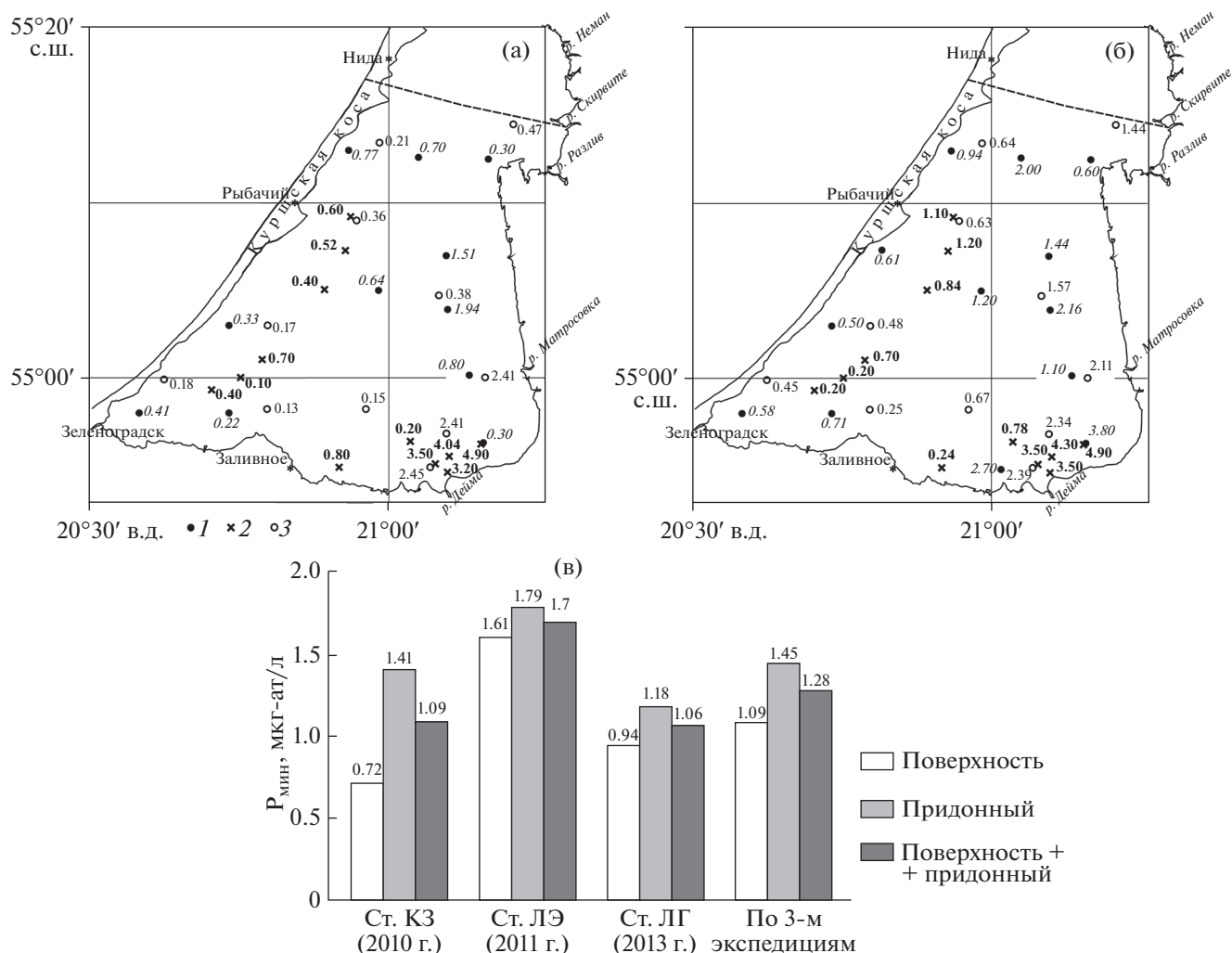


Рис. 4. Карта-схема распределения концентраций минерального фосфора (в мкг-ат/л  $P_{\text{мин}}$ ) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях водной толщи и их средних значений (в) в Куршском заливе. Условные обозначения см. рис. 2.

натные ядерные фильтры “Дубна” с диаметром пор 0.45 мкм по общепринятой в ИО РАН методике [13]. Определения выполнены в 102 пробах воды, отобранных на 51 станции (рис. 7).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### 1. Распределение концентраций форм фосфора.

Две основные формы фосфора присутствуют в природных водах – это минеральный (неорганический) ( $P_{\text{мин}}$ ) и органический фосфор ( $P_{\text{орг}}$ ). Сумма концентраций этих двух форм фосфора составляет его общую концентрацию в воде ( $P_{\text{общ}} = P_{\text{мин}} + P_{\text{орг}}$ ). Основным минеральным соединением фосфора является ортофосфат-ион ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), который обычно называют фосфатом. Фосфор является важнейшим биогенным элементом и его содержания (а также азота) определяют уровень эвтрофирования водоемов. Он во-

влечен в биологический цикл и его содержания зависят от сезонных факторов [2]. Основная часть органического фосфора образуется в самом заливе в результате жизнедеятельности планктона и в меньшей степени он поступает в водоем с речным стоком [15]. Органические соединения фосфора входят в состав детрита, а также находятся в воде в форме коллоидов и растворенных молекул. Основным источником поступления минерального фосфора в воды Куршского залива является речной сток.  $P_{\text{мин}}$  также образуется в самом заливе в результате минерализации отмершего планктона и органических веществ из донных отложений, т.е. в результате окисления содержащихся в них органических соединений фосфора. Эти процессы становятся все более интенсивными с ростом температуры. Минеральный фосфор активно потребляется фитопланктоном в процессе фотосинтеза в поверхностном слое и его концентрации

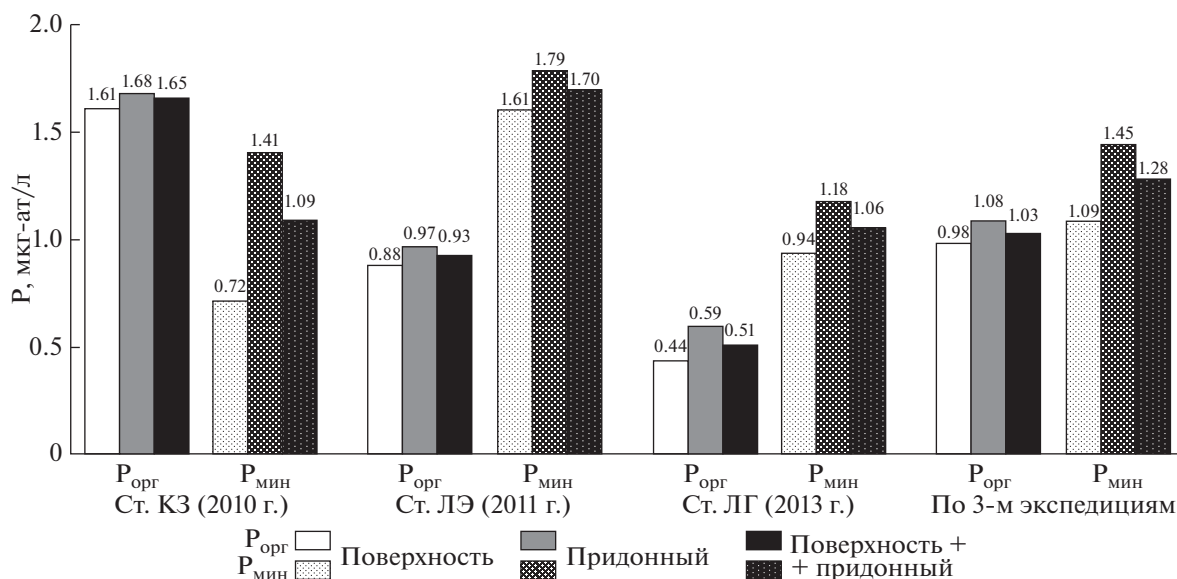


Рис. 5. Распределение средних концентраций органического и минерального фосфора (в мкг-ат/л) в поверхностном и придонном слоях водной толщи Куршского залива.

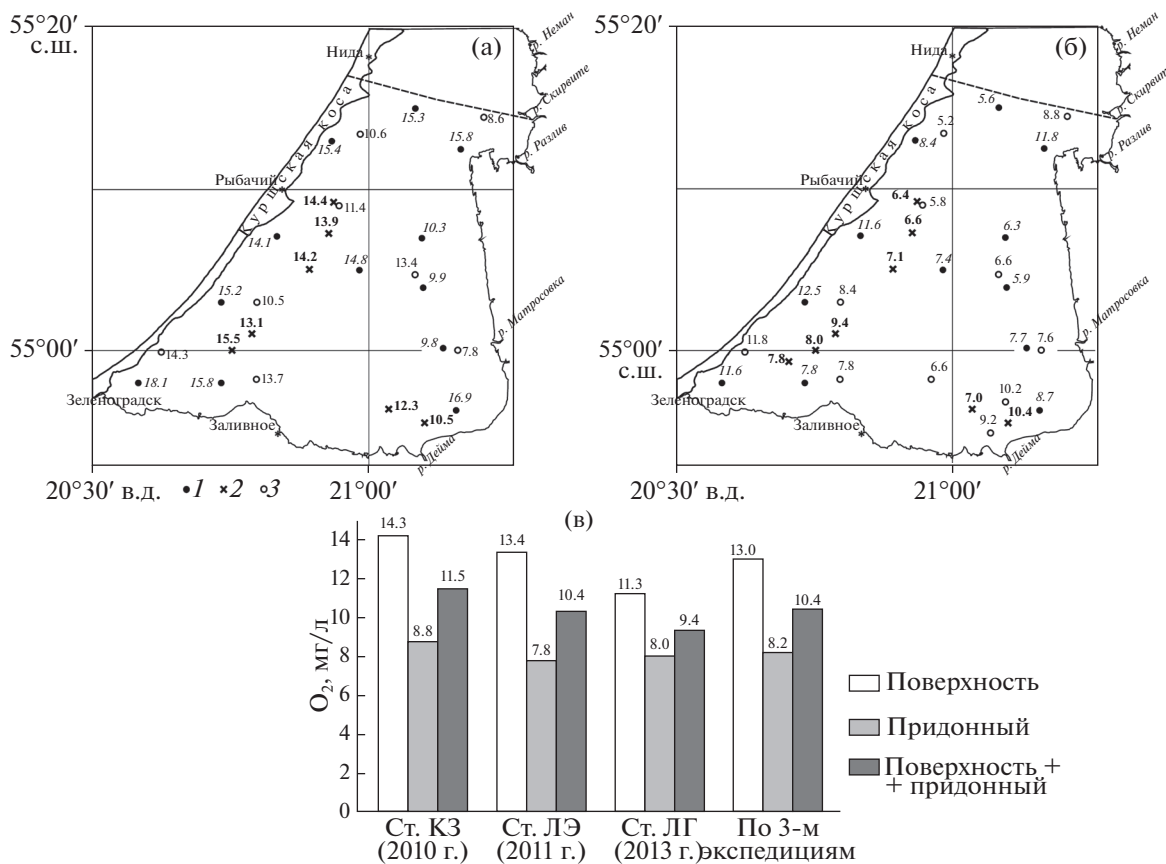


Рис. 6. Карта-схема распределения концентраций растворенного кислорода (в мг/л) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях водной толщи и их средних значений (в) в Куршском заливе. Условные обозначения см. рис. 2.

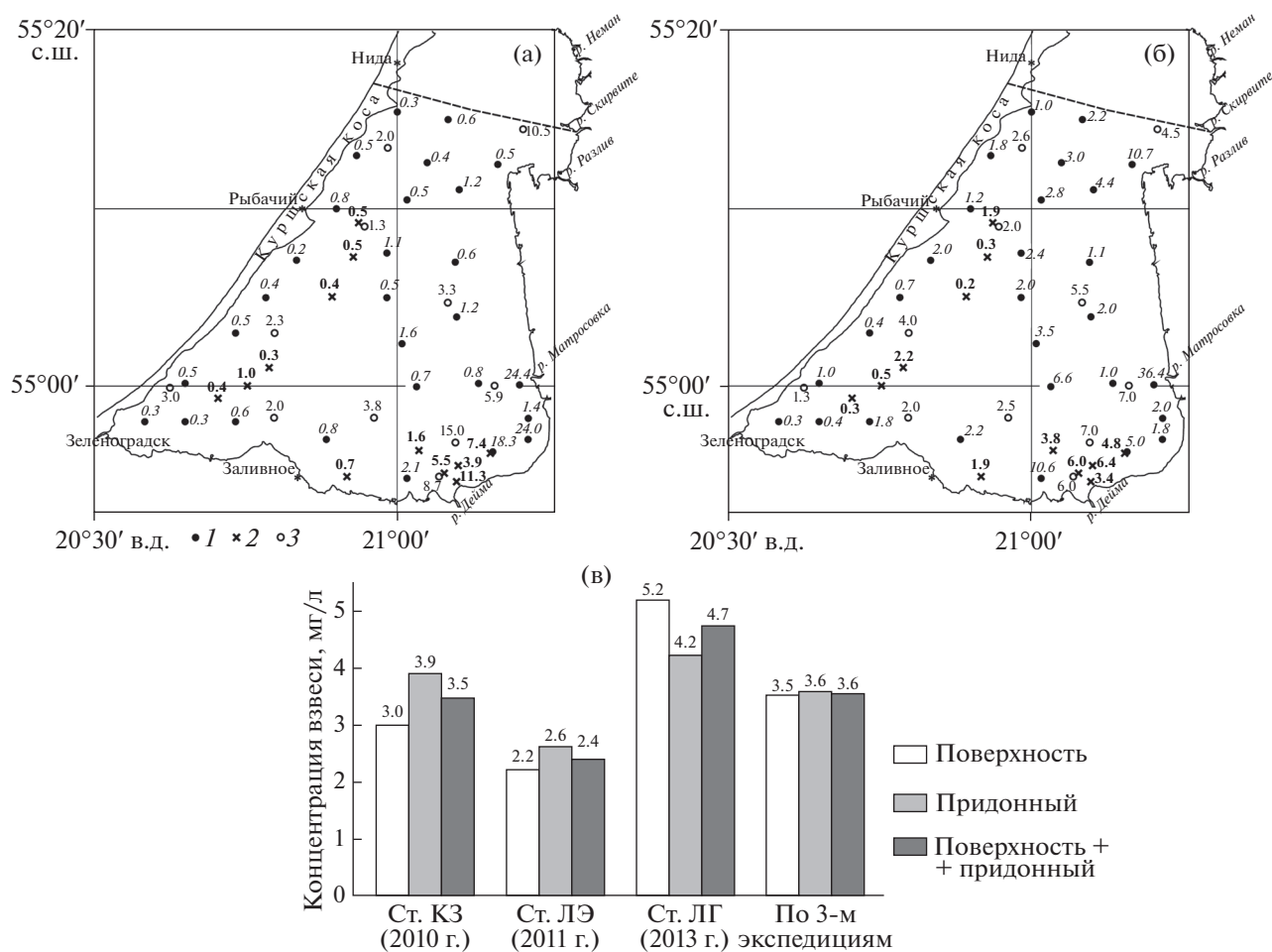


Рис. 7. Карта-схема распределения концентраций взвеси (в мг/л) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях водной толщи и их средних значений (в) в Куршском заливе. Условные обозначения см. рис. 2.

здесь понижаются [2]. Затем его концентрации возрастают с глубиной за счет окисления органического фосфора и его перехода в неорганическую (фосфатную) форму по мере осаднения на дно с органическими продуктами жизнедеятельности планктона, их растворения и минерализации. Таким образом, содержания фосфатов в общем балансе форм фосфора в придонных водах повышаются, а органического фосфора — снижаются [15].

**Концентрации  $P_{\text{орг}}$  в придонном слое.** Здесь были обнаружены концентрации органического фосфора в диапазоне от 0.01 до 3.40 мкг-ат/л (рис. 3). Максимальные значения концентраций  $P_{\text{орг}}$  наблюдались в 2010 г. на станциях КЗ-24 и 28 (3.40 и 3.00 мкг-ат/л соответственно), расположенных в юго-восточной части залива вблизи устьев рек Дейма и Матросовка. Минимальное его значение <0.01 мкг-ат/л зафиксировано в 2011 г. на ст. ЛЭ-6, расположенной в западной части залива вблизи п. Рыбачий. В целом, снижение концентраций органического фосфора в придонном слое по

данным 2010 и 2011 гг. происходит в направлении с востока—юго-востока на запад—северо-запад. По данным 2013 г. подобная закономерность его распределения не прослеживается. Концентрации  $P_{\text{орг}}$  по всем изученным станциям были примерно на одном низком уровне и находились в диапазоне значений 0.46—0.88 мкг-ат/л и не зависели от их географического положения (рис. 3). В целом, его концентрации в 2010 г. были заметно (до 2—3 раз) выше в восточной, юго-восточной и юго-западной частях залива, чем в 2013 г. Они были повышены также в 2011 г. на пяти станциях, расположенных вблизи устья р. Дейма, и на двух юго-западных станциях (1.10—1.60 мкг-ат/л) (рис. 3).

**Концентрации  $P_{\text{орг}}$  в поверхностном слое.** Как и в придонном слое, максимальные концентрации  $P_{\text{орг}}$  (2.30—2.90 мкг-ат/л) зарегистрированы в юго-восточной части залива (ст. КЗ-24, 28, 29) в 2010 г. (рис. 3). Минимальные его концентрации наблюдались в западной части залива в 2011 г. (0.08—0.10 мкг-ат/л, ст. ЛЭ-4, 5) и в юго-восточной его части на ст. ЛГ-13 в 2013 г. (0.05 мкг-ат/л)

вблизи устья р. Матросовка (рис. 2). Как и в придонном слое, концентрации органического фосфора в поверхностном слое рассматриваемых приустьевых областей залива были ниже в 2013 г. по сравнению с 2010 г., а значения 2011 г. занимали промежуточное положение (рис. 3). Вероятно, это связано со снижением биологической продуктивности вод и, соответственно, содержания органического фосфора в заливе за последние три года.

**Концентрации  $P_{\text{мин}}$  в придонном слое.** Речные воды, и, в частности, воды р. Деймы поставляют в залив, в основном, минеральный фосфор, составляющий более 80% от общего содержания форм фосфора в речной воде [15]. Поэтому речные воды четко выделяются высокими его концентрациями. Максимальные значения  $P_{\text{мин}}$  выявлены в юго-восточной части Куршского залива в 2010 и 2011 гг. вблизи устья реки Дейма (3.50–4.90 мкг-ат/л, ст. КЗ-28, ЛЭ-8, 9, 10, 11), а минимальные – в юго-западной его части в 2011 г. (0.20 мкг-ат/л) на ст. ЛЭ-1, 2 (рис. 4). Высокие концентрации  $P_{\text{мин}}$ , обнаруженные во все годы проведенных исследований, четко маркируют движение впадающих в залив вод р. Деймы, заворачивающихся на восток и несущих в своих водах высокие концентрации биогенных элементов, в том числе и минеральный фосфор. В отличие от распределения концентраций  $P_{\text{орг}}$  в восточной части залива в 2013 г., концентрации  $P_{\text{мин}}$  здесь в это время не были понижены и соответствовали уровню его значений в другие периоды исследований.

**Концентрации  $P_{\text{мин}}$  в поверхностном слое.** На поверхности ситуация схожая с придонными показателями. Здесь, как и в придонном слое, наиболее высокие концентрации  $P_{\text{мин}}$  выявлены вблизи устья р. Деймы на станциях 2011 г. – ст. ЛЭ-8, 9, 10, 11 (3.20–4.90 мкг-ат/л) (рис. 4). Эти значения совпадают с диапазоном его концентраций в поверхностных водах на этих же станциях. Это соответствие также указывает на хорошую перемешанность вод и обозначает их речное происхождение. Как известно, речные воды содержат высокие концентрации минерального фосфора и являются основным источником его поступления в залив [15]. Пониженные концентрации минерального фосфора, как и в придонном слое, были приурочены ко всем 17 станциям (во все изученные периоды) в западной и юго-западной частях залива (0.10–0.77 мкг-ат/л), где влияние речного стока снижается. По этой причине наблюдается уменьшение концентраций минерального фосфора в направлении с востока и юго-востока на запад и юго-запад.

**Сравнительный анализ.** Результаты исследований указывают на значительное снижение (примерно в 2 раза) средних концентраций  $P_{\text{орг}}$  как в

придонных, так и в поверхностных водах зимой 2013 г. по сравнению с его значениями, характерными для зимы 2010 г. (рис. 5). Средние концентрации  $P_{\text{орг}}$  в заливе зимой 2011 г. занимали промежуточное положение между его значениями в 2010 и 2013 гг. (рис. 5). Уменьшение концентраций органического фосфора в водах залива по направлению от 2010 г. к 2011 г. и, затем, к 2013 г. указывает на снижение его продуцирования фитопланктоном в вегетационные периоды за последние три года.

Максимальные средние концентрации минерального фосфора как в придонных, так и в поверхностных водах наблюдались зимой 2011 г. Они в 1.5–2 раза превышали средние его концентрации, отмеченные в 2010 и 2013 гг. и имевшие между собой сопоставимые значения (рис. 5). Это связано с тем, что в 2011 г. большинство изученных станций (ЛЭ) располагалось в южной части залива, находящейся под влиянием стока р. Деймы (рис. 2).

Сопоставление имеющихся данных по 11 станциям наблюдений в августе 1998 г. [15] показало, что средние зимние концентрации обеих форм фосфора в изученных нами водах оказались примерно в 2 раза ниже их летних значений. Так, диапазоны концентраций  $P_{\text{мин}}$  летом 1998 г. (придонный и поверхностный слои) составляли 0.47–0.18 мкг-ат/л (в среднем – 2.16 мкг-ат/л). Суммарно, во все зимние исследования (поверхностный и придонный слои) концентрации колебались в пределах: 0.10–4.90 мкг-ат/л  $P_{\text{мин}}$ ; в среднем – 1.28 мкг-ат/л  $P_{\text{мин}}$  (рис. 5). Концентрации  $P_{\text{орг}}$  летом находились в пределах 1.12–2.64 мкг-ат/л (придонный и поверхностный слои, среднее – 1.82 мкг-ат/л). Во все зимние периоды исследований (поверхностный и придонный слои) они были равны: 0.01–3.00 мкг-ат/л  $P_{\text{орг}}$ ; в среднем – 1.03 мкг-ат/л  $P_{\text{орг}}$  (рис. 5).

Обнаруженное зимнее снижение содержания как минерального, так и органического фосфора в подледных условиях залива полностью согласуется с существующими современными данными об их сезонной изменчивости [2]. Так, несмотря на активное потребление фосфатов и образование его органических форм в периоды вегетации планктона, в это время в водоеме наблюдаются не только высокие концентрации органического, но и минерального фосфора, которые достигают максимальных годовых величин в летние месяцы [2]. Причем, это происходит при летнем сокращении речного стока. Такой значительный избыток минерального фосфора летом в водах залива является химической предпосылкой и показателем его эвтрофного состояния. Это происходит в результате и активной регенерации фосфора в форме фосфатов из донных отложений в результате минерализации органического детрита и окисления

органических соединений фосфора при повышении температуры [2]. Минимальные значения концентраций как минерального, так и органического (общего) фосфора наблюдаются поздней осенью (октябрь–ноябрь), зимой и ранней весной (март–апрель) до начала активной весенней вегетации фитопланктона [2]. В этот период содержания фосфатов в водоеме значительно снижаются вследствие уменьшения скорости их регенерации (при похолодании) из донных осадков и продуцирования органического фосфора фитопланктоном [2].

Полученные количественные оценки зимних концентраций форм фосфора указывают на то, что ледовый покров не оказывает существенного влияния на характерный сезонный ход их содержаний в водоеме. Однако, выявлена значительная межгодовая изменчивость содержаний органического фосфора в заливе, а ее возможные причины были описаны выше.

**2. Распределение концентраций растворенного кислорода.** Кислородный режим залива определяется интенсивностью биохимических процессов, его мелководностью и загрязнением [2]. Кислород ( $O_2$ ) поступает в воды залива двумя способами – в результате поглощения кислорода из атмосферы и в процессе фотосинтеза, который происходит в течение вегетационного периода. Эти процессы восполняют недостаток кислорода, который возникает в результате его потребления для биохимического окисления органических веществ (ОВ) и дыхания гидробионтов [1]. В результате ветро-волнового перемешивания, аэрация водной толщи в Куршском заливе почти везде достаточная из-за его небольших глубин, за исключением некоторых мест и периодов времени. Например, в жаркие и безветренные летние периоды, сопровождающиеся бурным цветением, отмиранием и разложением, особенно, сине-зеленых водорослей. В это время в прибрежных частях залива наблюдается заметный дефицит кислорода [2]. В целом, летние концентрации  $O_2$  в водоеме имеют тенденцию к увеличению в направлении от берега к центральной части залива [15]. Количество кислорода, растворенного в водах лагуны, зависит от следующих факторов: температуры воды, интенсивности фотосинтеза, волновой деятельности, окислительных процессов и т.д. Поэтому, уровень насыщенности вод кислородом в этом регионе очень изменчив во времени [15]. В целом, наблюдается весенний максимум его концентраций (до 13–14 мг/л) в период интенсивного фотосинтеза при низких температурах и летнее снижение (до 9–10 мг/л) из-за прогрева вод и уменьшения растворимости кислорода с ростом их температуры [2]. Однако, в период “цветения” (июль–август) днем в заливе может наблюдаться сильное перенасыщение вод кислородом в по-

верхностном слое (18–20 мг/л, 200–250%), в 2 раза превышая его содержания в придонных водах [2]. Осенью содержания  $O_2$  в водоеме снижаются из-за его интенсивного расхода на окисление отмирающих масс фитопланктона и снижения скорости фотосинтеза [2].

**Концентрации кислорода в придонном слое.** Концентрации  $O_2$  в придонных водах колебались в широком диапазоне значений – от 5.2 до 12.5 мг/л (рис. 6). Причем, наилучшая аэрация придонного слоя (8.4–12.5 мг/л  $O_2$ ) наблюдалась в самой западной части залива, на станциях КЗ-5, 7, 9, 11 в 2010 г. и ЛГ-10 в 2013 г., расположенных вблизи берега вдоль побережья Куршской косы, а также на ст. КЗ-15 в 2010 г. (11.8 мг/л  $O_2$ ) вблизи п. Мысовка (рис. 6). В целом, наблюдалась хорошая аэрация придонного слоя по всей исследованной акватории залива во все изученные зимние периоды. Пониженные концентрации кислорода зафиксированы лишь на одной станции зимой 2010 г. (ст. КЗ-14, 5.6 мг/л  $O_2$ ) и на двух станциях в 2013 г. – станции ЛГ-15 и ЛГ-16 (5.2 и 5.8 мг/л  $O_2$  соответственно). Все эти три станции расположены в центре западной части лагуны. Однако, и эти значения не превышали его ПДК для рыбохозяйственных водоемов, установленные для подледной обстановки (не менее 4.0 мг/л  $O_2$ ). По направлению к юго-западу, востоку и юго-востоку концентрации кислорода вновь повышались (рис. 6). В июле 1998 г. концентрация кислорода в придонном слое залива составляла 7.5–8.9 мг/л [15], что, в среднем, близко к нашим данным, приведенным выше. По данным июля 1998 г. [15], в приустьевой зоне р. Деймы в придонном слое концентрация кислорода составляла 7.4 мг/л, а по нашим зимним наблюдениям – 10.4 мг/л в 2011 г. (ст. ЛЭ-8) и 9.2 мг/л в 2013 г. (ст. ЛГ-14). Таким образом, аэрированность придонного слоя зимой в этом районе оказалась даже лучше, чем летом. Это обусловлено интенсивным потреблением кислорода на окисление органических веществ (ОВ) в вегетационный период, когда ОВ активно продуцируется планктоном. Особенно, это касается приустьевых зон, где реки выносят в залив много питательных веществ – (биогенных) элементов, что способствует бурному развитию фитопланктона. Это подтверждается более ранними данными о том, что в устьях рек Деймы и Матросовки концентрации кислорода в придонном слое в летние периоды снижаются до 4.6–6.1 мг/л из-за повышенного его потребления на окисление ОВ [8].

**Концентрации кислорода в поверхностном слое.** На всех изученных станциях во все зимние периоды исследований наблюдались высокие концентрации кислорода в поверхностном слое водной толщи (7.8–18.1 мг/л  $O_2$ ) (рис. 6). Причем, минимальные его значения обнаружены лишь на двух

станциях в юго-восточной и восточной частях залива (станции ЛГ-13 и ЛГ-17), где концентрации кислорода в 2013 г. составили 8.6 и 7.8 мг/л  $O_2$  соответственно (рис. 6).

**Сравнительный анализ.** В августе 1998 г. концентрация кислорода в поверхностном слое залива составляла 7.7–8.9 мг/л [15]. Согласно нашим данным по зимним наблюдениям, на 29 станциях из 31 наблюдались концентрации кислорода >9.0 мг/л (рис. 6). Это свидетельствует о том, что даже в условиях изолированности водоема от атмосферы льдом и отсутствия волнового перемешивания, кислорода в заливе достаточно для хорошей аэрации водной толщи, а на многих его участках (особенно, в поверхностном слое) зимние концентрации кислорода превосходили его летние значения. По-видимому, это является результатом того, что образование кислорода при подледном фотосинтезе и от поступления с речным стоком превышает его расход на окислительные процессы в зимний период. Несмотря на то, что концентрации кислорода зимой, как и летом, в придонном слое в результате его расхода на окисление  $OB$  снижаются, это не ведет к его дефициту в зимний период. Это обусловлено снижением интенсивности фотосинтетических процессов и уменьшением генерации  $OB$  в зимний период и играет определяющую роль в улучшении кислородного режима залива в этот период.

По данным августа 1998 г. [15], в приустьевой зоне р. Деймы в поверхностном слое концентрация кислорода составляла 7.7 мг/л, а по нашим зимним наблюдениям – 10.5 мг/л в 2011 г. (ст. ЛЭ-8) (рис. 6). Еще на двух станциях (КЗ-28 – 2010 г. и ЛЭ-7 – 2011 г.), предположительно находящихся под влиянием стока р. Деймы, его концентрации достигали еще более высоких значений (16.9 и 12.3 мг/л соответственно) (рис. 6). Здесь содержания кислорода в поверхностном слое значительно увеличиваются зимой по тем же вышеназванным причинам, как и на других участках залива.

**3. Распределение концентраций взвешенных веществ (водной взвеси).** Взвешенные вещества поступают в Куршский залив с речным стоком. Они также образуются непосредственно в самом заливе в результате биохимических и гидродинамических процессов – при жизнедеятельности животных и растительных микроорганизмов и за счет размывания донных осадков волнами и течениями.

**Концентрация взвеси в поверхностном слое.** Максимальные концентрации взвешенного вещества в поверхностном слое были обнаружены в 2010 г. и 2013 г. и оказались приурочены к приустьевым зонам рек Деймы (ст. КЗ-27 – 24.0 мг/л, ст. КЗ-28 – 18.3 мг/л, ЛГ-5 – 15.0 мг/л), Матросовки (ст. КЗ-25 – 24.4 мг/л) и Немана (рукав Скирвите) (ст. ЛГ-17 – 10.5 мг/л) (рис. 7). При удалении на запад и юго-запад от основных ис-

точников ее поступления, т.е. от устьев рек, концентрации взвеси снижались до 0.2–1.2 мг/л в 2010 и 2011 гг. и до 1.3–3.8 мг/л в 2013 г. (рис. 7). В целом, они оказались близки к диапазонам ее значений (0.1–2.3 мг/л), характерных для поверхностных вод Гданьского бассейна Балтийского моря по данным многолетних сезонных наблюдений (весна, лето, осень) 2003–2008 гг. [5, 14].

**Концентрация взвеси в придонном слое.** В придонном слое, как и в поверхностном, максимальные концентрации взвешенного вещества (3.9–36.4 мг/л) обнаружены на тех же станциях вблизи устьев рек Деймы, Матросовки, Немана (рукав Скирвите) (рис. 7). Ее максимум достигал значения 36.4 мг/л на ст. КЗ-25 (2010 г.) вблизи устья р. Матросовки. Как и в поверхностном слое, концентрации взвеси в придонном слое уменьшаются при удалении от приустьевых участков залива до 0.2–3.8 мг/л, а повышенные ее значения (1.3–3.8 мг/л) характерны для зимы 2013 г. По данным многолетних сезонных наблюдений 2003–2008 гг., в центральных и западных частях залива эти значения оказались близки к концентрациям взвеси (0.1–3.2 мг/л), характерным для придонных вод Гданьского бассейна [5, 14].

Наиболее высокие средние концентрации взвеси как в поверхностном, так и в придонном слоях обнаружены в феврале 2013 г. (5.2 и 4.2 мг/л соответственно). Среднее ее значение в этом году по обоим слоям составило 4.7 мг/л (рис. 7). Несмотря на максимальные концентрации взвеси (до 36.4 мг/л), обнаруженные в приустьевых участках зимой 2010 г., средние ее концентрации в заливе были несколько ниже, чем в 2013 г. (поверхностный слой – 3.0 мг/л, придонный слой – 3.9 мг/л; среднее по обоим слоям – 3.5 мг/л) (рис. 7). Минимальные средние концентрации взвеси характерны для зимы 2011 г.: поверхностный слой – 2.2 мг/л; придонный слой – 2.6 мг/л; среднее по обоим слоям – 2.4 мг/л (рис. 7).

Разница в средних значениях концентраций взвеси (а значит и ее общего содержания в водах залива) по разным годам зимних исследований может быть вызвана различными причинами. Например, неравномерностью ее поступления с речным стоком и естественной неоднородностью распределения ее содержаний в водах залива. Это может быть вызвано также различной интенсивностью продуцирования фитопланктоном биогенной взвеси в самом заливе, которое происходит, в основном, в период его вегетации. Соответственно, это приводит к различным ее количествам, содержащимся в водах в зимние сезоны, т.е. еще не осевших на дно и (или) не растворившихся при минерализации частиц органической взвеси.

**Сравнительный анализ.** Концентрации взвеси в р. Дейме в июле 1998 г. составляли 0.7–3.3 мг/л (в среднем – 2.1 мг/л) в поверхностных водах и 0.7–

11.0 мг/л (в среднем — 4.9 мг/л) в придонных водах [6]. По данным этого же автора, в Куршском заливе концентрации взвеси составили следующие значения: в августе 1996 г. — поверхностный слой — 3.1–50.8 мг/л (среднее — 18,8 мг/л), придонный слой — 5.5–138.1 мг/л (среднее — 44.6 мг/л); в июле 1998 г. — поверхностный слой — 3.2–71.6 мг/л (среднее — 23.5 мг/л), придонный слой — 1.0–59.7 мг/л (среднее — 14.8 мг/л). Таким образом, если суммировать эти данные по двум годам летних наблюдений (46 проб, 23 станции), концентрации взвеси в заливе колебались в очень широких пределах от 1.0 до 138.1 мг/л, и в среднем составили величину 25.8 мг/л [6]. Подобный разброс в концентрациях взвешенного вещества в летний период вызван значительной неоднородностью ее распределения в водной толще залива, которая зависит от различных факторов, связанных с ее поступлением с речным стоком, генерацией биогенной взвеси, взмучиванием донных осадков и сложными гидродинамическими условиями.

Сравнительный анализ указывает на значительно меньшие количества взвеси, содержащиеся в водах залива, и более слабую изменчивость диапазона ее концентраций и средних значений, как в поверхностном (0.2–24.4 мг/л, среднее 3.5 мг/л), так и в придонном (0.2–36.4 мг/л, среднее 3.6 мг/л) слоях во все изученные нами зимние периоды (рис. 7) по сравнению с вышеуказанными данными по летним обстановкам. В целом, концентрация взвеси в заливе в эти периоды колебалась от 0.2 до 36.6 мг/л, а среднее ее значение составило 3.5 мг/л (рис. 7), что примерно в 7 раз меньше, чем летом. Это обусловлено, очевидно, снижением роли активных биохимических (фотосинтез) и гидродинамических (волновое взмучивание осадков) процессов в заливе в условиях сплошного ледового покрытия.

## ВЫВОДЫ

1. Сплошной ледовый покров не влияет на характерную сезонную изменчивость содержаний форм фосфора в Куршском заливе, характеризующуюся их снижением и в безледные зимние сезоны. Во все изученные зимние ледовые сезоны содержания как минерального, так и органического фосфора в придонных и поверхностных водах оказались в 2–4 раза ниже их летних значений. Значительное уменьшение концентраций органического фосфора (в 2–3 раза) по направлению 2010 г.—2011 г.—2013 г., вероятно, обусловлено снижением интенсивности его продуцирования фитопланктоном в соответствующие вегетационные периоды, что отражается на его содержаниях в водоеме в изученные зимние сезоны.

2. Не выявлено негативного влияния сплошного ледового покрова на процессы аэрации вод

Куршского залива. Несмотря на изолированность от атмосферы льдом, отсутствие волнового перемешивания и снижение продуцирования кислорода в результате сезонного зимнего снижения интенсивности фотосинтетических процессов, в водоеме не наблюдалось его дефицита. Процессы подледного образования кислорода при фотосинтезе и его поступление с речным стоком превышают его расход на окислительные процессы. Главным образом, это вызвано снижением продуцирования ОВ фитопланктоном в водах залива в зимний период. Это является наиболее важным фактором, определяющим достаточно хорошую аэрацию вод залива даже в условиях его сплошного ледового покрова.

3. Значительное снижение концентраций взвеси в поверхностных и придонных водах залива (в 4–7 раз) по сравнению с летними сезонами вызвано уменьшением содержаний биогенной взвеси в водоеме из-за низкой биопродуктивности вод в зимний период. Особенности зимней ледовой обстановки в заливе выражаются в отсутствии ветро-волнового перемешивания вод и волнового взмучивания донных осадков, что приводит к снижению вторичного поступления взвеси из осадков в придонные воды и более быстрому ее осаждению на дно из водной толщи. Это способствует процессу самоочищения залива от взвешенных и сопутствующих им загрязняющих веществ.

Авторы благодарят сотрудников Лаборатории геологии Атлантики АО ИО РАН С.М. Исаченко, А.Б. Адамович, Ю.Е. Полосину, Ю.Н. Лысенкову и Г.П. Ромахову за помощь в сборе фактического материала в экспедициях, проведении их химического анализа и графической обработке полученных данных.

Исследования проведены при финансовой поддержке проектов: “Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов Балтийского моря” (2008–2010 гг.) и “Разработка методов и технологии океанологического и информационного обеспечения эффективности управления и экологической безопасности морской деятельности России в Балтийском море” (2011–2013 гг.) в рамках выполнения подпрограммы “Исследование природы Мирового океана” Федеральной целевой программы “Мировой океан”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О.А., Ляхин Ю.И.* Океаническая химия. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 343 с.
2. *Александров С.В.* Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы). Калининград. АтлантНиро. 2010. 227 с.



3. Блажчишин А.И. Баланс осадочного материала Гданьского бассейна Балтийского моря // Литология и минеральные ресурсы. 1984. № 5. С. 67–76.
4. Емельянов Е.М., Кравцов В.А., Локтионов А.М. и др. Особенности гидрохимического режима и геоэкологическая ситуация в Куршском заливе Балтийского моря // Геология морей и океанов. Тезисы XIII Международной конференции по морской геологии. Т. 1. М.: ИО РАН, 1999. С. 251–254.
5. Емельянов Е.М., Кравцов В.А., Полосина Ю.Е. Оценка состояния открытых вод в пределах российского сектора ЮВБ по содержанию взвешенных веществ по многолетним данным, определение сезонной изменчивости фонового состояния // Состояние морской среды российского сектора Юго-Восточной Балтики. Калининград: Terra Baltica, 2014.
6. Кравчишина М.Д. Особенности современного осадконакопления в южной части Куршского залива // Геология морей и океанов. Тезисы XIII Международной конференции по морской геологии. Т. 1. М.: ИО РАН, 1999. С. 180–181.
7. Науменко Е.Н. Видовой состав зоопланктона в Куршском заливе Балтийского моря // Гидробиологические исследования в Атлантическом океане и бассейне Балтийского моря. Калининград: АтлантНИРО, 1994. С. 20–34.
8. Оленин С.Н. Зообентос в Куршском заливе по результатам биологического мониторинга в 1980–1984 гг. // Химия и биология морей. М.: Гидрометеоиздат, 1987. С. 175–191.
9. Сапожников В.В. Определение общего содержания фосфора с персульфатом калия // Методы гидрохимических исследований океана. М.: Наука, 1978. С. 171–174.
10. Сенин Ю.М. Особенности антропогенного воздействия Калининградской области на Балтийское море и водную экосистему в экономической зоне Российской Федерации // Тезисы X Международной конференции по рыбной океанологии. М.: ВНИРО, 1997. С. 112–113.
11. Чернякова А.М. Определение растворенного кислорода по методу Винклера // Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: ИО РАН, 1992. С. 22–34.
12. Emelyanov E.M., Kravtsov V.A., Kudryavtsev N.G. et al. Materials and methods of research // Geology of the Gdansk Basin (Baltic Sea). Kaliningrad: Yantarny Skaz, 2002. P. 13–25.
13. Gasiūnaitė Z., Daunys D., Olenin S., Razinkovas A. The Curonian Lagoon // Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. Kaliningrad: Terra Baltica, 2008. P. 58–67.
14. Kravtsov V.A., Kravchishina M.D., Pankratova N.A., Kuleshov A.F. The recent sedimentation processes in the Curonian and Vistula Lagoons // Geology of the Gdansk Basin (Baltic Sea). Kaliningrad: Yantarny Skaz, 2002. P. 352–366.
15. Pustelnikovas O. The geochemistry of sediments of the Curonian Lagoon (Baltic Sea). Vilnius: Institute of Geography, 1998. 236 p.

## Peculiarities of Hydrochemical Conditions in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea in the Winter Seasons

V. A. Kravtsov, E. M. Emelyanov

The distribution of the concentrations of suspended particulate matter (SPM), dissolved oxygen, and forms of phosphorus were studied in detail in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea in the conditions of its ice coverage in 2010, 2011, and 2013. The surface and near-bottom waters were studied at 51 stations. The ice cover does not influence the specific seasonal distribution of the concentration of all studied parameters in the lagoon waters. The phosphorus influence on the lagoon in these seasons has been decreasing significantly. The concentrations of mineral and organic phosphorus in this period were approximately 2–4 times lower than their concentrations in the summer seasons. A significant decrease in the mean concentrations of organic phosphorus (2–3 times) in the water was observed, which is related to a decrease in its production by phytoplankton in the last three studied winter seasons. It indicates a decrease in its production by the plankton in the lagoon in the vegetation periods in the last three years. Good aeration of lagoon waters was observed in the conditions of isolation from the atmosphere by the ice cover and absence of wave mixing of the water column. The consumption of oxygen to oxidizing processes in this period sharply decreases because of the low bio-production of the lagoon waters in the winter season. Considerable decreasing of concentrations of SPM (4–7 times) is determined in the winter seasons compared to the summer seasons. It is also related to a decrease in the concentrations of biogenic SPM in the waters in the winter seasons. The absence of the wave resuspension of the bottom sediments is related to a decrease in the secondary input of SPM from the sediments to the bottom waters. It assists the improvement of geo-ecological situation related to the studied parameters in the Curonian Lagoon in the ice-cover condition.