О.В. Шатрова, Т.Р. Ерёмина, Е.К. Ланге

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ ЭВТРОФИРОВАНИЯ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

O.V. Shatrova, T.R. Eremina, E.K. Lange

VARIABILITY OF PARAMETERS OF EUTROPHICATION IN THE GULF OF FINLAND BASED ON FIELD OBSERVATIONS

Работа посвящена актуальной теме современной морской экологии — проблеме функционирования уникальных природных образований: эстуарных зон морских экосистем, находящихся под прессом хозяйственной деятельности человека. В основу работы положен обширный материал (более 600 измерений) натурных исследований, проведенных РГГМУ в течение 2001—2011 гг. в эстуарии р. Невы — восточной части Финского залива Балтийского моря, одной из важнейших проблем которого является эвтрофикация антропогенного генезиса.

Ключевые слова: показатели эвтрофирования, эстуарная зона, восточная часть Финского залива, биогенные элементы.

The work is dedicated to the actual topic of modern marine ecology — the problem of functioning of the unique natural formations: the estuarine zones of marine ecosystems under the pressure of human activities. The work is based on the extensive material (over 600 measurements) of the studies conducted by RSHU during 2001–2011 in the Neva River estuary — the eastern part of the Gulf of Finland, one of the major problems which is the eutrophication of anthropogenic origin.

Keywords: estuary area, indicators of eutrophication, long-term variability, the eastern part of the Gulf of Finland, hypoxic zones, nutrients.

Экологическое состояние большинства участков акватории Балтийского моря не соответствует стандартам качества окружающей среды, установленным правительствами стран и международными институтами. Причины создавшейся неудовлетворительной ситуации кроются среди нескольких факторов, таких как эксплуатация природных ресурсов (например, рыболовство), загрязнение окружающей среды (выбросы биогенных элементов и вредных веществ), физическая модификация среды обитания, вселение чужеродных видов и изменение климата.

Загрязнение излишними биогенными элементами (в основном соединениями азота и фосфора) — то есть обогащение морской среды питательными веществами — вызывает особую озабоченность. Финский залив является одним из наиболее эвтрофированных районов Балтийского моря [13].

Восточная часть Финского залива является одним из районов Балтики, испытывающих интенсивную техногенную нагрузку. На его берегах находится крупнейший для региона Санкт-Петербургский промышленно-территориальный комплекс.

В середине 90-х гг. прошлого столетия вследствие спада в промышленном и сельскохозяйственном производстве произошло некоторое уменьшение нагрузки

загрязняющими веществами и улучшение состояния экосистемы восточной части Финского залива. Однако с началом подъема производства, строительства портов нагрузка загрязняющими веществами снова возросла. Это негативно сказывается на состоянии экосистемы Финского залива.

Основной целью исследования является оценка изменения показателей эвтрофирования в Финском заливе на основе современных данных натурных наблюдений.

Особенности эвтрофикации Финского залива

Под эвтрофикацией обычно понимают повышение степени трофности (кормности) водоема, которое выражается в его обогащении органическим веществом и минеральными соединениями биогенных элементов и часто, в особенности на начальных этапах эвтрофирования, связано с увеличением биологической продуктивности водоема. Одним из основных симптомов эвтрофикации является увеличение концентрации биогенных элементов (азота и фосфора) в воде и донных отложениях [9].

Загрязнение водоемов излишними биогенными элементами повышает уровень первичной продукции: в эвтрофных водоемах возникает массовое развитие микроскопических водорослей и наблюдается «цветение» воды. Увеличение количества микроскопических водорослей уменьшает прозрачность воды. Типичное явление в высокопродуктивных водоемах — «цветение» сине-зеленых водорослей, многие виды которых являются потенциально токсичными. Эвтрофикация существенно ухудшает состояние среды обитания многих ценных пород рыб.

Повышение продуктивности водоемов увеличивает потребление кислорода на разложение органического вещества, что ведет к уменьшению содержания кислорода в воде, особенно в придонных слоях воды и/или в зимнее время. Отсутствие растворенного кислорода и образование сульфида водорода (H_2S) приводят к возникновению заморов в придонных слоях. Отсутствие кислорода вызывает активное поступление фосфора из донных отложений в воду и усиливает процесс эвтрофикации [11].

В Балтийском море основные признаки эвтрофирования были выявлены раньше, чем на других морских акваториях [2]. Однако проблема выявления причин эвтрофикации Балтики и определения соотношения между природными и антропогенными составляющими весьма сложна и до сих пор остается дискуссионной. Сложность ее решения обусловлена специфическими физико-географическими особенностями моря, приводящими к тому, что существенное значение во многих проявлениях эвтрофирования могут иметь чисто природные процессы и факторы [2]. Движущие силы, механизмы и проявления эвтрофикации в Балтийском море имеют ряд особенностей, которые можно обобщить следующим образом:

- мелководные пороги ослабляют водообмен с Северным морем и между основными бассейнами (заливами) Балтики;
- положительный водный баланс и эстуарийный тип циркуляции вод поддерживают постоянную стратификацию вод, ослабляющую вертикальный обмен;
- пониженный водообмен и долговременные тенденции природных и антропогенных воздействий определяют медленную реакцию моря на их изменения, занимающую годы и десятилетия;

- значительная долготная протяженность моря и градиенты климатических и социо-экономических условий на его водосборе приводят к существенным меридиональным градиентам в динамике экосистем и лимитирующих первичную продукцию факторов;
- глубинные слои моря спорадически подвержены возникновению бескислородных условий, частота, распространение и продолжительность которых определяются динамическим балансом между вентиляцией глубинных слоев затоками североморских вод и биохимическим потреблением кислорода на окисление органического вещества;
- изменения окислительно-восстановительных условий в глубинных слоях кардинально меняют круговорот биогенов — сероводородные зоны лишены нитратов и обогащены аммонием и фосфатами;
- азотфиксирущие сине-зеленые водоросли способны служить источником азота для системы, сопоставимым по величине с поступлением с суши и через атмосферу;
- эвтрофикация прибрежных вод, особенно на открытых побережьях, в сильнейшей степени определяется концентрациями биогенов в открытом море [8].

Особенно чувствительными к возрастающему поступлению минеральных и органических форм биогенных элементов оказываются эстуарии, нагрузка на которые формируется не только в прибрежной полосе, но и на гораздо больших площадях водосборных бассейнов. Финский залив во многих отношениях напоминает огромный бесприливной эстуарий. Учитывая то, что на его водосборном бассейне расположены густонаселенные страны с высокоразвитой промышленностью, интенсивным сельским и лесным хозяйством, естественно ожидать, что Финский залив потенциально должен быть в большей степени подвержен эвтрофированию, чем многие другие водные объекты [12].

Анализ временной изменчивости характеристик морской среды

В июле—августе 2001—2011 гг., в период комплексных исследований РГГМУ в Восточной части Финского залива, было произведено 666 измерений в фотическом и придонном слое (~40 м) в мелководном (I) и глубоководном (II) районах гидрофизических характеристик: температуры, солености; гидрохимических характеристик: растворенного кислорода, фосфора-фосфатов, азота (нитритов + нитратов); гидробиологических характеристик: хлорофилла «а» и биомассы фитопланктона. Каждый год измерения выполнялись на станциях постоянного мониторинга, однако количество станций в различные годы отличалось (табл. 1).

Для анализа выделены фотический и придонный слои. Для этих слоев выполнен статистический анализ [10] вышеперечисленных характеристик.

Температура воды. Период наблюдений (конец июля — начало августа) является временем, когда имеет место максимальный прогрев, и температура воды на поверхности достигает максимальных значений. При этом пространственное распределение средней за период 2001-2011 гг. поверхностной температуры в открытой части залива было более однородным (рис. $1, \delta$), чем в прибрежных районах. В среднем за период температура на поверхности в восточной части Финского залива составляла 19,8 °C (рис. 1,a).

Количество измерений гидрофизических и гидрохимических характеристик по годам, районам (I- мелководный, II- глубоководный) и слоям (s- фотический, b- придонный)

Период измерения			200	2001 г.			12	2002	۲.			'	2003	ı.			, ,	2004 г.	.i.				2005	ľ.				2006 г.	r.	
Место измерения	pai	район	CJ	слой	_	район		слой	_	Doorg	район	но	слой		_	район		слой		0,000	рай	район	слой	_	_	район	нс	слой	_	0.0
Характеристика	-	П	s	q	pcelo		=	s	q q	0190	_	Ξ	s	a q	0.1929		Ξ	S	- q	pcelo	_	Ξ	S	a q	pcero	_	=	S	q q	pcelo
Температура	20	12	16	16	32	28 2	20 2	24 2	24	48	22	18	20	20	40	36	28	32	32	64	45	28	37	36	73	49	34	42 4	41	83
Соленость	20	12	16	91	32	28 2	20 2	24 2	24	48	22	18	20	20	40	36	28	32	32	64	46	28	37	37	74	50	34	42 4	42	84
Фосфаты	11	9	∞	6	17	25 1	16 1	17 2	24	41	20	6	10	19	29	32	20	56	26	52	37	22	27	32	. 65	42	15	28	59	57
Нитраты	18	7	13	12	25	22 1	12 1	17 1	17	34	21	15	19	17	36	33	20	27	26	53	33	12	21	24	45	20	10	15	15	30
Водородный показатель	20	12	16	16	32	28 2	20 2	24 2	24	48	22	18	20	20	40	36	28	32	32	64	46	28	37	37	74	0	0	0	0	0
Щелочность	0	0	0	0	0	28 2	20 2	24 2	24	48	0	0	0	0	0	34	28	31	31	29	42	25	34	33	29	23	41	19	18	37
Растворенный кислород	19	12	16	15	31	28 1	19 2	24 2	23	47	21	17	18	20	38	35	28	31	32	63	4	28	35	37	72	50	32	41	41	82
Прозрачность	4	2	9	0	9	∞	9	4	0	14	7	6	16	0	16 1	10	5	15	0	15	10	3	13	0	13	=	S	16	0	91
Хлорофилл «а»	4	-	5	0	5	0	0	0	0	0	∞	∞	16	0	91	6	5	41	0	14	10	4	41	0	14	=	S	16	0	91
Биомасса фитопланктона	4	2	9	0	9		3	10	0	10	7	∞	15	0	15	6	S.	41	0	14	=	4	15	0	15	12	S	17	0	17
Период измерения			200	2007 г.			(1	2008 г.	<u>ا</u> .			`	2009 г.	٠.			, ,	2010 г.) I.				2011 г.							
Место измерения	pai	район	CŢ	слой		район		слой	_	_	район	но	слой	_	_	район	_	слой	-		рай	район	слой	_			Щ	ВСЕГО	0	
Характеристика	-	П	S	_ _	Бсего –		=	s	<u>م</u>	∟ одеод	_	Ξ	s	<u>م</u> م	 Рсего	I	Ξ	S	_ _	рсего	_	Ξ	×	a	рсего					
Температура	48	32	40	40	08	18	8 1	13 1	13	97	90	20	35	35	7 02	48	24	36	36	72	47	24	36	35	11			629		
Соленость	48	32	40	40	80	18	8	13 1	13	26	20	20	35	35	70 7	48	24	36	36	72	48	24	36	36	72			662		
Фосфаты	45	30	37	38	7.5	18	8	13 1	13	76	47	16	31	32	63 4	48	26	37	37	74	44	20	31	33	64			557		
Нитраты	36	24	30	30	09	18		13 1	13	76	46	16	31	31	7 79	48	24	36	36	72	46	20	33	33	99			509		
Водородный показатель	48	32	40	40	80	20	8	14 1	14	28	20	20	35	35	70 7	48	24	36	36	72	48	24	36	36	72			580		
Щелочность	12	10	11	11	22	20	8	14 1	14	28	50	20	35	35	7 02	48	24	36	36	72	48	24	36	36	72			478		
Растворенный кислород	48	32	40	40	80	20	8	141	41	28	50	20	35	35	70 7	48	24	36	36	72	48	24	36	36	72			655		
Прозрачность	6	9	15	0	15	6	4	13 (0	13	24	∞	32	0	32	15	4	19	0	61	10	4	41	0	14			173		
Хлорофилл а	12	9	18	0	18	6	4	13 (0	13	17	2	22	0	22	15	S	20	0	20	11	4	15	0	15			153		
Биомасса фитопланктона	11	7	18	0	18	6	4 1	13 (0	13	16	9	22	0	22	15	5	20	0	20	10	4	14	0	14			164		
																				Всего измерений за 11 лет	изм	ерен	ий	а 11 л	тет			4590		

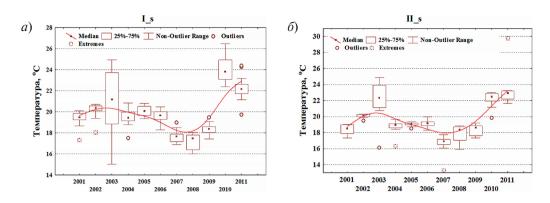


Рис. 1. Температура воды (°С) в восточной части Финского залива в фотическом слое в период 2001—2011 гг.: a — в I районе; δ — во II районе

Средние значения придонной температуры изменялись от 4,7 °C в мелководном (рис. 2, a) районе и до 3,6 °C в глубоководном (рис. 2, δ).

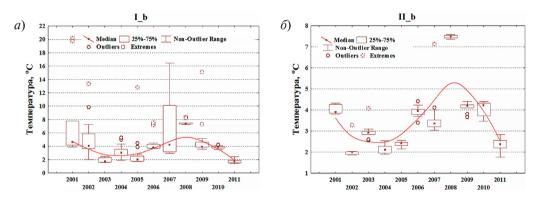


Рис. 2. Температура воды (°С) в восточной части Финского залива в придонном слое в период 2001—2011 гг.: a — в I районе; δ — во II районе

Для 2003 г. было характерно явление четко выраженного «подпора» глубинных вод, и поэтому этот год в этом смысле можно считать аномальным. 2003 г., как известно, характеризуется также затоком североморских вод в Балтийское море, и возможно, что указанная аномалия в какой-то мере является следствием этого затока, проявившимся в восточной части Финского залива [1].

Самыми холодными являлись 2007-2008 гг., когда в летний период минимальные значения температуры в фотическом слое составляли 16-17,3 °C. 2010 г. был аномально жарким, значения температуры достигали 22-24 °C.

Изменчивость придонных температур (рис. 2) имела противоположную тенденцию. С 2001 по 2004 г. температура воды снижалась, затем последующие 4 года повышалась и снова уменьшалась.

На основе данных наблюдений была исследована изменчивость температуры воды в холодном промежуточном слое (ХПС) (рис. 3). Холодный промежуточный слой Балтийского моря — это сезонное явление; он отчетливо выделяется со своей аномально низкой температурой на глубинах 40—60 м в теплое время года в глубоководных районах моря. Во временном ходе температуры воды в ХПС четко прослеживается тенденция роста, начиная с 2002 г., сменившаяся резким понижением температуры в связи с хололными зимами 2010—2011 гг.

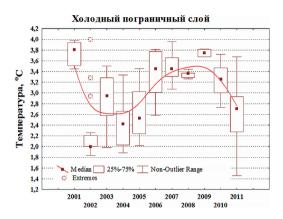


Рис. 3. XПС (°C) в восточной части Финского залива на станциях 26F-29F, 34F-36F, 4UGMS в период 2001-2011 гг.

Солёносты. Пространственное распределение солёности на поверхности восточной части Финского залива меняется от года к году гораздо менее заметно, чем температура. Наиболее заметным является осолонение воды в 2003 г., связанное с затоком североморских вод.

В мелководном районе значения солёности меньше, нежели в глубоководном, что объясняется распреснением за счет впадающих рек. В придонном слое осредненная за период 2001—2011 гг. солёность увеличивается в западном направлении от 5,3 до 6,4 ‰. В более глубокой западной части акватории прослеживался проникновение вод с солёностью свыше 7 ‰, что находится в соответствии с явлением «подпора». Можно сказать, что это явление оказывает влияние на общий фон солёности в большей части рассматриваемой акватории Финского залива, приводя к его повышению на глубинах, а также на поверхности на участках, подверженных воздействию апвеллинга [3].

Прозрачность. Показатель прозрачности воды непосредственно связан с процессами эвтрофирования водоемов, так как в результате этих процессов за счет развития фитопланктона происходит увеличение содержания в воде взвешенных веществ, в том числе и хлорофилла, и, как следствие, уменьшение прозрачности воды. В период с 2001 по 2011 г. прозрачность воды по диску Секки закономерно увеличивалась от Невской губы к внешнему глубоководному району, в среднем изменяясь от 1,3 до 5,6 м. Однако четко выраженной тенденции изменения прозрачности за период исследований не выявлено.

Содержание растворенного кислорода. Межгодовая изменчивость концентраций растворенного кислорода на поверхности в мелководном районе незначительна. В глубоководном она растет до 2006 г., а затем плавно понижается.

В придонном слое концентрация кислорода меняется незначительно в пределах 4-5 мл/л до 2008 г., затем наблюдается обширная гипоксия до 1,9 мл/л в 2010 г., что обусловлено аномальными гидрометеорологическими условиями 2010 г.: жарким летом и суровой зимой (рис. $4, a, \delta$).

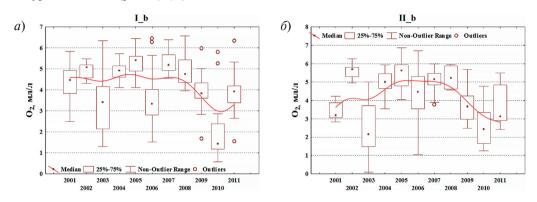


Рис. 4. Растворенный кислород (мл/л) в придонном слое в восточной части Финского залива в период 2001-2011 гг.: a- в I районе; b- во II районе

Наблюдающийся во второй половине периода наблюдений максимальный прогрев обусловливает уменьшение концентрации кислорода.

Для вертикального распределения абсолютного и относительного содержания кислорода во второй половине лета 2003 г. характерно распространение зоны дефицита кислорода с запада на восток, причиной которому явилось значительное по пространству вторжение придонных вод из открытой западной части залива, обусловленное интенсивным затоком североморских вод в Балтику. Последствием этих процессов явилось заполнение придонных горизонтов района I водой с повышенной солёностью и с низкой — менее 3—4 мл/л концентрацией кислорода.

Биогенные элементы. Пространственное изменение фосфатов на поверхности за исследуемый период достаточно незначительно и колеблется от 0 до 10 мкг/л (рис. $5, a, \delta$). В придонном слое их содержание увеличивается от мелководной к глубоководной части Финского залива и составляет в среднем от 54 до 86 мкг/л (рис. $6, a, \delta$).

Несмотря на снижение фосфорных нагрузок в 1,25 раза, начиная с 2005 г., по данным ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» [5], в фотическом слое наблюдается хорошо выраженная тенденция на увеличение концентрации фосфатов, что свидетельствует о значительном вкладе внутриводоемных процессов в биогеохимический круговорот фосфора в восточной части Финского залива.

В придонном слое происходит накопление фосфатов. Интенсивность этого процесса зависит главным образом от степени развития стратификации вод и кислородных условий у дна. В придонном слое локальный минимум отмечался в 2007—2008 гг., что

объясняется высоким содержанием растворенного кислорода у дна (см. рис. 6). Кроме того, на режим фосфатов придонного слоя оказывают влияние затоки вод повышенной солёности из открытой части залива. Такая ситуация, например, наблюдалась в августе 2003 г., когда концентрация фосфатов во внутреннем эстуарии превышала среднемноголетнюю более чем в 2,5 раза [6].

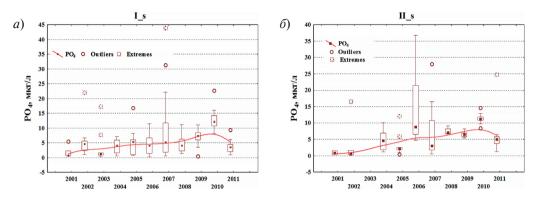


Рис. 5. Фосфаты (мкг/л) в фотическом слое в восточной части Финского залива в период 2001-2011 гг.: a- в I районе; b- во II районе

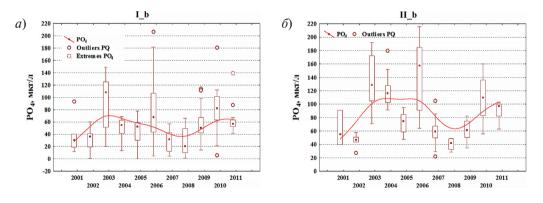


Рис. 6. Фосфаты (мкг/л) в придонном слое в восточной части Финского залива в период 2001-2011 гг.: a- в I районе; b- во II районе

Таким образом, в придонном слое межгодовая изменчивость концентраций фосфатов весьма значительна по сравнению с изменчивостью в поверхностном слое.

Азот является элементом, лимитирующим первичную продукцию в открытом районе (II) восточной части Финского залива. Поэтому содержание нитритов и нитратов на поверхности незначительно. Среднемноголетние концентрации на поверхности изменяются в узком диапазоне значений: от 5,9 до 12,0 мкг/л. Максимальная концентрация азота за период осреднения отмечалась в 2009 г. в обоих районах (рис. $7, a, \delta$).

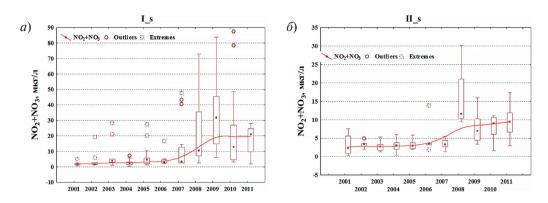


Рис. 7. Нитраты (мкг/л) в фотическом слое в восточной части Финского залива в период 2001—2011 гг.: a — в I районе; δ — во II районе

В придонных слоях происходит накопление обеих форм минерального азота. На графике многолетнего распределения на придонном горизонте довольно четко выделяется область максимальных концентраций азота в 2009 г. Максимальные концентрации в придонном слое составляют 242,2-275,5 мкг/л (рис. $8,a,\delta$).

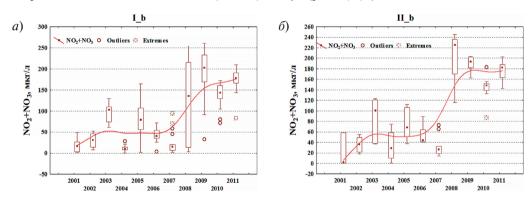


Рис. 8. Нитраты (мкг/л) в придонном слое в восточной части Финского залива в период 2001—2011 гг.: a — в I районе; δ — во II районе

Заток придонных вод из открытой части залива в августе 2003 г. привел к увеличению концентрации этих минеральных форм азота под галоклином.

Хлорофилл «а». Содержание фотосинтетических пигментов является важным показателем эвтрофированности водоема и тесно связано с прозрачностью воды. Наибольшие величины концентраций хлорофилла «а» в верхнем перемешанном слое наблюдались в мелководном районе, где они достигали в среднем 6,6 мкг/л, в 2004 г. его содержание составляло в среднем 12 мкг/л (рис. 9, a). В глубоководном районе среднее содержание хлорофилла «а» составляло 3,12 мкг/л, а в 2004 г. — в среднем 5,5 мкг/л (рис. 9, δ).

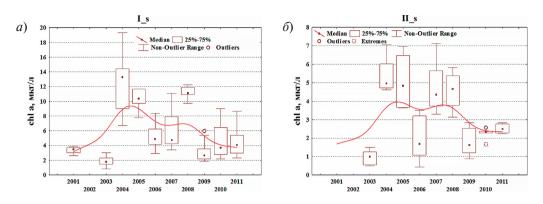


Рис. 9. Хлорофилл «а» (мкг/л) в восточной части Финского залива в период 2001-2011 гг.: a-в I районе; b-в0 II районе

Значительное уменьшение интенсивности фотосинтеза от Невской губы в направлении глубоководного района связано с эстуарными эффектами, одним из вероятных проявлений которых является увеличение солёности, что приводит к снижению видового разнообразия пресноводных зеленых и сине-зеленых водорослей и уменьшению содержания хлорофилла «а» [14].

Биомасса фитопланктона. На графиках межгодовой изменчивости биомассы фитопланктона четко прослеживается тенденция на уменьшение с 2005 г., что обусловлено увеличением в этот же период фосфатов и азота (рис. $10, a, \delta$).

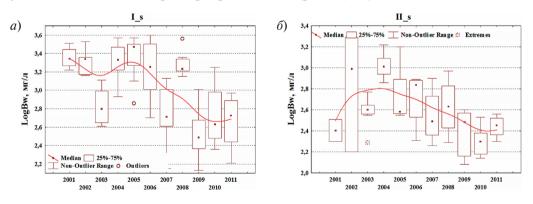


Рис. 10. Биомасса фитопланктона (мг/л) в восточной части Финского залива в период 2001-2011 гг.: a- в I районе; $\delta-$ во II районе

Максимальные значения относятся к 2005 г., когда в мелководном районе биомасса составляла 3,37 мг/л, а в глубоководном — 2,73 мг/л. Минимальные значения отмечаются в 2010 г., когда отмечались аномально высокие температуры, минимальная солёность, происходило понижение содержания растворенного кислорода и увеличение биогенных элементов.

Заключение

Проведенный анализ показал, что после 2007 г. в экосистеме Финского залива произошли заметные изменения, которые выражаются в значительном снижении биомассы фитопланктона, с одной стороны, а с другой стороны — в повышении содержания биогенных элементов как в фотическом, так и в придонном слоях. Увеличение содержания нитритного азота в придонных водах служит дополнительным подтверждением, что в экосистеме происходят серьезные изменения.

На фоне снижения фосфорных и азотных нагрузок с суши, биомасса фитопланктона и концентрация хлорофилла «а» уменьшаются, а концентрация биогенных элементов растет. Согласно результатам проведенного корреляционного анализа наибольший вклад в уменьшение биомассы фитопланктона вносит распреснение исследуемой акватории. Вместе с тем, могут быть и иные факторы, приводящие к заметным изменениям в экосистеме залива, такие как изменение климата [4] и воздействие видов-вселенцев [7].

Таким образом, при разработке рекомендаций по улучшению экологического состояния залива необходимо учитывать влияние климатических и биотических факторов.

Литература

- 1. *Аверкиев А.С., Ерёмина Т.Р., Исаев А.В.* Влияние затока Североморских вод на экосистему Финского залива // Сб. мат. конф. «Аква-терра—2004». СПб., 2004. С. 141—145.
- 2. Герлах С.А. Загрязнение морей: диагноз и терапия. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 263 с.
- 3. *Ерёмина Т.Р., Исаев А.В.* Анализ изменчивости гидрофизических и гидрохимических показателей в восточной части Финского залива // Мат. итог. сес. уч. сов. РГГМУ. СПб., 2004. С. 34—36.
- Ерёмина Т.Р., Исаев А.В., Рябченко В.А. Оценка и прогноз тенденций в эволюции экосистемы восточной части Финского залива при различных сценариях изменения биогенной нагрузки в будущем климате // Учен. зап. РГГМУ. 2014. № 36. С. 118—127.
- 5. Защита Балтийского моря [Электронный ресурс]. URL: http://www.vodokanal.spb.ru/kanalizovanie/ekologiya baltijskogo morya (дата обращения: 12.07.2016).
- 6. *Исаев А.В.* Количественные оценки пространственно-временной изменчивости абиотических характеристик экосистемы восточной части Финского залива на основе данных наблюдений и математического моделирования: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2010. С. 21.
- Максимов А.А., Ерёмина Т.Р., Ланге Е.К. и др. Режимная перестройка экосистемы восточной части Финского залива вследствие инвазии полихет Marenzelleria arctia // Океанология. 2014. Т. 54. № 1. — С. 52–59.
- Савчук О.П. Исследования эвтрофикации Балтийского моря // Труды ГОИН. 2005. Т. 209. С. 272—285.
- 9. *Терзиев Ф.С., Рожков В.А., Смирнова А.И.* Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. III. Балтийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.
- Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд.: учебник. М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. — 512 с.
- 11. *Эвтрофикация*: Информационный бюллетень [Электронный ресурс]. URL: http://www.prestobalticsea. eu (дата обращения: 14.11.2015).

ОКЕАНОЛОГИЯ

- 12. Андерсен Э.Х., Паулак Дж. Биогенные вещества и эвтрофикация в Балтийском море: причины, последствия, решения [Электронный ресурс] // Парламентская конф. Балтийского моря: Отчет Совета Министров Северных стран. Дания, Копенгаген. 2007. URL: http://www.bspc.net/file/show/95 (дата обращения: 14.11.2015).
- Eutrophication in the Baltic Sea An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region // Baltic Sea Environment Proceedings No. 115B, HELCOM. — 148 p.
- 14. *Eremina T., Ershova A., Lange E.* Indicators of eutrophication in the eastern Gulf of Finland: long-term trends and variability // Abstract book of 10th Baltic Sea Science Congress. Riga, Latvia. 2015. P. 215.

Работа выполнена в рамках осуществления научной деятельности по базовой части государственного задания № 2014/166 Министерства образования и науки РФ.