

Среда обитания водных
биологических ресурсов

УДК 581.526.325

**Мониторинг состояния фитопланктона
Лужской губы Финского залива в условиях
природного и антропогенного воздействий***О.А. Ляшенко¹, А.П. Педченко², О.Н. Сулопарова³*

¹ Национальный исследовательский университет ИТМО (ФГАОУ ВО «Университет ИТМО»), Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

³ Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН (ФГБУН «НИЦЭБ РАН»), г. Санкт-Петербург

Хроническое воздействие гидротехнических работ, а также других видов антропогенного воздействия, привело к значительной техногенной трансформированности экосистемы Лужской губы — залива Балтийского моря второго порядка, особенно акватории расположения Морского торгового порта Усть-Луга. Состав и уровень развития фитопланктона, как основного первичного продуцента водных экосистем, был исследован при проведении мониторингов водных биологических ресурсов Лужской губы в связи со строительством портовых сооружений. Исследования фитопланктона проводили в 2005–2018 гг. в различные сезоны безледного периода в районах проведения гидротехнических работ и на прилегающих акваториях губы. Максимальные количественные показатели развития фитопланктона отмечались в весенний период, по биомассе преимущественно доминировали диатомовые и динофитовые. Летом биомасса была, в основном, ниже весенней, в ней возросла доля цианопрокариот, в отдельные годы — криптофитовых и зелёных, осенью биомасса относительно летней понижалась, доминировали цианопрокариоты и криптофитовые. Отмечено, что при значительных межгодовых вариациях в каждый из периодов сезонной сукцессии количественные показатели развития фитопланктона находились в пределах величин, ранее отмечаемых для Лужской губы. Влияния потепления вод Финского залива как на количественное развитие фитопланктона, так и на состав его доминирующего комплекса не прослеживалось. Существенных различий количественного развития и состава доминирующего комплекса фитопланктона в районах гидротехнических работ и прилегающих акваторий не наблюдалось. Средние за период сезонных наблюдений величины биомассы фитопланктона преимущественно характеризовали акваторию губы как мезотрофную. Отсутствие наглядных проявлений влияния гидротехнических работ на фитопланктон Лужской губы свидетельствует о стабильном состоянии первичного продуцента её экосистемы и сохранении продукционного потенциала кормовой базы рыб.

Ключевые слова: Лужская губа, фитопланктон, сезонная сукцессия, доминанты, гидротехнические работы, температура воды.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-179-149-163

ВВЕДЕНИЕ

Лужская губа — залив Балтийского моря второго порядка, имеющий высшую рыбохозяйственную категорию. С 1998 г. в нём проводятся гидротехнические работы, связанные со строительством Морского торгового порта Усть-Луга, официальное открытие которого состоялось в 2001 г. Однако, антропогенная нагрузка на экосистему Лужской губы с этого момента не уменьшилась: до настоящего времени продолжают гидротехнические работы различного характера (дноуглубление, строительство новых терминалов, помещение изъятых грунтов в подводные отвалы), увеличивается трафик движения судов, объём операционных процессов в порту и на прилегающих акваториях и территориях. В наибольшей степени это касается юго-восточной части губы, которую в полной мере можно считать техногенно трансформированной.

Фитопланктон — основной первичный продуцент морских экосистем, его биомасса является основой для формирования кормовой базы водных биологических ресурсов. Исследование экотопических группировок гидробионтов, имеющих определяющее значение для формирования кормовой базы рыб, позволяет получить информацию о перспективах изменения рыбопродуктивности исследуемой акватории. Результаты оценки количественного развития и межгодовой динамики фитопланктона, полученные в ходе мониторинга состояния водных биологических ресурсов в условиях многолетнего техногенного воздействия, а также климатических изменений, используются для прогнозных оценок рыбопродуктивности залива.

Исследования влияния гидротехнических работ на планктонные водоросли [Кайгородов, 1979; Лаврентьева, Суслопарова, 2006; Максимова, 2006; Никулина, 2014] показали, что основным фактором, отрицательно влияющим на фитопланктон, может быть значительное увеличение содержания взвешенных веществ, что приводит к существенному уменьшению прозрачности воды и сокращению толщины фотического слоя. Взвешенные частицы оказывают травмиру-

ющее действие на нитчатые, ценобиальные и колониальные формы водорослей. Поступающие из донных отложений в водную толщу соединения азота, фосфора, некоторых микроэлементов могут стимулировать развитие планктонных водорослей, а токсичные вещества различного состава — оказывать угнетающее действие на их развитие. В целом можно сказать, что структура и уровень количественного развития фитопланктона в данных условиях является интегральным результатом этих разнонаправленных воздействий. В то же время планктонные сообщества после воздействия гидротехнических работ достаточно быстро восстанавливают свою структуру и функционирование.

Исследования фитопланктона в 2005–2018 гг. проводились в период наиболее интенсивного потепления вод Финского залива, который регистрируется с 1999 г. [Педченко, Бойцов, 2019]. Этим определена значимость оценки влияния повышенного температурного фона на состояние фитопланктона в границах акватории наблюдений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материалами для работы послужили данные мониторингов водных биологических ресурсов, которые выполнялись в Лужской губе Финского залива в безлёдные периоды 2005–2018 гг.

При выделении основных сезонов в безлёдный период учитывали, что биологические весна, лето и осень имеют отличные от календарных временные интервалы: весенний период развития планктонных водорослей в Финском заливе, как правило, приходится на май-июнь, летний — на июль-сентябрь, осенний — на октябрь-ноябрь, однако, возможны изменения сроков наступления и окончания каждого из периодов сезонной сукцессии в зависимости от погодных условий года. В данной работе основные сезоны в период с мая по ноябрь приняты в соответствии с указанными выше временными интервалами.

Основной объём данных был получен в летние и осенние месяцы, а сезонную сукцессию сообщества планктонных во-

дорослей в течение трёх основных сезонов безлёдного периода удалось проследить в течение 2009–2012, 2015 и 2017 гг.

Станции отбора проб были установлены в районе выполнения гидротехнических работ, на акватории подводного отвала и вне района, испытывающего техногенное воздействие. В то же время, с учетом масштабов гидротехнических работ в Лужской губе, характеристика станций как находящихся вне влияния проведения работ, является в значительной степени условной.

Пробы фитопланктона отбирали батометром Паталаса в трофогенном слое (до глубины, соответствующей утроенной прозрачности по диску Секки) через каждый метр. Пробу фиксировали раствором Люголя с добавлением уксусной кислоты и формалина, концентрировали фильтрационным методом, используя мембранные фильтры с диаметром пор 0,8–1,2 мкм. Подсчёт водорослей проводили в камере Нажотта объёмом 0,01 мл. Биомассу фитопланктона рассчитывали счётно-объёмным методом на основании размеров водорослей, определяемых в процессе камеральной обработки [Методика изучения..., 1975]. Таксономический состав фитопланктона определяли в процессе обработки количественных проб. Доминирующими считали систематические группы водорослей и их отдельные таксоны, составляющие не менее 10% от общей численности или биомассы фитопланктона.

Для оценки характера сезонной сукцессии, уровня количественного развития и структуры фитопланктона преимущественно использована биомасса как показатель, наиболее адекватно отражающий концентрацию вещества и энергии в первичном звене трофических сетей водных экосистем.

Концентрация взвешенных веществ в Лужской губе в период исследований варьировала в широких пределах. Так, в 2009 г. при наиболее интенсивных гидротехнических работах она достигала 80 г/м³, а в 2014 г. составляла в поверхностном слое не более 10 г/м³ [Царькова, 2016]. В 2013–2015 гг. концентрация взвешенных веществ в поверхностном слое, где они наиболее значимы для развития планктонных водорослей, изменялась

от 2,0 до 10,3 г/м³, что не предполагало отрицательного воздействия на фитопланктон. В 2017 г. на большей части исследованной акватории значения данного показателя также были невысоки и преимущественно варьировали от 2,6 до 5,3 г/м³, в то время как на отдельных станциях в районе порта и подводного отвала достигали 37,8 и 47,4 г/м³.

Для оценки межгодовых изменений температуры воды в районе Лужской губы были использованы ее среднемесячные значения за 1900–2017 гг. в узле регулярной сетки с шагом 2°×2° по широте и долготе с центром в координатах 60° с. ш., 28° в. д. из архива [NOAA NCDC ..., 2019].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За период исследований 2005–2018 гг. в планктоне были отмечены представители 8 систематических групп водорослей: Cyanoprokaryota (цианопрокариоты, сине-зелёные водоросли, цианобактерии) [Komarek ..., 2014], Chrysophyceae (золотистые), Bacillariophyta (диатомовые), Cryptophyceae (криптофитовые), Dinophyceae (динофитовые), Xanthophyceae (желто-зелёные), Euglenophyceae (эвгленовые), Chlorophyta (зелёные).

Большинство отмеченных за указанный период исследований в Лужской губе таксонов водорослей относилось к широко распространённым эврибионтным формам преимущественно пресноводного комплекса, что характерно для фитопланктона восточной части Финского залива. В то же время в Лужской губе, как и ранее [Терешенкова, 2006; Экосистема эстуария..., 2008], отмечались водоросли, характерные для солоноватых и морских вод, — представители родов *Rizosolenia*, *Chaetoceros*, *Cylindrotheca*, *Eutreptiella*, *Peridiniella*, *Nodularia* и др. Присутствие и количественное развитие этих водорослей в Лужской губе в значительной степени зависит от гидрологических условий года, обуславливающих уровень поступления в залив вод с повышенной солёностью.

Развитие фитопланктона в весенний период во все годы исследований характеризовалось максимальными величинами его численности и биомассы (рис. 1) при зна-

чительной вариабельности их на отдельных станциях: $167 \times 10^6 - 72758 \times 10^6$ кл/м³ и 0,04–14,21 г/м³. Численно преобладали цианопрокариоты, преимущественно *Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Pseudanabaena limnetica* и диатомовые *Skeletonema costatum*, *Cyclotella atomus*.

Летом численность и биомасса планктонных водорослей изменялись в диапазонах соответственно $231 \times 10^6 - 56334 \times 10^6$ кл/м³ и 0,01–5,12 г/м³. В количественных показателях развития фитопланктона заметно возрастала доля цианопрокариот, в отдельные годы — также криптофитовых и зелёных водорослей (рис. 2). Биомасса фитопланктона в годы сезонных наблюдений летом была преимущественно ниже, чем в весенний период (рис. 1).

Основными доминантами по численности были цианопрокариоты *P. agardhii* и *Aph. flos-aquae*, они же входили в состав основ-

ных доминантов по биомассе, наряду с *P. limnetica*, водорослями родов *Cryptomonas*, *Stephanodiscus*, а также *S. costatum* (табл. 1).

В осенний период сезонной сукцессии фитопланктона количественные показатели его развития в среднем были значительно меньше весенних и летних, численность варьировала в пределах $124 \times 10^6 - 41930 \times 10^6$ кл/м³, биомасса — 0,02–3,70 г/м³.

Доминантами по численности были преимущественно цианопрокариоты: *Aph. flos-aquae*, *P. limnetica*, *Limnothrix redekei*, *P. agardhii*, *Woronichinia compacta* и др., а также зелёная водоросль *Monoraphidium contortum*.

По биомассе основными доминантами были *Aph. flos-aquae*, *Actinocyclus sp.*, *Chroomonas acuta* и водоросли рода *Cryptomonas*.

В летне-осенний период 2009 г. в состав доминантов входила *Nodularia spumigena* — вид, характерный для солоноватоводных и морских акваторий.

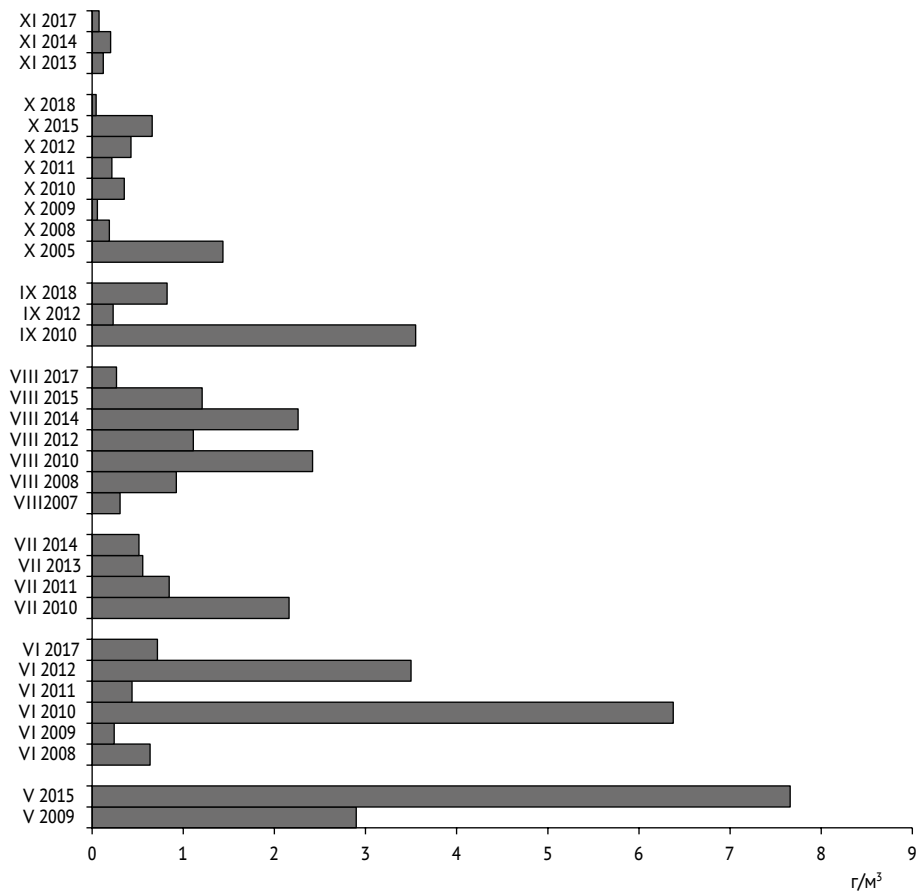


Рис. 1. Изменения биомассы фитопланктона акватории Лужской губы в 2005–2018 гг.

Таблица 1. Доминанты фитопланктона по биомассе Лужской губы в 2005–2018 гг.

Систематические группы, таксоны	2009, 2015			2008, 2011, 2017			2007, 2009, 2010, 2011, 2014			2008, 2010, 2012, 2013, 2015, 2017			2010, 2012, 2018			2005, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015			2013, 2014		
	V	V	V	VI	VI	VI	VII	VII	VII	VIII	VIII	VIII	IX	IX	IX	X	X	X	XI	XI	XI
	P	O	BP	P	O	BP	P	O	BP	P	O	BP	P	O	BP	P	O	BP	P	O	BP
Цyanobacteria (Cyanoprokaryota)																					
<i>Anabaena flos-aquae</i> Bréb.ex Born. & Flauh. 1886										*	*										
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet et Flah. 1886				*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>A.gracile</i> Lemm. 1907							*					*	*			*					
<i>Limnothrix planctonica</i> (Wolosz.) Meffert. 1988				*												*		*			
<i>L. redekei</i> (Goor) Meffert. 1988:									*							*	*	*			
<i>Aphanocapsa holsatica</i> (Lemm.) G. Cronb.& Kom. 1994				*																	
<i>Aph.incerta</i> (Lemm.) G. Cronb.& Kom. 1994				*												*					
<i>Nodularia spumigena</i> Mert. ex Born. & Flah. 1888									*								*	*		*	
<i>Oscillatoria</i> sp.						*	*	*	*	*	*	*									
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gom.) Anagn. & Kom. 1988						*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemm.) Kom. 1974				*		*			*	*	*	*			*	*	*				
<i>Snowella lacustris</i> (Chod.) Kom. & Hind. 1988																*					
<i>Woronichinia compacta</i> (Lemm.) Kom. & Hind. 1988										*						*				*	*
Bacillariophyta																					
<i>Actinocyclus</i> sp.							*	*				*	*			*	*	*	*	*	*
<i>Asterionella formosa</i> Hass. 1850				*																	*
<i>Cyclotella atomus</i> Hust. 1937				*						*	*	*									
<i>Cyclotella</i> sp.							*								*	*	*	*	*	*	*
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenb.) Reim. & J.C. Lewin 1964												*			*						
<i>Diatoma tenue</i> C. Ag. 1812	*			*								*			*						
<i>Melosira arctica</i> Dick. 1852				*			*														
<i>M. varians</i> C. Ag. 1827															*						*
<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cleve 1873	*			*			*	*		*		*			*	*	*	*	*	*	*
<i>Stephanodiscus agassizensis</i> (?) Håk. & Kling 1989																				*	
<i>S.hantzschii</i> Grun. in Cleve & Grun. 1880													*		*			*			
<i>Stephanodiscus</i> sp.	*	*	*				*						*		*	*	*	*	*	*	*
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grun.) Mereschk. 1902				*																	
Cryptophyta																					
<i>Chroomonas acuta</i> Uterm. 1925									*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*
<i>Cryptomonas caudata</i> (?) J. Schiller 1926										*		*			*	*	*	*			
<i>Cryptomonas</i> sp.sp.				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Систематические группы, таксоны	2009, 2015			2008, 2011, 2017			2007, 2009, 2010, 2011, 2014			2008, 2010, 2012, 2013, 2015, 2017			2010, 2012, 2018			2005, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015		
	V	V	V	VI	VI	VI	VII	VII	VII	VIII	VIII	VIII	IX	IX	IX	X	X	X
	P	O	BP	P	O	BP	P	O	BP	P	O	BP	P	O	BP	P	O	BP
Dinophyceae																		
<i>Dinophysis</i> sp.									*									*
<i>Glenodinium</i> sp.				*														*
<i>Gymnodinium</i> sp.	*						*						*					
<i>Peridinium aciculiferum</i> Lemm. 1900	*	*	*	*		*	*	*										
<i>Peridiniella catenata</i> (Lev.) Balech 1977	*																	
Euglenophyceae																		
<i>Eutreptiella</i> sp.				*	*	*							*	*	*	*	*	*
Chlorophyta																		
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Kom. — Legn. 1969				*	*	*	*		*					*				
<i>Schroederia setigera</i> (Schröd.) Lemm. 1898												*						

P — акватория проведения дноуглубительных и намывных работ; O — подводный отвал; BP — акватории, находящиеся вне зон работ.

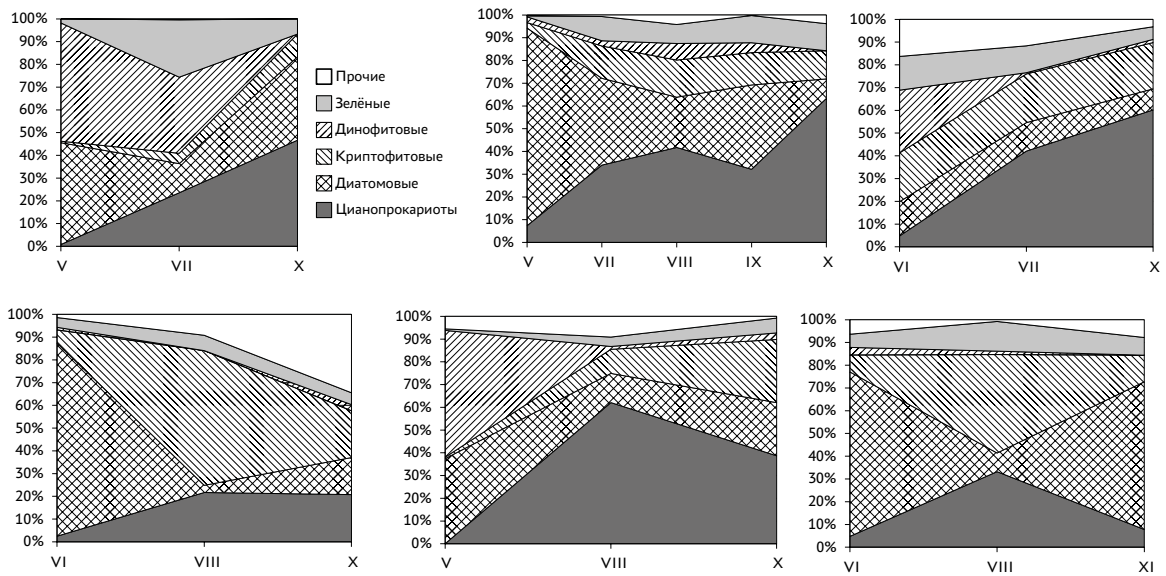


Рис. 2. Структурные изменения биомассы сообщества планктонных водорослей Лужской губы в безлёдные периоды 2009–2012, 2015 и 2017 гг.

С 2011 по 2014 гг. в состав доминирующего по биомассе комплекса входила эвгленовая *Eutreptiella* sp., интенсивное развитие которой в морских водах связывают с поступлением органических веществ со сточными водами [Стоник, Селина, 2001; Бегун, 2004]. Ранее её доминирование в фитопланктоне этой акватории отмечалось в 2007–2008 гг.

[Кийко и др., 2008, 2009], авторы объясняли это локальным поступлением органических веществ в водную толщу в результате дноуглубительных работ, однако, по нашим данным, она доминировала в фитопланктоне на всех исследованных акваториях (табл. 1). В последующие годы эта водоросль отмечалась в планктоне единично.

В то же время *P. agardhii*, интенсивную вегетацию которой традиционно связывают с поступлением органических веществ и повышением содержания соединений азота [Трифонова, 1990; Экосистема эстуария..., 2008], сохраняет доминирующее положение в комплексе цианопрокариот и фитопланктона в целом (табл. 1), несмотря на невысокие концентрации соединений азота, а также отрицательный тренд поступления азота с водами основного притока Лужской губы — р. Луги [Качество морских..., 2015, Обзор состояния..., 2017; Фрумин, Каретникова, 2017].

Биомасса зелёных водорослей, в основном мелких хлорококковых — наиболее благоприятного корма для тонких фильтраторов зоопланктона в годы наблюдений была преимущественно невысока: наибольшее их содержание в биомассе летнего фитопланктона наблюдалось в 2009 г. В отдельные годы значительную долю биомассы летнего фитопланктона составляли криптозооиды (рис. 2), которые также считаются благоприятным кормом для зоопланктона [Klaveness, 1989].

Средние за период сезонных наблюдений величины биомассы фитопланктона составили от 0,5 г/м³ в 2011 г. до 2,91 г/м³ в 2010 г. и, преимущественно, были на уровне, характерном для мезотрофных вод [Трифонова, 1990].

Анализ межгодовых колебаний температуры воды на поверхности Балтийского моря за период 1900–2017 гг. [Педченко, Бойцов, 2018] выявил присутствие линейного восходящего тренда, который вносит 44% в его общую изменчивость. Результаты исследований показали, что современное потепление вод Балтийского моря началось после 1987 г. Установлено [Педченко, Бойцов, 2019], что в многолетних изменениях средней за май-октябрь температуры воды на поверхности Финского залива за период с 1949 по 2018 гг. также присутствует линейный положительный тренд, однако, его вклад в изменчивость исходных данных был несколько выше и составил 47% (рис. 3). Анализ периода потепления вод Финского залива показал, что средняя температура воды на поверхности за 1988–2018 гг. превысила климатическую норму (1961–1990 гг.) на 1,1 °С. В период умеренного потепления, с 1988 по 1998 гг., средняя положительная аномалия температуры составила 0,37 °С. В последующие 19 лет потепление вод Финского залива было более интенсивным, о чем свидетельствует увеличение средней положительной аномалии температуры воды до 1,5 °С относительно климатической нормы. Расчёты уравнения восходящего тренда в современную фазу потепления воды Финского залива Балтийского моря 1988–2017 гг. показали, что тем-

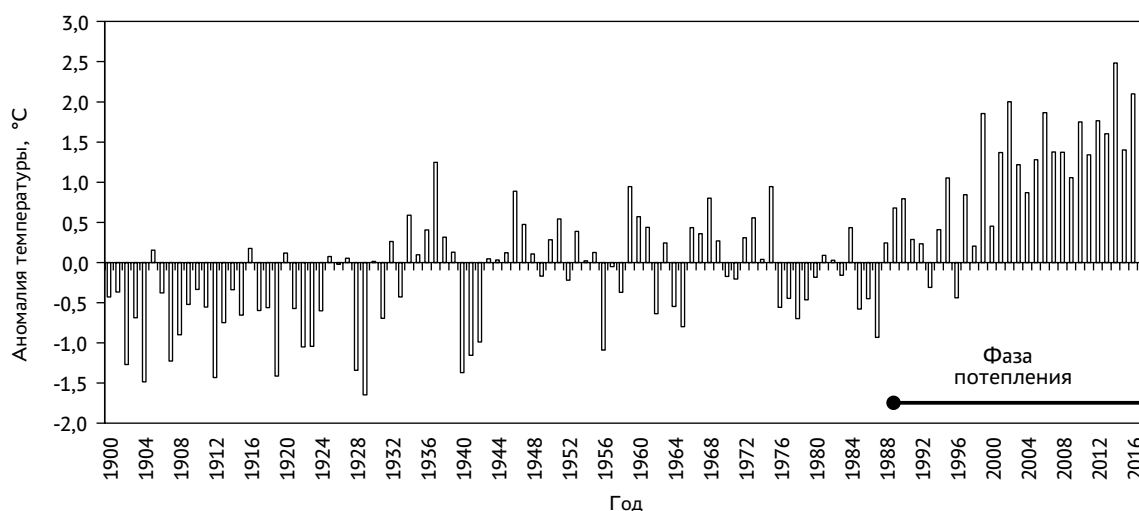


Рис. 3. Изменение средней за май-октябрь аномалии температуры воды Балтийского моря на акватории площадью 2° × 2° с центром в координатах 60° с. ш., 28° в. д. в 1900–2017 гг.

пы повышения теплозапаса вод в заливе составили $0,68\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$.

Очевидного влияния наметившегося тренда повышения среднегодовых температур воды Финского залива на количественное развитие фитопланктона и на состав его доминирующего комплекса не прослеживалось, что вполне объяснимо как многокомпонентностью действующих на развитие планктонных водорослей факторов, так и составом его доминирующего комплекса, слагаемого эврибионтными видами с достаточно широкой зоной температурного оптимума. Не наблюдалось также взаимосвязи изменения общей биомассы фитопланктона и фоновой температуры в ходе его сезонной сукцессии, что связано с преимущественной вегетацией в каждый сезон водорослей, наиболее адаптированных к типичным для него температурам воды. Количественные показатели развития фитопланктона при значительных межгодовых вариациях в среднем за безлёдный период 2009–2017 гг. находились в пределах величин, ранее отмечаемых для Лужской губы [Лаврентьева и др., 1999, 2001; Терешенкова, 2006].

Нивелировать возможное стимулирующее влияние температурного фактора могло также уменьшение количества поступающих в Лужскую губу биогенных элементов со стоком р. Луга [Фрумин, Каретникова, 2017]. Функционирование порта Усть-Луга в настоящее время не предполагает значительного эвтрофирующего воздействия на её акваторию.

Характер зависимости биомассы отдельных систематических групп водорослей от фоновой температуры отражает их преимущественное развитие на различных этапах сезонной сукцессии (рис. 2). Установлена достоверная корреляция температуры воды и биомассы цианопрокариот, криптоноад и зелёных водорослей (соответственно $r = 0,53$, $0,57$ и $0,35$ при $p = 0,01$), в то время как для динофлагеллят зависимость биомассы от температуры отрицательна ($r = -0,41$ при $p = 0,01$).

Различия состава и количественного развития фитопланктона в районах проведения гидротехнических работ и на прилегающих

акваториях губы отмечались в единичных случаях и, вероятнее всего, были связаны с непродолжительным временным интервалом между проведением работ и отбором проб. Так, в октябре 2005 г. на акватории подводного отвала было отмечено уменьшение количественных показателей развития цианопрокариот наряду с увеличением доли криптофитовых. Снижение количественных показателей развития планктонных водорослей в районе работ наблюдалось также в 2008 г. [Ляшенко, 2014]. В большинстве случаев подобные различия носили, скорее, характер обычных пространственных вариаций распределения планктонных водорослей по акватории водоёма.

В среднем по данным наблюдений 2005–2018 гг. биомасса фитопланктона на акватории проведения работ во все сезоны в безлёдный период существенно не отличалась от аналогичных показателей на акватории вне зоны работ (табл. 2). Вклад основных систематических групп фитопланктона в формирование общей биомассы варьировал, однако, в целом, не отражал представлений об угнетении развития нитчатых форм цианопрокариот в районе проведения дноуглубительных работ и стимуляции развития миксотрофных водорослей на участках отвала грунта по сравнению с прилегающими акваториями (рис. 4) — «эффекта удобрения», отмечаемого ранее [Лаврентьева, Суслопарова, 2006]. Предположительно, это связано как с значительными временными интервалами между проведением гидротехнических работ и отбором проб, так и с достаточной условностью определения акватории как находящейся вне зоны работ ввиду проведения работ различными организациями на ограниченной акватории юго-восточной части губы.

Состав доминантов фитопланктона по биомассе не показал преимущественного развития определённых видов водорослей в районах проведения гидротехнических работ и вне зоны их проведения: доминирующие в определённый сезон виды нередко преобладали на всех упомянутых акваториях (табл. 1).

В период интенсивного проведения гидротехнических работ в Невской губе от-

Таблица 2. Средние величины биомассы фитопланктона (г/м³) Лужской губы в различные сезоны на акватории дноуглубительных работ (Р), подводном отвале (О) и акваториях вне зоны проведения работ (ВР) в 2005–2018 гг.

Р	О	ВР
Весна		
$\frac{3,01 \pm 0,51}{0,04-13,08}$ n=51	$\frac{1,35 \pm 0,45}{0,15-5,61}$ n=12	$\frac{2,26 \pm 0,49}{0,04-14,20}$ n=36
Лето		
$\frac{1,14 \pm 0,11}{0,01-3,63}$ n=62	$\frac{1,03 \pm 0,17}{0,21-2,63}$ n=16	$\frac{1,79 \pm 0,20}{0,10-5,12}$ n=45
Осень		
$\frac{0,26 \pm 0,04}{0,03-1,53}$ n=64	$\frac{0,54 \pm 0,19}{0,03-3,70}$ n=21	$\frac{0,32 \pm 0,06}{0,02-1,57}$ n=37

Над чертой — среднее с ошибкой; под чертой — пределы изменения.

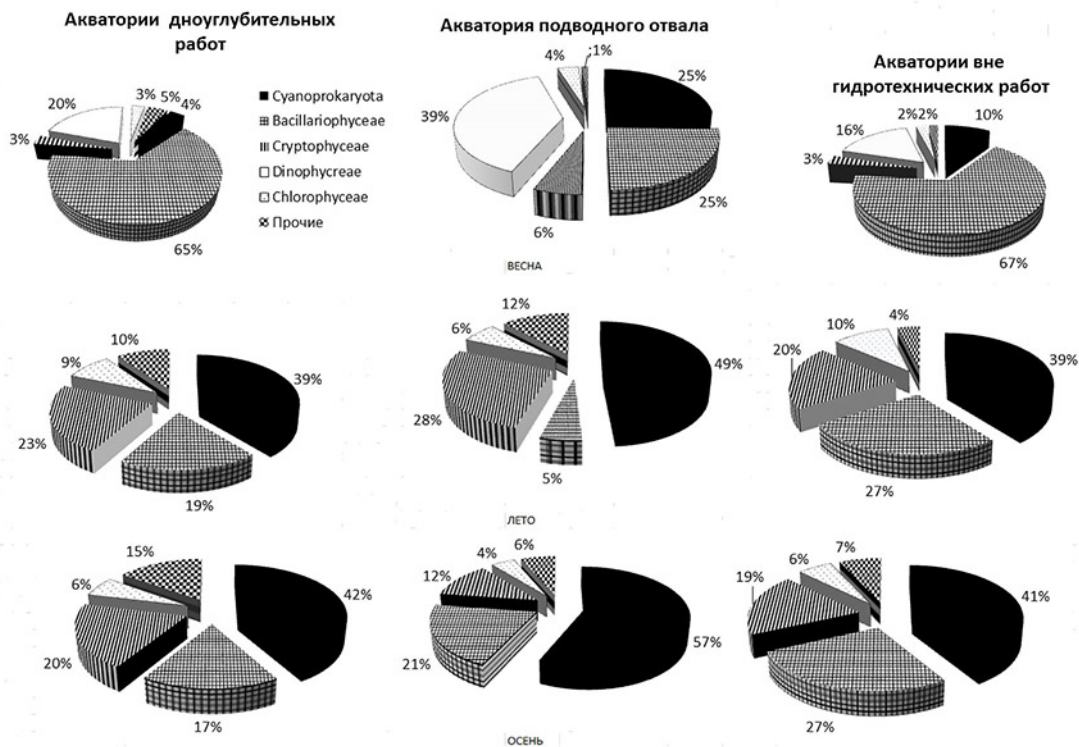


Рис. 4. Доля основных систематических групп водорослей в биомассе фитопланктона на акваториях проведения дноуглубительных работ, подводного отвала и вне зоны проведения работ в различные сезоны по данным 2005–2018 гг.

мечали уменьшение количественных показателей развития фитопланктона, а после их завершения — увеличение доли криптононад в общей биомассе [Никулина, 2017]. По нашим данным в 2008–2018 гг. среднее

содержание криптононад в биомассе фитопланктона Лужской губы варьировало от 5% в 2015 г. до 50% в 2013 г., максимум их удельного содержания приходился на 2013 и 2014 гг., и тенденции его увеличения не

прослеживалась. Различия в реакции фитопланктона на гидротехнические работы в двух заливах, вероятно, связаны как с различным масштабом и продолжительностью работ, так и с особенностями гидрологического режима их акваторий.

В то же время отмеченный факт — значительная доля криптоноад в формировании биомассы летнего фитопланктона в 2012 и 2017 гг. (рис. 2) интересен не только в связи с проблемой оценки воздействия гидротехнических работ на фитопланктон. Конкуренетоспособность криптоноад по сравнению с традиционными доминантами фитопланктона невелика, поэтому их доминирование свойственно периоду сукцессионных изменений, в который основные доминанты фитопланктона снижают свою численность, а для криптоноад расширяется экологическая ниша [Steward, Wetzel, 1986; Klaveness, 1989; Vicudo et al., 2009]. В частности, преобладание криптоноад может наблюдаться в процессе деэвтрофикации водоёма [Willen, 1987]. Аналогичный процесс может происходить в Лужской губе в связи со снижением количества поступающих в неё соединений азота [Фрумин, Каретникова, 2017].

Отсутствие наглядных признаков влияния поступления повышенных концентраций взвешенных веществ в водную толщу Лужской губы на фитопланктон, вероятно, обусловлено особенностями состава донных отложений, используемых для намыва территорий под создаваемые причалы и изымаемых при дноуглубительных работах. Основу их составляют пески, в наименьшей степени аккумулирующие загрязняющие вещества, дистанция разноса взвеси относительно невелика, а скорость её осаждения — достаточно высока, вследствие чего, по результатам проведённых исследований, в целом не выявлено серьёзных воздействий на качество природной среды акватории [Рыбалко и др., 2011].

ВЫВОДЫ

1. Фитопланктон Лужской губы в 2005–2018 гг. формировали водоросли 8 систематических групп: цианопрокариоты, золотистые, диатомовые, криптофитовые,

динофитовые, желто-зелёные, эвгленовые, зелёные. Большинство отмеченных таксонов, в том числе доминанты, принадлежали к широко распространённым эврибионтным представителям пресноводного комплекса, кроме того, присутствовали, а также входили в число доминантов, солоноватоводные и морские таксоны.

2. В весенний период сезонной сукцессии отмечались максимальные количественные показатели развития фитопланктона. Численно преобладали цианопрокариоты, по биомассе чаще всего доминировали диатомовые и динофитовые водоросли. Средняя биомасса изменялась от 0,242 до 7,66 г/м³.

3. Летом в формировании количественных показателей развития фитопланктона заметно возростала доля цианопрокариот, в отдельные годы — криптофитовых и зелёных водорослей. Биомасса летнего фитопланктона в среднем изменялась от 0,231 до 3,55 г/м³ и в годы сезонных наблюдений была преимущественно ниже весенней. Осенью основными доминантами по численности были цианопрокариоты, по биомассе — цианопрокариоты и криптоноады, средняя биомасса фитопланктона изменялась от 0,044 до 1,46 г/м³.

4. При значительных межгодовых вариациях в каждый из периодов сезонной сукцессии количественные показатели развития фитопланктона в 2005–2018 гг. находились в пределах величин, ранее отмечаемых для Лужской губы, и влияния на них интенсивного потепления вод Финского залива не прослеживалось.

5. Различия между количественным развитием и составом доминирующего комплекса фитопланктона в районах проведения гидротехнических работ и на прилегающих акваториях губы отмечались эпизодически. В большинстве случаев они соответствовали свойственной любому водоёму пространственной неравномерности распределения планктонных водорослей по акватории.

6. Средние за период сезонных наблюдений величины биомассы фитопланктона преимущественно характеризовали исследованную акваторию Лужской губы как мезотрофную.

7. Отсутствие качественных и количественных изменений фитопланктона — первичного продуцента экосистемы Лужской губы в условиях многолетнего воздействия гидротехнических работ свидетельствует о сохранении продукционного потенциала кормовой базы рыб.

ЛИТЕРАТУРА

- Бегун А.А. 2004. Фитопланктон бухты Золотой Рог и Уссурийского залива (Японское море) в условиях антропогенного загрязнения // Известия ТИНРО. Т. 38. С. 320–344.
- Кайгородов Н.Е. 1979. Влияние минеральной взвеси на гидробионтов и распределение взвешенных частиц по потоку при дноуглубительных работах // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Вып. 2. Пермская лаборатория. Рыбохозяйственные исследования водоемов Урала. С.128–131.
- Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник. 2014. 2015. М.: Наука. 156 с.
- Кийко О.А., Усенков С.М., Стогов И.А., Ланге Е.К. 2008. Результаты локального экологического мониторинга района строительства комплекса по перегрузке технической серы в Лужской губе // Сб. тез. IX Межд. экологического форума «День Балтийского моря». СПб: ООО Изд-во «Диалог». С. 312–313.
- Кийко О.А., Ланге Е.К., Усенков С.М., Стогов И.А. 2009. Изменение состояния компонентов природной среды Лужской губы Финского залива при дноуглубительных работах // Сб. тез. X межд. экологического форума «День Балтийского моря». СПб: ООО Максипринт. С. 177–178.
- Лаврентьева Г.М., Мещерякова С.В., Мицкевич О.И., Огородникова В.А., Сулопарова О.Н., Терешенкова Т.В. 1999. Гидробиологическая характеристика Выборгского залива, пролива Бьеркезунд, бухты Батарейной и Лужской губы (восточная часть Финского залива) // Финский залив в условиях антропогенного воздействия. СПб: Ин-т озера-ведения РАН. С. 211–256.
- Лаврентьева Г.М., Сулопарова О.Н., Огородникова В.А., Мицкевич О.И., Лебедева О.В., Терешенкова Т.В., Волхонская Н.И., Алексеев Г.А., Шурухин А.С. 2001. Рыбохозяйственная оценка крупнейших заливов второго порядка (Выборгский, Копорская и Лужская губы) восточной части Финского залива // Тез. докл. VIII съезда ГБО РАН. Калининград: Т. 1. С. 51–52.
- Лаврентьева Г.М., Сулопарова О.Н. 2006. Итоги рыбохозяйственных мониторингов, проводимых в восточной части Финского залива с целью оценки воздействия гидротехнических работ на гидробионтов // Сб. научн. трудов ГосНИОРХ. Вып. 333. Т. 1. С. 5–11.
- Ляшенко О.А. 2014. Фитопланктон Лужской губы Финского залива в районе проведения гидротехнических работ // Водоросли: Проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге. Мат. докл. III Межд. науч. конф. 24–29 августа 2014 г. Борок. Ярославль: Филигрань. С. 154–155.
- Максимова О.Б. 2006. Влияние повышенной мутности воды на структурно-функциональные характеристики фитопланктона // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. Вып. 333. Т. 1. С. 86–121.
- Никулина В.Н. 2014. Фитопланктон при антропогенном воздействии на примере эстуария реки Невы // Водоросли: Проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге. Мат. докл. III Межд. науч. конф. 24–29 августа 2014 г. Борок. Ярославль: Филигрань. С. 225–226
- Никулина В.Н. 2017. Фитопланктон как показатель экологического состояния эстуария реки Невы, 2011–2015 гг. // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. III Мат. Межд. конф. СПб.: Свое издательство. С. 222–226.
- Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2016 год. 2017. Росгидромет. 217 с.
- Педченко А.П., Бойцов В.Д. 2018. Долгопериодные колебания температуры воды Балтийского моря в 1900–2017 гг. // Труды II Всерос. конф. «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». СПб.: Химиздат. С. 516–519.
- Педченко А.П., Бойцов В.Д. 2019. Динамика вылова пелагических рыб в Балтийском море и Финском заливе: оценка влияния климата // Сб. мат. VIII Межд. науч.-практич. конф. «Морские исследования и образование». MARESEDU-2019. С. 337–342.
- Рыбалко А.Е., Корнеев О.Ю., Щербаков В.А. 2017. Геоэкологические аспекты дреджинга и его влияние на природную среду восточной части Финского залива // Региональная экология. № 1 (47). С. 74–84.
- Стоник И.В., Селина М.С. 2001. Видовой состав и сезонная динамика плотности и биомассы эвгленовых водорослей в заливе Петра Великого Японского моря // Биология моря. Т. 27. № 3. С. 207–209.
- Терешенкова Т.В. 2006. Сравнительная характеристика летнего фитопланктона Выборгского залива, Лужской и Копорской губ, пролива Бьеркезунд и Мелководного района восточной части Финского залива // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. Вып. 331. Т. 1. С. 37–85.
- Фрумин Г.Т., Каретникова Т.И. 2017. Динамика поступления биогенных элементов в Финский залив со стоком российских и трансграничных рек // Региональная экология, № 1 (47). С. 85–92.
- Царькова Н.С. 2016. Геоэкологический мониторинг дноуглубительных работ в морском торговом

- порту Усть-Луга. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. СПб: РГГМУ. 31 с.
- Экосистема* эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы 2008. М.: Товарищество научных изданий КМК. 477 с.
- Bicudo C.E. de M., Ferragut C., Massagardi M.R.* 2009. Cryptophyceae population dynamics in an oligomesotrophic reservoir (Ninféias pond) in São Paulo, southeast // *Brazil Hoehnea*. Vol.36. № 1. P. 99–111.
- Klaveness D.* 1991. Ecology of Cryptomonadida: first review // *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton/* C.D. Sandgren ed. New York. Cambridge Univ. Press. P. 105–133.
- Komárek J., Kaštovský J., Mareš J., Johansen J.R.* 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach // *Preslia*. № 86. P. 295–335.
- NOAA NCDC ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) Accessible via: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/version4/>. 12.10.2019.
- Steward F.J. Wetzel R.G.* 1986. Cryptophytes and other microflagellates as couples of planktonic community // *Arch. fur. Hydrob.* Bd.106. S. 1–19.
- Willen E.* 1987. Phytoplankton and reserved eutrophication in lake Malaren, Central Sweden, 1965–83 // *British Phycological J.* № 22. P. 193–208.

Поступила в редакцию 15.11.2019 г.
Принята после рецензии 10.05.2020 г.

Habitat of aquatic biological resources

The monitoring of the phytoplankton condition in the Luga Bay of the Gulf of Finland under natural and anthropogenic impacts.

O.A. Liashenko¹, A.P. Pedchenko², O.N. Susloparova³

¹ ITMO University (FSBEI HE «ITMO»), St. Petersburg Branch of FSBSI «VNIRO» (L.S. Berg «GosNIORKh»), St. Petersburg, Russia

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow, Russia

³ Saint-Petersburg Scientific-Research Center for Ecological Safety RAS (FSBIS «SRCES RAS»), St. Petersburg, Russia

The technogenic transformation of the ecosystem of the southeast part of Luga Bay water area (the second bay of the Baltic Sea) where Ust-Luga commercial seaport situated was determined by longstanding dredging, dumping and other types of anthropogenic impact. The development of phytoplankton as the main primary production former and the base of food reserve for aquatic biological resources was investigated during the monitoring of aquatic biological resources of the Luga Bay which was held due to the seaport construction. The investigation of phytoplankton content and development took part in the main seasons of the ice-free period of 2005–2018 in the water areas of dredging, dumping, and adjacent areas. The maximum values of the phytoplankton abundance and biomass were detected in spring. The main part of biomass was formed by diatoms and dinoflagellates. The summer biomass mainly was lower than in spring and the proportion of cyanoprokaryotes (in some years also cryptophytes and green) increased. In autumn the biomass decreasing was continued, cyanoprokaryotes and cryptomonads dominated. The quantitative indicators of phytoplankton development were varied from year to year in all seasons of 2005–2018 but they kept in frames of values which previously observed for the water area of the Luga Bay. The influence of the Gulf of Finland water warming on phytoplankton development was not traced. The certain differences between the quantitative development and composition of the dominant phytoplankton complex on the water areas of dredging, dumping, and adjacent areas weren't observed. The average phytoplankton biomass for the ice-free period in the most part of years corresponds to the mesotrophic state of the Luga Bay water area. There was not a significant impact of dredging and dumping on the phytoplankton of the Luga Bay which indicates the stable state of its ecosystem primary producer and the preservation of the productional resource of the fish food base.

Keywords: Luga Bay, phytoplankton, seasonal succession, dominants, dredging, water temperature.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-179-149-163

REFERENCES

Begun A. A. *Fitoplankton* buhty Zolotoj Rog i Ussurijskogo zaliva (Yaponskoe more) v usloviyah antropogennoho zagryazneniya [The Phytoplankton of Zolotoy Rog and Ussuriysky Bayes (Japan sea) under an anthropogenic impact] // *Izvestiya TINRO* T. 38. 2004. S. 320–344.

Kajgorodov N.E. 1979. Vliyanie mineral'noj vzvesi na gidrobiontov i raspredelenie vzveshennyh chastic po potoku pri dnouglubitel'nyh rabotah [The influence of mineral suspension on aquatic organisms and the distribution of suspended particles in the flow during dredging] // *Sb. nauch. tr. GosNIORH. Vyp. 2. Permskaya laboratoriya. Rybohozyajstvennyye issledovaniya vodoemov Urala*. C. 128–131.

- Kachestvo morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam. Ezhegodnik. 2014.* [The quality of marine waters by the hydrochemical indicators. Annual 2014.] 2015. M.: Nauka. 156 s.
- Kijko O.A., Usenkov S.M., Stogov I.A., Lange E.K.* 2008. Rezul'taty lokal'nogo ehkologicheskogo monitoringa rajona stroitel'stva kompleksa po peregruzke tekhnicheskoy sery v Luzhskoj gube [The results of local ecological monitoring of the construction area of a complex for reloading technical sulfur in the Luga Bay of the Gulf of Finland] // Sb. tez. IX Mezhd. ehkologicheskogo foruma «Den' Baltijskogo morya». SPb: OOO Izdatel'stvo «Dialog». S. 312–313.
- Kijko O.A., Lange E.K., Usenkov S.M., Stogov I.A.* 2009. Izmenenie sostoyaniya komponentov prirodnoj sredy Luzhskoj guby Finskogo zaliva pri dnouglubitel'nyh rabotakh [The change in the state of the natural environment components of the Luga Bay of the Gulf of Finland during dredging] // Sb. tez. X Mezhd. ehkologicheskogo foruma «Den' Baltijskogo morya». SPb: OOO Maksiprint. C. 177–178.
- Lavrent'eva G.M., Meshcheryakova S.V., Mitskevich O.I., Ogorodnikova V.A., Susloparova O.N., Tereshenkova T.V.* 1999. Gidrobiologicheskaya kharakteristika Vyborgskogo zaliva, proliva B"erkezund, buhty Batareynoy i Luzhskoj guby (vostochnaya chast' Finskogo zaliva) [The hydrobiological characteristics of the Vyborg Bay, the Bjerkesund Strait, the Bay of Batareynaya and Luga Bay (eastern part of the Gulf of Finland)] // Finskij zaliv v usloviyah antropogennogo vozdeystviya. SPb: S. 211–256.
- Lavrent'eva G.M., Susloparova O.N., Ogorodnikova V.A., Mitskevich O.I., Lebedeva O.V., Tereshenkova T.V., Volkhonskaya N.I., Alekseev G.A., Shuruhin A.S.* 2001. Rybokhozyajstvennaya otsenka krupnejshikh zalivov vtorogo poryadka (Vyborgskij, Koropskaya i Luzhskaya guby) vostochnoj chasti Finskogo zaliva [The fisheries assessment of the largest second-order bays of the eastern part of the Gulf of Finland (Vyborg, Luga and Koporsk Bays).] // Tez. dokl. VIII s"ezda GBO RAN. Kaliningrad: T. 1. S. 51–52.
- Lavrent'eva G.M., Susloparova O.N.* 2006. Itogi rybohozyajstvennykh monitoringov, provodimykh v vostochnoj chasti Finskogo zaliva s cel'yu ocenki vozdeystviya gidrotekhnicheskikh rabot na gidrobiontov [The results of the fishery monitoring conducted in the eastern part of Gulf of Finland in order to estimate the impact of hydraulic works on aquatic organisms] // Sb. nauchn. trudov FGNU «GosNIORH». Vyp. 333. T.1. S. 5–11.
- Liashenko O.A.* 2014. Fitoplankton Luzhskoj guby Finskogo zaliva v rajone provedeniya gidrotekhnicheskikh rabot [The phytoplankton of the Luga Bay of the Gulf of Finland in the water area of hydrotechnical works] // Vodorosli: Problemy taksonomii, ehkologii i ispol'zovanie v monitoringe. Mat. dokl. III Mezhd. nauch. konf. 24–29 avgusta 2014 g. Borok. Yaroslavl': Filigran. S. 154–155.
- Maksimova O.B.* 2006. Vliyanie povyshennoj mutnosti vody na strukturno-funkcional'nye kharakteristiki fitoplanktona [The effect of increased muddiness of water on the structural and functional characteristics of phytoplankton] // Sb. nauchn. trudov «GosNIORH». Vyp. 333. T. 1. S. 86–121.
- Nikulina V.N.* 2014. Fitoplankton pri antropogennom vozdeystvii na primere ehstuariya reki Nevy [The phytoplankton under the anthropogenic impact on the example of the Neva River estuary] // Vodorosli: Problemy taksonomii, ehkologii i ispol'zovanie v monitoringe. Materialy dokladov III Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii 24–29 avgusta 2014 g. Borok. Yaroslavl': Filigran. S. 225–226.
- Nikulina V.N.* 2017. Fitoplankton kak pokazatel' ehkologicheskogo sostoyaniya ehstuariya reki Nevy, 2011–2015 gg. [The Phytoplankton as indicator of the ecological state of the Neva River estuary] // Bioindikatsiya v monitoringe presnovodnykh ehkossistem III: mat. Mezhd. konf. SPb.: Svoe izdatel'stvo. S. 222–226
- Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federatsii za 2016 god.* [Overview of the state and environmental pollution in the Russian Federation for 2016]. 2017. Rosgidromet. 217 s.
- Pedchenko A.P., Bojtsov V.D.* 2018. Dolgoperiodnye kolebaniya temperatury vody Baltijskogo morya v 1900–2017 gg. [Long-term temperature fluctuations of Baltic Sea water in 1900–2017] // Trudy II Vseros. konf. «Gidrometeorologiya i ehkologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya» SPb: Himizdat. S. 516–519.
- Pedchenko A.P., Bojtsov V.D.* 2019. Dinamika vylova pelagicheskikh ryb v Baltijskom more i Finskom zalive: otsenka vliyaniya klimata [The dynamics of pelagic fish captures in the Baltic Sea and Gulf of Finland: the effect of climate impact assessment] // Sb. mat. VIII Mezhd. nauch.-prakt. konf. «Morskie issledovaniya i obrazovanie». MARESEDU-2019. S. 337–342.
- Rybalko A.E., Korneev O. Yu., Shcherbakov V.A.* 2017. Geohkologicheskie aspekty dredzhinga i ego vliyanie na prirodnyu sredy vostochnoj chasti Finskogo zaliva [The geoeological aspects of dredging and its impact on the natural environment of the eastern part of the Gulf of Finland] // Regional'naya ehkologiya. № 1 (47). S. 74–84.
- Stonik I.V., Selina M.S.* 2001. Vidovoj sostav i sezonnaya dinamika plotnosti i biomassy ehvglenovykh vodoroslej v zalive Petra Velikogo Yaponskogo moray [The species composition and seasonal dynamics of euglena algae density and biomass of in Peter the Great Bay, Sea of Japan] // Biologiya morya. T. 27. № 3. S. 207–209.

- Tereshenkova T.V.* 2006. Sravnitel'naya kharakteristika letnego fitoplanktona Vyborgskogo zaliva, Luzhskoj i Koporskoj gub, proliva B"erkezund i Melkovodnogo rajona vostochnoj chasti Finskogo zaliva [Comparative characteristic of the summer phytoplankton of the Vyborg, Luga and Koporsk Bays, the Bjerkesund Strait and the Shallow water area of the eastern part of the Gulf of Finland] // Sb. nauch. trudov GosNIORKH. Vyp. 331. T. 1. S. 37–85.
- Frumin G.T., Karetnikova T.I.* 2017. Dinamika postupleniya biogennykh ehlementov v Finskij zaliv so stokom rossijskikh i transgranichnykh rek [The dynamic of biogenic elements entry into the Gulf of Finland with the flow of Russian and transboundary rivers] // Regional'naya ehkologiya. № 1 (47). S. 85–92.
- Tsar'kova N.S.* 2016. Geoehkologicheskij monitoring dnouglubitel'nykh rabot v morskome trgovom portu Ust'-Luga. [The geoecological monitoring of dredging in the commercial sea port of Ust'-Luga]. Avtoref. diss. ... kand. geogr. nauk. SPb: RGGMU. 31 s.
- Ehkosistema ehstuariya reki Nevy: biologicheskoe raznoobrazie i ehkologicheskije problem* [Neva river estuary ecosystem: biodiversity and environmental issues] 2008. M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK. 477 s.
- Bicudo C.E. de M., Ferragut C., Massagardi M.R.* 2009. Cryptophyceae population dynamics in an oligo-mesotrophic reservoir (Ninféias pond) in São Paulo, southeast // Brazil Hoehnea. Vol. 36. № 1. P. 99–111.
- Klaveness D.* 1991. Ecology of Cryptomonadida: first review // Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton/ C.D. Sandgren ed. New York. Cambridge Univ. Press. P. 105–133.
- Komárek J., Kaštovský J., Mareš J, Johansen J.R.* 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach // Preslia. № 86. P. 295–335.
- NOAA NCDC ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) Accessible via: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version4/>. 12.10.2019.
- Steward F.J. Wetzel R.G.* 1986. Cryptophytes and other microflagellates as couples of planktonic community // Arch. fur. Hydrob. Bd.106. S. 1–19.
- Willen E.* 1987. Phytoplankton and reserved eutrophication in lake Malaren, Central Sweden, 1965–83 // British Phycological J. № 22. P. 193–208.

FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** The seasonal changes of phytoplankton biomass in the Luga Bay water area in 2005–2018.
- Fig. 2.** The structural changes of biomass of the plankton algae community in the Luga Bay water area during ice-free period in 2009–2012, 2015 and 2017 years.
- Fig. 3.** Changes in the average anomaly of the surface temperature of the Baltic Sea in May-October in the area of 2° x 2° with center in the coordinates 60° N, 28° E in 1900–2017.
- Fig. 4.** The share of the main systematics groups of algae in phytoplankton biomass in the dredging area, underwater dump, water areas out of dredging in different seasons according to 2005–2018.

TABLE CAPTIONS

- Table 1.** Phytoplankton dominants in the biomass of the Luga Bay water area in 2005–2018 / P — dredging area; O — water area of damping (underwater dump); BP — water areas out of dredging.
- Table 2.** Average values of phytoplankton biomass (g/m³) of the Luga Bay water area in different seasons of ice-free period in the dredging area (P); — water area of damping (underwater dump) (O); water areas out of dredging (BP). Above the line — average with an error, below the line — the limits of change