

На правах рукописи

ГУБЕЛИТ

Юлия Ивановна

**Структура и функционирование прибрежных альгоценозов
восточной части Финского залива**

Специальность: 03.02.10 – гидробиология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Санкт-Петербург – 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Зоологическом институте РАН

Научные руководители: доктор биологических наук, профессор
Трифопова Ирина Сергеевна
кандидат биологических наук
Никулина Вера Никифоровна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук
Комулайнен Сергей Федорович

кандидат биологических наук
Станиславская Елена Владимировна

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук Институт биологии
внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН

Защита состоится « » октября 2011 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета
Д 002.223.02 при Учреждении Российской академии наук Зоологическом институте РАН
по адресу: 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской академии
наук Зоологическом институте РАН.

Автореферат разослан « » _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук

В.Г. Сиделёва

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Проблема изучения прибрежных сообществ стала актуальной в последние несколько десятилетий, в связи с эвтрофированием и массовым развитием нитчатых макроводорослей. Последствиями этих процессов являются аккумуляция гниющих водорослей на побережье и возникновение условий аноксии, массовые заморы бентосных животных и мальков рыб. Каждый год эти процессы наблюдаются и в Финском заливе. Тем не менее, в отличие от других районов Балтийского моря, прибрежные альгоценозы восточной части Финского залива до недавнего времени оставались практически не изученными. Известно всего несколько работ, посвященных видовому разнообразию и некоторым функциональным характеристикам водорослевых сообществ этой части Балтийского моря (Кукк, 1979, 1980; Ковальчук, 2005, 2007, 2008; Väck et al., 2001, 2002; Golubkov et al., 2003). Побережье Финского залива активно используется как зона отдыха для жителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области, но из-за эвтрофирования и массового развития водорослей использование этой территории в рекреационных целях становится проблематичным. Поэтому исследования функционирования прибрежных альгоценозов восточной части Финского залива являются особенно актуальными.

Цель исследования. Изучение видового состава, сезонной и межгодовой динамики биомассы прибрежных альгоценозов и оценка их роли в образовании органического вещества в восточной части Финского залива.

Задачи исследования

1. Изучение межгодовой и сезонной динамики биомассы сообщества макроводорослей (в основном *Cladophora glomerata* (L.) Kütz.) восточной части Финского залива.
2. Оценка влияния некоторых природных и антропогенных факторов на динамику сообщества макроводорослей.
3. Изучение структуры сообществ прибрежного фитопланктона и фитоперифитона восточной части Финского залива.

4. Определение вклада макроводорослей (*C. glomerata*), фитопланктона и фитоперифитона в первичную продукцию водорослей восточной части Финского залива.

Научная новизна. Впервые для восточной части Финского залива проведены многолетние сезонные наблюдения за альгоценозами прибрежной зоны. Исследования позволили выявить закономерности сезонной и межгодовой динамики развития нитчатых макроводорослей восточной части Финского залива. Кроме нитчатых водорослей изучены и другие альгоценозы (фитопланктон, перифитон) прибрежной зоны, прослежены взаимоотношения между автотрофными компонентами прибрежного сообщества. Рассчитано, что в восточной части Финского залива вклад прибрежных альгоценозов в суточную первичную продукцию может достигать 17-26% общей. Экспериментально показано, что массовые скопления разлагающихся водорослей на побережье могут служить благоприятным субстратом для аккумуляции, роста и размножения патогенных энтеробактерий.

Теоретическое значение. Результаты исследования внесли вклад в общие представления об экосистеме Балтийского моря. Впервые изучены и проанализированы видовой состав и функционирование прибрежных сообществ водорослей восточной части Финского залива. Проведено сравнение состава и продуктивности прибрежных альгоценозов восточной части Финского залива с другими частями Балтийского моря. Оценена роль прибрежных альгоценозов в экосистеме залива, выявлены основные факторы, влияющие на их структуру и функционирование. Проведенное исследование внесло вклад в понимание особенностей процесса эвтрофирования прибрежной зоны, что способствует дальнейшему развитию исследований в этом направлении.

Практическая ценность работы. Проведенная работа может быть использована при разработке мер по охране и рациональному использованию акватории восточной части Финского залива и прилегающих территорий. В виду мировой тенденции развития биотехнологий с целью использования биомассы водорослей для получения биотоплива и композитных материалов, данная работа может быть использована для развития этого направления в Российской Федерации.

Исследование проходило в рамках программы Отделения биологических наук РАН «Биологические ресурсы России» и программы фундаментальных исследований президиума РАН «Биоразнообразии и динамика генофондов».

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на Международной конференции "Первичная продукция водных экосистем" (Борок, Россия 2004), Международном конгрессе по Балтийскому морю (Росток, Германия, 2007; Таллинн, Эстония, 2009), Международном экологическом форуме «День Балтийского моря» (Санкт-Петербург, 2004, 2008, 2009, 2010), Международном трехстороннем совещании по экологическим проблемам Финского залива (Таллинн, Эстония, 2006), Международном симпозиуме «Эстуарные экосистемы: структура, функции и управление» (Калининград, 2007), Международной конференции по экологии лагун (Клайпеда, Литва, 2007), 3-й международной студенческой конференции «Биоразнообразие и функционирование водных экосистем региона Балтийского моря» (Йодкранте, Литва, 2008), Международной конференции "Перифитон и обрастание: теория и практика" (Санкт-Петербург, 2008), Симпозиуме Европейского общества изучения водной растительности (Ювяскюля, Финляндия, 2009), Российско-Китайском симпозиуме «Механизмы эвтрофирования озер и стратегии их восстановления» (Ухань, Китай, 2009), Международной научной конференции памяти Г.Г. Винберга «Современные проблемы гидроэкологии» (Санкт-Петербург, 2010), Всемирном конгрессе по морским биотехнологиям «Океан, жизнь и устойчивое развитие» (Далянь, Китай, 2011), на отчетной научной сессии ЗИН РАН (2010), на научных семинарах лаборатории пресноводной и экспериментальной гидробиологии Зоологического института РАН.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы, приложения. Работа изложена на 200 страницах, включает 21 таблицу, 69 рисунков и 2 приложения. Библиографический список состоит из 189 источников, из которых 112 иностранных.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 научных статей, из них в изданиях рекомендованных ВАК – 9.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научным руководителям

за общее научное руководство, а также д.б.н. профессору В.В. Бульону за ценные указания и советы, д.б.н. профессору М.Б. Вайнштейну за содействие в экспериментах с бактериями, д.б.н. С.М. Голубкову за помощь в организации полевых работ, к.б.н. Н. А. Березиной за помощь при сборе материала, к.б.н. Т. И. Казанцевой за помощь в статистической обработке материалов, к.б.н. М.С. Голубкову за помощь в определении первичной продукции, Л.В. Жаковой за ценные советы и консультации, Н.А. Ковальчуку за помощь при отборе проб макроводорослей, Л. П. Умновой за данные по общему фосфору.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. История изучения и современное состояние экосистемы Балтийского моря и восточной части Финского залива

В главе описана история изучения водорослевых сообществ восточной части Финского залива. В течение последнего десятилетия проблемой Балтийского моря и Финского залива является эвтрофирование прибрежной зоны и, как следствие, – массовое развитие быстрорастущих макроводорослей, в частности - *Cladophora glomerata* (L.) Kütz.

Глава 2. Физико-географическая, гидрологическая и гидрохимическая характеристика района исследования

Часть Финского залива, располагающаяся восточнее о. Гогланд, принято называть восточной частью Финского залива. Она включает в себя мелководный и глубоководный районы, Невскую губу, Выборгский залив, Лужскую и Копорскую губы, и представляет собой ряд сложных экосистем. Пресная вода от стока реки Невы распространяется в западном направлении по поверхности залива, в то же время солоноватые воды в виде клина продвигаются в восточном направлении. Соленость воды в восточной части Финского залива повышается в западном направлении. Если Невская губа представляет собой пресноводный водоем, то у острова Гогланд соленость воды на поверхности может достигать 6‰.

Глава 3. Материал и методы исследования

Материалом для работы послужили пробы макроводорослей, отобранные в период с 2002 по 2009 гг. в восточной части Финского залива на 8 станциях и пробы прибрежного фитопланктона и перифитона, отобранные с мая по октябрь 2003 года в районе города Зеленогорск (Табл. 1, 2). Во время исследования отбор проб нитчатых водорослей *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. проводился ежегодно и состоял из двух блоков – объездов по побережью и наблюдений за сезонной динамикой. Объезды проводились в первые две недели июля от пос. Репино до Приморска на северном побережье и от г. Петродворец до Лужской губы на южном побережье. Сезонные наблюдения проводились в г. Зеленогорск (станция 1а) с 2003 по 2006, и в поселке Репино (станция 1б) с 2007 по 2009 гг. Обе станции сходны по условиям, поэтому результаты наблюдений были объединены. В Невской губе сезонная динамика изучалась с 2004 по 2009 года в районе г. Петродворец (ст.5).

Кроме того, *in situ* были проведены эксперименты по определению первичной продукции (101 измерение на 3-х станциях), а также в лабораторных условиях были поставлены модельные опыты на выживаемость патогенных энтеробактерий *Salmonella enteritidis* (Gartneri) в разлагающихся водорослях. Степень насыщения кислородом определялась при помощи оксиметра WTW Oxi-330. Общий фосфор определялся в нефилтрованной воде молибдатным методом с использованием аскорбиновой кислоты (Strickland, Parsons, 1972). Минерализацию воды измеряли при помощи кондуктометра DistWP4, при температуре 25°C.

Для оценки количества плавающих нитчатых водорослей, на глубине 0.5 м пробы брались металлической трубой площадью 0.032 м². Для учета прикрепленных водорослей и микрофитообрастаний с 3-5 камней делались смывы. На глубинах 1.5, 3 и 5 м пробы отбирались водолазным методом. Водоросли счищали с камней, затем собранную кладофору и камни одновременно промывали в определенном объеме дистиллированной воды, которая служила пробой для определения видового состава и количественного учета перифитонных водорослей. Определяли площадь проективного покрытия отобранных камней. Собранные макроводоросли высушивались на воздухе и взвешивались. Полученный воздушно-сухой вес в

дальнейшем будет упоминаться, как г сухой массы/м² каменистого субстрата.

Пробы фитопланктона и перифитона фиксировали раствором Люголя и определяли видовой состав и численность водорослей в камере Нажотта объемом 0.02-0.05 мл, с помощью светового микроскопа БИМАМ Р-13-1. Обработка количественных данных производилась в программах Excel и Statistica 6.0. Для определения и оценки обилия диатомовых водорослей, освобождение створок от органики производилось холодным методом (Диатомовые водоросли СССР, 1974). Для расчета индексов сапробности Пантле и Букка и коэффициента видового сходства Сёренсена использовались пособия «Биологический анализ качества вод» (Макрушин, 1974) и «Основы экологии» (Одум, 1975). Измерение первичной продукции осуществлялось скляночным методом в кислородной модификации (Винберг, 1972, Strickland, Parsons, 1972). Расчет первичной продукции в столбе воды под м² проводился по формуле В.В. Бульона (2004), для перевода мгО в мгС использовался переводной коэффициент 0.375 (Бульон, 1994).

Средой для эксперимента по проверке возможности роста патогенных энтеробактерий *Salmonella enteritidis* на отмерших водорослях служила стерилизованная автоклавированием (30 мин. при 105°C) водопроводная вода с различными добавлениями NaCl: соленость в эксперименте для разных образцов была максимально приближена к природной. Пробы сухих водорослей (0.2 г) помещали в пробирки с 20 мл воды в трех повторностях для каждой станции. Контролями служили пробирки с водой той же солености без водорослей. В каждую пробирку внесли по 0.1 мл разведенной в жидкой среде «5/5 ИБФМ» культуры *Salmonella enteritidis*. Исходная численность сальмонелл после внесения в пробирки составляла 50-100 КОЕ (колонии образующих единиц) на чашку Петри. Пробирки экспонировали при естественном освещении и температуре 16-18°C. Численность энтеробактерий учитывали на 3 и 14 сутки экспозиции стандартным методом (Rambach, 1990).

Таблица 1. Количество обработанного материала.

	пробы перифитона и фитопланктона	пробы макроводорослей	первичная продукция	эксперименты с бактериями
количество материала	40	786	101 измерение на 3-х станциях	24 посева

Таблица 2. Станции отбора проб.

№ станции	Расположение	Координаты	Минерализация, г/л
1а	г. Зеленогорск	60°10' с.ш. 29°43' в.д.	0.4-1
1б	пос. Репино	60°09' с.ш. 29°51' в.д.	0.4-1
2	пос. Ушково	60°11' с.ш. 29°37' в.д.	0.6-1
3	м. Флотский	60°09' с.ш. 29°09' в.д.	1.5-1.84
4	г. Приморск	60°20' с.ш. 28°42' в.д.	1.7-2.3
5	г. Петродворец	59°53' с.ш. 29°54' в.д.	0.16-0.2
6	Графская бухта	59°49' с.ш. 28°36' в.д.	1.8-2.7
	Копорская губа,		2-3.9
7	дер. Систо-Палкино	59°48' с.ш. 28°54' в.д.	
	Лужская губа, пос.		2-3.16
8	Ручьи	29°45' с.ш. 28°26' в.д.	

Глава 4. Видовой состав и сезонная динамика биомассы макроводорослей.

Всего на исследованной территории было обнаружено 19 видов макроводорослей из 5 отделов, 7 классов, 9 порядков, 12 семейств и 15 родов. Из

них 14 видов относились к отделу Chlorophyta, 2 – к Charophyta и по одному виду было найдено из отделов Phaeophyta, Rhodophyta и Xanthophyta. На всех станциях доминировал вид зеленых водорослей *Cladophora glomerata* (L.) Kütz., развитие которых отмечалось в основном на каменистом субстрате. На станциях 6 и 7 из-за преобладания песчано-илистых грунтов, достаточно обильно развивались харовые водоросли, и, в этом случае, кладофора эпифитировала на харовых. На изученной территории преобладали пресноводные виды, но по мере продвижения к западу и с увеличением минерализации воды во флоре появлялись эвригалитные и морские виды макроводорослей. Сходство между станциями по коэффициенту Серенсена соответствовало изменениям альгофлоры макроводорослей согласно условиям солености и особенностям биотопа. Во флоре макроводорослей присутствовали виды-индикаторы различных зон сапробности от ксено-олигосапробной до альфа-мезосапробной. По биомассе преобладала *C. glomerata*, которая является видом-индикатором бета-мезосапробных условий и может характеризовать прибрежную зону, как умеренно-загрязненную. Все обнаруженные виды макроводорослей ранее были отмечены в Финском заливе, и являются типичными представителями альгофлоры Балтийского моря, включая его опресненные участки (Балашова и др., 1999; Ковальчук, 2008; Nielsen et al., 1995; Schubert, Blindow (eds.), 2003). Из морских бурых и красных водорослей на исследованной территории встречаются виды, которые наиболее приспособлены к условиям низкой солености, такие, как *Pylaiella littoralis* (L.) Kjellm. и *Ceramium tenuicorne* (Kütz.) Waern.

В восточной части Финского залива вегетация макроводорослей начиналась в начале-середине мая с развития водорослей *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr.) Kütz. В течение одной-двух недель эти водоросли замещались кладофорой. Сезонная динамика нитчатых макроводорослей (с доминированием вида *Cladophora glomerata*) варьировала из года в год, но, в среднем, за все годы исследований характеризовалась одним продолжительным пиком биомассы с июля по сентябрь на ст.1 (Рис.1). На южной станции Невской губы (ст.5) сезонная динамика характеризовалась одним ярко-выраженным июльским максимумом (Рис.2). Средние значения биомассы за все годы для обеих станций составили 61.5 ± 27.5 на ст.1 и 68.2 ± 14.7 г сух массы/м² на ст.5, что не превышает средние значения биомассы, наблюдавшиеся в северной Балтике (68 ± 7 г сух. массы/м²) (Salovius,

Bonsdorff, 2004). Сезонная динамика *C. glomerata*, наблюдавшаяся в наших исследованиях в восточной части Финского залива типична для этого вида в Балтийском море (Kiirikki, Lehvo, 1997).

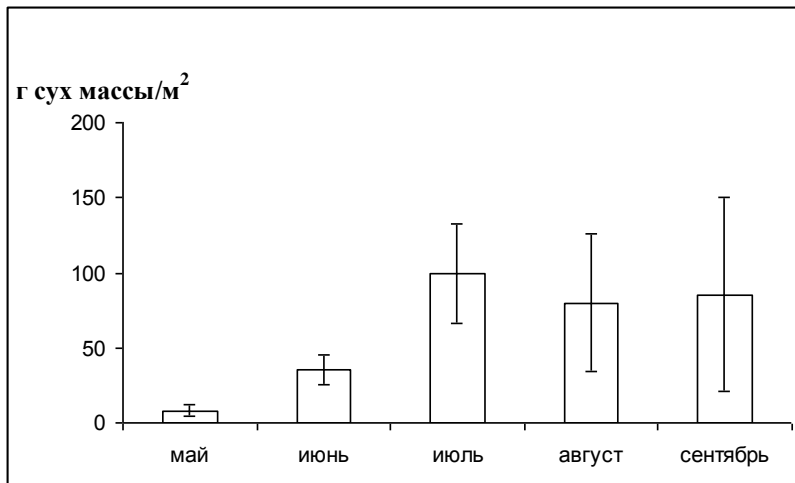


Рисунок 1. Средние значения биомассы *C. glomerata* на станциях 1а-б на глубине 0.5м за весь период исследования (2003-2009). Здесь и далее вертикальными планками показана ошибка средней.

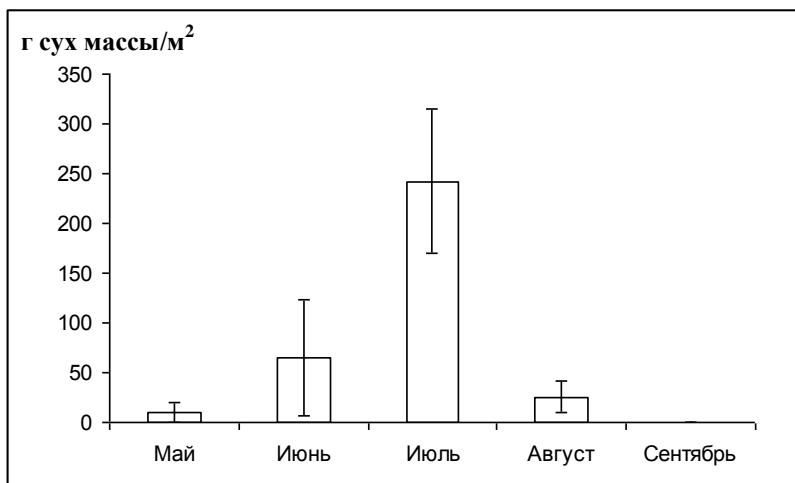


Рисунок 2. Средняя биомасса *C. glomerata* на станции 5 (Петродворец, Невская губа) на глубине 0.5 м в 2004-2009 гг.

Биомасса макроводорослей на глубинах 0.5-1.5 м на южном побережье в среднем была выше, чем биомасса водорослей на северном побережье (Рис. 3). Это может объясняться большей прозрачностью воды на южном побережье, а также более защищенными от штормов местообитаниями. В 2008 году было отмечено резкое снижение биомассы макроводорослей на обоих побережьях. Одной из причин этого явления могло послужить более холодное (по сравнению с остальными

годами) лето. Вторая причина связана с работами в Невской губе по углублению фарватера и намыву новых территорий в 2006-2007 годах. Это привело к повышению содержания взвешенных частиц в воде и снижению прозрачности на акватории восточной части Финского залива. После оседания взвеси, в 2008 году было отмечено заиливание субстрата, что уменьшило его доступность для развития макроводорослей.

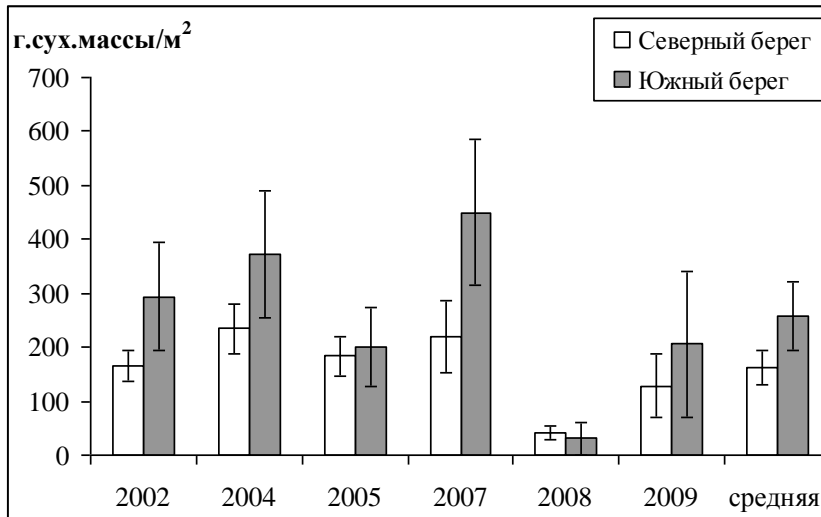


Рисунок 3. Средняя биомасса макроводорослей (большей частью *C. glomerata*) на северном и южном побережьях на глубинах 0.5-1.5 м.

В восточной части Финского залива направление ветра, как правило, является важным климатическим фактором, воздействующим на прибрежную зону. Обработка данных в программе статистика показала, что биомасса макроводорослей в годы с преобладающим западным ветром достоверно была выше, чем в остальные годы наблюдений. Западный ветер приводит к постоянному притоку соленых, обогащенных фосфором вод, а также нагону и повышению уровня воды в прибрежной зоне (Остов, 1971). Сочетание этих двух факторов может создавать благоприятные условия для развития макроводорослей на мелководье.

Флуктуации климата играют огромную роль для обитателей мелководья. Шведскими исследователями отмечена корреляция между климатическим зимним индексом Северо-Атлантической Осцилляции (NAO) и степенью развития макроводорослей (Cossellu, Nordberg, 2010). При низких и отрицательных значениях индекса NAO зимы в Европе становятся более суровыми, а в Балтийском море образуется толстый ледовый покров. Чем выше значения индекса, тем зимы мягче, в

Балтийском море ледовый покров становится тоньше или отсутствует. В течение зимы лед перемешивает донные отложения в прибрежной зоне, и, в результате, фосфор из донных осадков выделяется в воду. После таяния льда это стимулирует бурное развитие не только фитопланктона, но и нитчатых макроводорослей. В восточной части Финского залива на примере ст. 1-3 в Курортном районе было отмечено, что межгодовые колебания индекса NAO и биомассы нитчатых макроводорослей находятся в противофазе и соответствуют закономерности, отмеченной шведскими учеными (Рис.4).

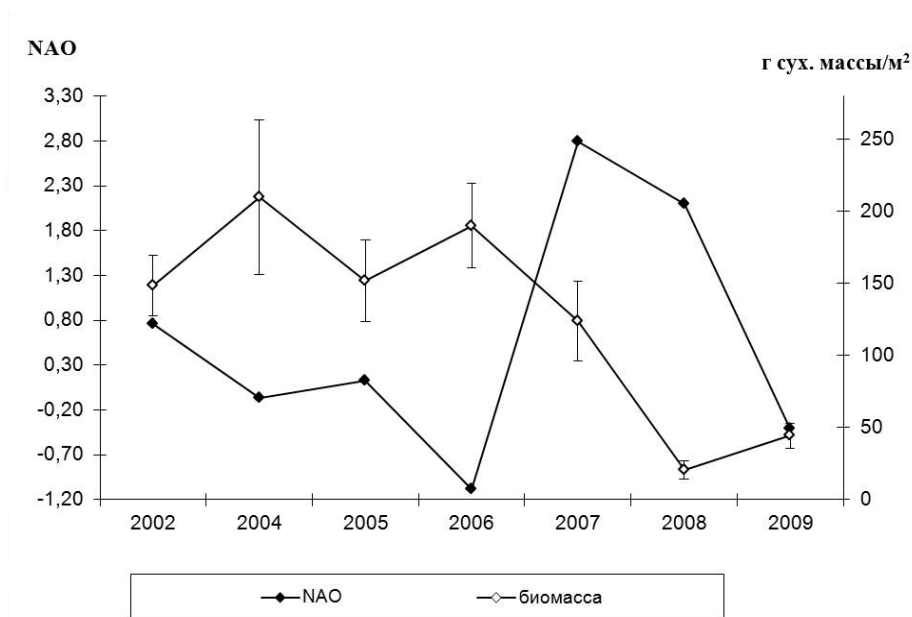


Рисунок 4. Межгодовые колебания биомассы нитчатых макроводорослей в Курортном районе на ст. 1-3 и зимних значений индекса северо-атлантической осцилляции (NAO).

Каждый год на побережье восточной части Финского залива происходило образование водорослевых матов. С 2005 года начал проводиться учет плавающих водорослей. Биомасса оценивалась для живых плавающих водорослей, для перегнивающих водорослевых матов оценивалась толщина в сантиметрах. Самые ранние скопления плавающих водорослей были отмечены в мае в Копорской губе (ст.7), а на ст.1 и 5, аккумуляция плавающих водорослей начиналась в июне. Во время ежегодных объездов в первые две недели июля, было показано, что биомасса плавающих водорослей в Курортном районе (ст.1-3) может колебаться от 40 до 1055-1450 г. сух.массы/м², на ст. 4 – от 241 до 1074 г. сух.массы/м², на южном побережье на ст. 6-7 биомасса плавающих водорослей колебалась от 15 до 465 г.

сух.массы/м². Толщина водорослевых матов могла достигать 30 см. Скопления водорослей толщиной до 15-30 см, сопровождались возникновением гипоксии и замором бентосных животных и мальков рыб. Такие явления были зарегистрированы на станциях 1, 4, 6 и 7. Максимальная (до 100м) протяженность полосы плавающих и разлагающихся водорослей наблюдалась на ст. 6. Самая небольшая протяженность полосы водорослевых матов была на станциях 5, 2 и 8. В это же время в воде были отмечены самые высокие концентрации общего фосфора (160 до 360 мкг/л), поскольку из-за гипоксии (насыщение кислородом 5-20%) происходило его выделение из донных отложений и гниющих водорослей. Погруженные водорослевые маты были зарегистрированы в 2009 году на ст. 2 на глубине 1.5 м и достигали 5-10 см в толщину. Водорослевые маты восточной части Финского залива занимают небольшие площади и характеризуются доминированием вида *C. glomerata*, в то время, как в остальных районах Балтийского моря, они могут занимать значительные площади (до 30 га), быть толщиной более метра и характеризуются доминированием морских видов водорослей (Vahteri et al. 2000, Lehto, Väick 2001).

Вертикальная съемка показала, что максимальная глубина распространения нитчатых водорослей (большой частью *C. glomerata*) в восточной части Финского залива составляет 5 м. Наиболее оптимальные условия для роста макроводорослей отмечены на глубине 1.5 м, поскольку здесь средняя биомасса кладофоры была максимальной, по сравнению с остальными глубинами. На глубине 3 метра биомасса снижалась, а на глубине 5 м была минимальной. Полученные результаты соответствуют данным Н.А. Ковальчука, согласно которым, нижняя граница произрастания макроводорослей в восточной части Финского залива проходит на глубине 6 м, а граница доминирования кладофоры в сообществах - 3-3.5 м (Ковальчук, 2008). По сравнению с другими районами Балтийского моря граница распространения макроводорослей в восточной части Финского залива находится на меньших глубинах, но максимальное развитие зеленых нитчатых водорослей наблюдается на тех же глубинах, что и в других районах Балтийского моря.

Известно, что скопления водорослей на побережье могут быть ассоциированы с патогенными энтеробактериями, в том числе с сальмонеллой (Vuorpanahalli et al.

2003). Как показали проведенные эксперименты, макроводоросли из восточной части Финского залива являются благоприятным потенциальным субстратом для выживания и размножения патогенных энтеробактерий. Кроме того, было отмечено наличие колиформных энтеробактерий, которые, по всей видимости, аккумулировались на водорослях из воды залива и сохранили способность к росту и размножению даже после высушивания.

Макроводоросли (большей частью *C. glomerata*), массово развивающиеся в прибрежной зоне восточной части Финского залива, имеют огромное значение для экосистемы. Динамика биомассы макроводорослей зависит не только от антропогенных факторов, но и от климатических условий. Массовое развитие макроводорослей в прибрежной зоне вершины Финского залива и последующее их разложение служат причиной вторичного загрязнения побережья органическим веществом, что негативно влияет на биоразнообразие и количественные характеристики макрозообентоса (Березина, Голубков, 2008). Скопления гниющих водорослей на побережье создают проблемы для рекреации.

Глава 5. Видовой состав, численность и биомасса фитопланктона и фитоперифитона.

Всего в прибрежном фитопланктоне на ст.1а (Зеленогорск) обнаружено 53 вида водорослей из 7 отделов, 11 классов, 18 порядков, 34 семейств, 45 родов. Из них 18 видов – из отдела Bacillariophyta, 16– из Chlorophyta, 14 – из Cyanobacteria, 2 – из Euglenophyta, 1– из Dinophyta, 1 – из Cryptophyta, и 1 – из Xanthophyta. Доля планктонных видов водорослей составила 67.9%, литоральных – 17%, а бентосных видов и водорослей с неопределенной экологией (определенных только до рода) – по 7.55%. Большая часть обнаруженных видов являются обитателями пресных и солоноватых вод, типичными представителями планктона восточной части Финского залива, Ладожского озера и других озер и их притоков северо-запада России (Никулина, 2008; Генкал, Трифонова, 2009). Сезонная динамика прибрежного фитопланктона характеризовалась двумя пиками. Во время весеннего пика преобладали диатомовые водоросли, в остальное время в планктоне

доминировали цианобактерии. Максимальная биомасса, 8.7 мг/л, была зарегистрирована 15 мая 2003 года, и в основном состояла из диатомовых водорослей *Aulacoseira islandica* (O. Muller) Simonsen и *Diatoma tenue* C. Ag. Второй пик, сформированный зелеными водорослями и цианобактериями, был отмечен в середине июня и достигал 4 мг/л.

В среднем за сезон, биомасса прибрежного фитопланктона составила 2.6 ± 1 мг/л, которая была ниже, но достоверно не отличалась от среднесезонной биомассы, зарегистрированной в открытой части Курортного района в 2003 году и составившей 3.85 ± 1.28 мг/л (Никулина, Ланге, 2008). Из литературы известно о конкурентных взаимоотношениях между фитопланктоном и фитобентосом. Применение непараметрических методов статистики показало отсутствие корреляции между количественным развитием прибрежного фитопланктона и макроводорослей. В то же время необходимо отметить, что в августе биомасса прибрежного фитопланктона была в несколько раз ниже, чем биомасса фитопланктона в открытой части (1.3 мг/л и 6 мг/л) (Никулина, Ланге, 2008). В этот же самый период в прибрежной зоне наблюдались высокие значения биомассы нитчатых водорослей. Возможно, что конкуренция за биогенные элементы ограничила развитие планктона прибрежной зоны в этот период. Важным фактором, который влияет на сообщества прибрежной зоны Финского залива, является направление ветра и связанные с ним сгонно-нагонные явления. При нагоне приносится фитопланктон из открытых участков залива, что не может не отражаться на его численности и биомассе. В свою очередь, это явление делает неясной картину конкурентных взаимоотношений между прибрежным фитопланктоном и макроводорослями.

Всего среди микроводорослей перифитона было обнаружено 77 видов из 5 отделов, 9 классов, 18 порядков, 33 семейств, 44 родов. Из них 46 видов – из отдела Bacillariophyta, 15– из Chlorophyta, 13 – из Cyanobacteria, 2– из Dinophyta и 1 – из Xanthophyta. Большая часть обнаруженных видов (70%, 54 вида) являются пресноводными. Доля планктонных водорослей в перифитоне была достаточно высокой и составила 44.2% (34 вида), бентосных – 46.8% (36 видов), литоральных – 6.5% (5 видов). В течение сезона отмечено два пика биомассы водорослей перифитона. Первый пик в конце мая – начале июня почти полностью состоял из

диатомовых водорослей (большой частью *D. tenuis*). По мере обрастания субстрата кладофорой, численность и биомасса микроводорослей перифитона снижалась. Второй пик был образован зелеными и цианобактериями. К октябрю численность и биомасса диатомовых снова стала повышаться. Максимальная биомасса фитоперифитона была зарегистрирована в начале июня и составила 16.5 г/м^2 субстрата. Минимальная биомасса, 1.2 г/м^2 субстрата, наблюдалась в начале мая, когда литораль только что освободилась ото льда а также в начале июля – 3.6 г/м^2 субстрата – после шторма. Среднесезонная биомасса фитоперифитона на станции 1а в 2003 году составила $6.7 \pm 1.2 \text{ г/м}^2$.

Из литературы известно, что макроводоросли, включая виды рода *Cladophora*, могут выделять вещества, препятствующие развитию бактерий и микроводорослей (Englebert et al., 2008). В то же время, на примере Великих Американских озер было показано, что кладофора является благоприятным субстратом для диатомовых водорослей (Higgins et al., 2008). Для того чтобы проверить предположение, что *C. glomerata* является благоприятным субстратом для водорослей перифитона в условиях восточной части Финского залива, были использованы методы непараметрической статистики. Поскольку снижение биомассы перифитона в летний период было связано с изменением доминирующих видов микроводорослей в пользу более мелких форм, были рассчитаны коэффициенты корреляции Спирмана между численностью микроводорослей перифитона и биомассой кладофоры. В результате расчетов корреляция была высокой ($R=0.7$; уровень значимости $p=0.03$), из чего можно заключить, что *C. glomerata*, преобладающая в прибрежной зоне восточной части Финского залива, является благоприятным субстратом для развития микроводорослей перифитона и успешно ими заселяется.

Всего в прибрежной зоне восточной части Финского залива на ст.1а (Зеленогорск) был обнаружен 101 вид водорослей планктона и перифитона из 7 отделов. Из них 53 вида были встречены в планктоне, 77 – в перифитоне, 27 видов встречались и в планктоне, и в перифитоне. Среди видов-индикаторов условий сапробности преобладали β -мезосапробы.

Глава 6. Продукция водорослевых сообществ прибрежной зоны восточной части Финского залива.

Проведенные эксперименты, показали, что продукция нитчатых водорослей играет важную роль в прибрежной зоне восточной части Финского залива. Средняя продукция на разных глубинах по результатам экспериментов приведена в таблице 3.

Таблица 3.

Средняя продукция (гС/м²сут.) автотрофных компонентов прибрежной зоны восточной части Финского залива на разных глубинах.

Глубина, м	0.5	1.5	3
<i>Cladophora glomerata</i>	11.4±0.9	3.8±1	0.03±0.01
Фитопланктон	0.38±0.1	0.6±0.4	0.9±0.5
Суммарная	11.78	4.4	0.93

Наибольшая продуктивность макроводорослей (*C. glomerata*) наблюдалась на глубинах 0.1-1.5 м, А/В-коэффициент на этих глубинах в среднем составил 0.12±0.03. Среднем прозрачность воды в восточной части Финского залива около 1.5 м. Максимальная первичная продукция планктона, наблюдавшаяся в восточной части Финского залива, составляла 1.58±0.22 гС/м³сут или 2.67±0.57 гС/м²сут при прозрачности воды 1.68 м (Голубков, 2008). Принимая прозрачность воды равной 1.5 м, можно рассчитать, что в среднем первичная продукция планктона в открытой части акватории может достигать 2.37 гС/м²сут. Если принять это значение за единицу, можно сравнить продукцию прибрежной зоны и продукцию открытой акватории (Рис. 5).

Из соотношения площадей под кривыми (Рис.5) следует, что продукция *C. glomerata* до глубины 2-х прозрачностей составляет около 90% от суммарной продукции прибрежной зоны и в 1.7 раза выше продукции фитопланктона открытой акватории. При этом продукция фитопланктона прибрежной зоны составляет только

14% от суммарной и в 4 раза ниже продукции открытой акватории. Суммарная первичная продукция прибрежной зоны под m^2 в 1.8 раза выше продукции открытой акватории восточной части Финского залива.

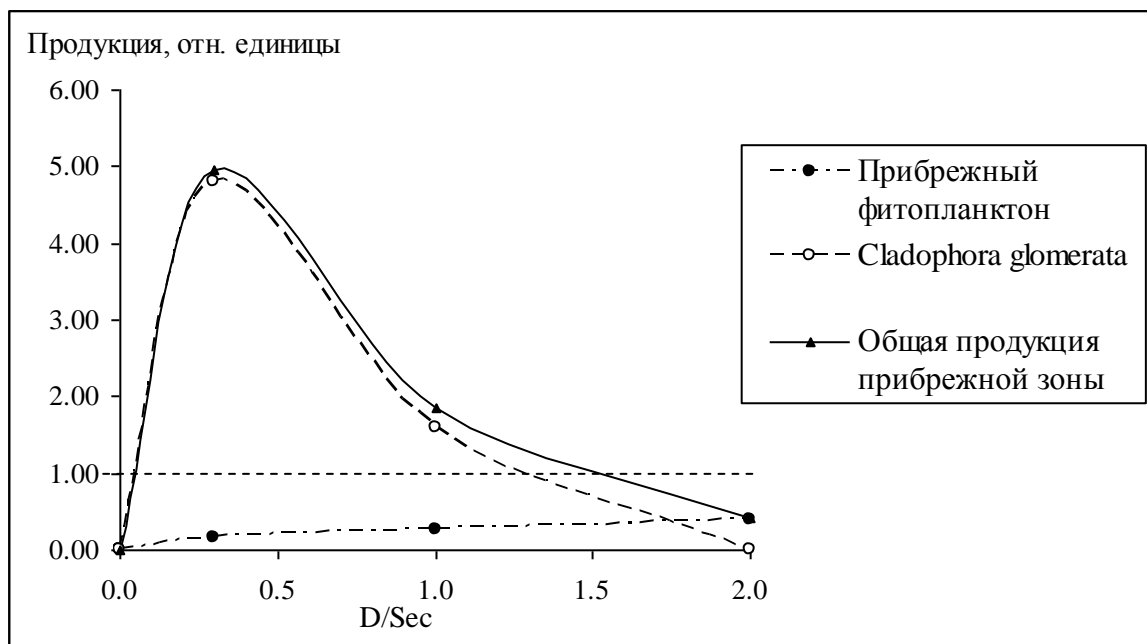


Рисунок 5. Продукция *C. glomerata*, прибрежного фитопланктона и суммарная первичная продукция прибрежной зоны, в зависимости от отношения глубины к прозрачности воды. За единицу принята продукция фитопланктона под m^2 в открытой части акватории, D — глубина, Sec — прозрачность воды. Граница прибрежной зоны принята по изобате 2 Sec , где продукция фитобентоса практически равна нулю (Бульон, 2004).

Для вычисления отношения площади прибрежной зоны к общей площади восточной части Финского залива была использована формула В.В. Бульона (2004). Изученная акватория по гидрологическим и гидрохимическим условиям, исключая Невскую губу, подразделяется на переходный и солонатоводный районы (Остов, 1971). Было рассчитано, что в переходном районе восточной части Финского залива литоральная зона (в данном случае глубины от 0 до 3 м) занимает около 15 % общей площади акватории. Если пересчитать первичную продукцию прибрежной зоны на всю акваторию, продукция переходного района может достигать $2.71 \text{ гС}/\text{м}^2$ в сутки. Причем продукция *Cladophora glomerata* составит около $0.61 \text{ гС}/\text{м}^2$ в сутки (22.5% общей), продукция прибрежного фитопланктона — $0.09 \text{ гС}/\text{м}^2$ в сутки (3.3% общей). Суммарная первичная продукция прибрежного сообщества в пересчете на всю его акваторию составит $0.7 \text{ гС}/\text{м}^2$ в сутки (26% общей продукции в переходном районе).

В солоноватоводном районе аналогичные расчеты показали, что литоральная зона занимает около 10% акватории. Суммарная продукция составила 2.59 гС/м² в сутки, продукция *C. glomerata* - 0.39 гС/м² в сутки (15% общей), продукция прибрежного фитопланктона – 0.06 гС/м² в сутки (2.3% общей). Суммарная первичная продукция прибрежной зоны в пересчете на всю акваторию приближалась к 0.45 гС/м² в сутки (17% общей продукции в солоноватоводном районе).

Выводы

1. Прибрежные альгоценозы восточной части Финского залива состоят из типичных представителей альгофлоры северо-запада России, а также опресненных участков Балтийского моря. Постепенное повышение минерализации воды в западном направлении, оказывает влияние на состав сообщества макроводорослей и обуславливает появление морских видов.
2. Сезонная динамика биомассы нитчатых макроводорослей (главным образом *Cladophora glomerata* (L.) Kütz.) в восточной части Финского залива типична для этого вида в Балтийском море.
3. Установлено, что помимо антропогенного воздействия, на развитие и межгодовую динамику биомассы макроводорослей в прибрежной зоне восточной части Финского залива оказывают влияние климатические факторы.
4. Показано, что отмершие водоросли могут являться благоприятным субстратом для роста и размножения болезнетворных бактерий. Массовые скопления макроводорослей в прибрежной зоне восточной части Финского залива создают трудности для рекреации, а также могут служить причиной ухудшения санитарно-эпидемиологической обстановки в местах их аккумуляции.
5. Установлено, что конкурентные взаимоотношения между водорослями бентоса и планктона, характерные для сообществ прибрежных и мелководных биотопов, в условиях восточной части Финского залива выражены слабо. Показано, что нитчатые макроводоросли являются благоприятным субстратом для микроводорослей перифитона.
6. Установлено, что прибрежные водорослевые сообщества вносят значительный вклад в общую продуктивность альгоценозов восточной части Финского залива.

Результаты исследований отражены в следующих публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Berezina N., Golubkov S., Gubelit J. 2005. Grazing effects of alien amphipods on macroalgae in the littoral zone of the Neva Estuary (eastern Gulf of Finland, Baltic Sea). *Oceanological and Hydrobiological Studies*. Vol. 34. Suppl. 1. P. 63-82.
2. Berezina N. A., Tsiplenkina I.G., Pankova E. S., Gubelit J. I. 2007. Dynamics of invertebrate communities in stony littoral of the Neva Estuary (Baltic Sea) under macroalgal blooms. *Transitional Water Bulletin*. №1. P. 49-60.
3. Никулина В.Н., Губелит Ю.И. 2007. Водоросли литорали, как показатель экологического состояния побережья восточной части Финского залива. *Биология внутренних вод*. №1 С. 40-45.
4. Березина Н. А., Голубков С. М., Губелит Ю. И. 2009. Структура литоральных зооценозов в зоне нитчатых водорослей в эстуарии реки Невы. *Биология внутренних вод*. №4. С. 48-56.
5. Губелит Ю.И. 2009. Биомасса и первичная продукция *Cladophora glomerata* Kutz. В эстуарии реки Невы. *Биология Внутренних Вод*. №4. С. 8-12.
6. Gubelit Yu. I., Berezina N. A. 2010. The causes and consequences of algal blooms: The *Cladophora glomerata* bloom and the Neva estuary (eastern Baltic Sea). *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier. Vol. 61. № 4-6. P. 183-188.
7. Gubelit Yu.I., Kovalchuk N. A. 2010. Macroalgal blooms and species diversity in the Transition Zone of the eastern Gulf of Finland. *Hydrobiologia*. Springer. Vol. 656. № 1. P. 83-86.
8. Gubelit Yu. I., Vainshtein M.B. 2011. Growth of Enterobacteria on Algal Mats in the Eastern Part of the Gulf of Finland. *Inland Water Biology*. Vol. 4. № 2. P. 132–136.
9. Nikulina V.N., Gubelit Y.I. 2011. Cyanobacteria and macroalgae in ecosystem of the Neva estuary. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. Vol. 402. № 06. DOI: 10.1051/kmae/2011049. <http://www.kmae-journal.org>.

Остальные публикации:

1. Голубков С. М., Никулина В. Н., Губелит Ю. И. 2003. Эвтрофирование и вторичное загрязнение прибрежной зоны Финского залива. Сборник материалов 6-й международной конференции и выставки Aquaterra, С. 72-75.
2. Голубков С.М., Никулина В.Н., Голубков М.С., Губелит Ю.И., Умнова Л.П. 2005. Динамика процесса эвтрофирования эстуария р. Невы в последние десятилетия. Материалы конференции Акватерра-2005. Санкт-Петербург. С. 298-303.
3. Губелит Ю.И., Голубков С.М., Березина Н.А., Никулина В.Н. 2008. Проблемы эвтрофирования прибрежных вод эстуария реки Невы. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 353–360.
4. Gubelit, Y.I.; Berezina, N.A. 2008. Coastal eutrophication phenomena in the eastern Gulf of Finland. Tallinn. Conference Proceeding of US/EU-Baltic International Symposium, 2008 IEEE/OES. P. 1–4.
5. Gubelit Y., Kovalchuk N. 2009. Biology and species diversity of macroalgae in the Transition Zone of the Gulf of Finland. in: A. Pieterse, A-M. Rytkonen, S. Hellsten (eds.) Proceedings of the 12-th European Weed Research Society Symposium, August 24-28 2009, Jyvaskyla, Finland. Reports of Finnish Environment Institute. V.15. P.51-52.

Подписано в печать 18.08.2011
Формат 60X84 1/16. Печать офсетная.
Усл. п. л. 1,5. Тираж 120. Зак. № 789

Отпечатано с оригинал-макета
в ООО «Графика-Тон»
Санкт-Петербург, ул. Уральская, 17