

ЭКОСИСТЕМА ЭСТУАРИЯ РЕКИ НЕВЫ:

**биологическое разнообразие
и экологические проблемы**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Программа отделения биологических наук
«Биологические ресурсы России:
фундаментальные основы рационального использования»
Санкт-Петербургский научный центр
ЗООЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЭКОСИСТЕМА ЭСТУАРИЯ РЕКИ НЕВЫ: биологическое разнообразие и экологические проблемы

Под редакцией
академика РАН *А.Ф. Алимова*
доктора биологических наук *С.М. Голубкова*

Товарищество научных изданий КМК
Санкт-Петербург – Москва ❖ 2008

Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы / Под ред. А.Ф. Алимова, С.М. Голубкова. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. — 477 с., ил.

В коллективной монографии обобщены результаты исследования динамики биологического разнообразия и изменений в закономерностях функционирования экосистемы эстуария реки Невы с первой половины прошлого века по современный период. Дано подробное описание сообществ организмов планктона, бентоса, рыб, птиц и тюленей восточной части Финского залива и Невской губы, а также гидрохимических, геоморфологических и гидрофизических параметров их среды обитания. Рассматриваются причины и следствия отрицательных изменений в экологическом состоянии и биологическом разнообразии эстуария реки Невы, на водосборе которого находится один из самых развитых регионов России. Показано, что резкое увеличение уровня антропогенной нагрузки на экосистему Финского залива, связанное с бурным экономическим развитием региона, в том числе, в связи с постоянно растущим транспортом энергоносителей, сочетается с неблагоприятным воздействием климатических факторов. Сделан вывод о необходимости разработки специальной стратегии управления экологическим состоянием эстуария реки Невы, учитывающим сложную динамику его экосистемы, под воздействием антропогенных и естественных факторов.

Книга рассчитана на специалистов, работающих в области экологии и природопользования, а также на широкий круг читателей интересующихся экологическими проблемами Финского залива.

Под редакцией
академика РАН *А.Ф. Алимова*
доктора биологических наук *С.М. Голубкова*

Рецензенты:
доктор биологических наук, профессор *В.В. Хлебович*
доктор биологических наук, профессор *Н.В. Максимович*

ВВЕДЕНИЕ

Невский эстуарий самый большой из Балтийских эстуариев. Он поставляет 75% общего притока пресной воды в Финский залив и играет существенную роль в формировании баланса биогенов в северо-восточной части всего Балтийского моря. Река Нева, самая большая по расходу воды из рек впадающих в Балтийское море, имеет водосбор более 276 100 км². В её устье находится крупнейший на побережье Балтики мегаполис — г. Санкт-Петербург.

С 1964 г. лаборатория пресноводной и экспериментальной гидробиологии Зоологического института РАН проводит исследования в бассейне реки Невы и в её эстуарии. Результаты этих работ опубликованы в монографиях: «Загрязнение и самоочищение реки Невы» (1968), «Невская губа: гидробиологические исследования» (1987), «Экологическое состояние водоёмов и водотоков бассейна реки Невы» (1996), «Невская губа — опыт моделирования» (1997), «Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при ведении мониторинга биологических загрязнений на Финском заливе» (2005), а также в ряде статей. В этих работах «качество воды» рассматривается как одна из общепризнанных важных характеристик водоёма. Эта характеристика не является свойством H₂O, вода приобретает её только при взаимодействии с потребителем. Состояние водоёма считается наилучшим, если при минимуме затрат он выполняет некую социально-экономическую функцию, даже когда его другие полезные функции реализуются не полностью или деградируют. Экологическая интерпретация понятия «качества воды» предполагает такое использование водных ресурсов, при котором биологические ресурсы водоёмов возобновляются и приумножаются. Для экосистемы Невской губы и восточной части Финского залива в 90-е годы прошлого века был разработан «интегральный показатель качества вод», основанный на структурных характеристиках сообществ донных животных и позволяющий учитывать влияние загрязнения вод токсическими и органическими веществами (Балушкина, 1997).

По результатам исследований Зоологического института РАН, выполненным в первой половине 80-х годов прошлого века, было, в частности, показано, что строительство защитных от наводнения сооружений не приведёт к ухудшению качества вод в открытой части Невской губы. Отрицательные последствия строительства будут наблюдаться в основном в прибрежье и за пределами Невской губы, в восточной части Финского залива, где следует ожидать «цветение» воды в ос-

новном в курортном районе. Этот прогноз полностью подтвердился.

В связи с развернувшимся в последние годы строительством на территории эстуария р. Невы портовых сооружений, намыва новых территории вблизи устья р. Смоленки, строительством западного скоростного диаметра и другими работами, могущими и уже оказывающими воздействия, в ряде случаев отрицательные, на этот водоем, необходимо оценить его экологическое состояние и направления изменений в экосистемах эстуария. С этими целями и были проведены Зоологическим институтом гидробиологические исследования в эстуарии р. Невы. Кроме того, в представленную коллективную монографию были включены результаты работ на этой акватории специалистов из других учреждений (Российского государственного гидрометеорологического университета, Института озераедения РАН, Ботанического института РАН, Государственного научно-исследовательского института озерного и речного хозяйства, Всероссийского геологического института, ФГУНПП «Севморгео»). Впервые предпринята попытка качественной и количественной оценки воздействия хозяйственной деятельности на популяции птиц и млекопитающих.

Проведение исследований сотрудниками ЗИН РАН финансировались федеральной целевой программой «Мировой океан», грантом Президента РФ (НШ-5577.2006.4), программой ОБН РАН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами» и программой Президиума РАН «Научные основы сохранения биоразнообразия России», грантом РФФИ № 08-04-00101-а проектами СПб НЦ РАН и администрации СПб.). Результаты многолетних исследований в эстуарии р. Невы в апреле 2007 г. были доложены на заседании Президиума РАН и получили высокую оценку.

Благодарности. Легководолазный отбор проб и визуальные описания биотопов были выполнены Н.А. Ковальчуком (БИН РАН). Видовой состав *Oligochaeta* был определен И.Г. Ципленкиной; личинок насекомых: *Chironomidae* — Е.В. Балускиной, *Trichoptera* — В.Г. Власовой; *Amphipoda* — Н.А. Березиной, Н.Л. Цветковой (ЗИН РАН) и О. Спиридо (АО ИО РАН); *Bryozoa* — В.И. Гонтарь (ЗИН РАН).

Авторы выражают искреннюю признательность Ю.И. Губелит за большую помощь при подготовке рукописи монографии к изданию, А.Н. Ширяеву и команде катера «Риск» за неоценимую помощь в сборе геолого-геоморфологических, гидрологических и гидробиологических материалов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Река Нева — самая большая по расходу воды (в устье в среднем — $2530 \text{ м}^3\text{сек}^{-1}$) река в бассейне Балтийского моря. В ее устье находится крупнейший на побережье Балтики мегаполис — г. Санкт-Петербург. В эстуарии р. Невы обычно выделяют: Невскую губу — пресноводную и мелководную (средняя глубина 3.5–4 м) верхнюю часть внутреннего эстуария, внутренний эстуарий — мелководный (до 25 м) район на востоке Финского залива Балтийского моря, нижнюю часть внутреннего эстуария, с соленостью поверхностных вод 1–3‰, внешний эстуарий — глубоководный (до 45 м) район на востоке Финского залива с соленостью поверхностных вод 3–5‰. Граница между внутренним и внешним эстуарием проходит примерно по 29° в.д. За западную границу внешнего эстуария обычно принимают долготу о. Мощный: $27^\circ 50'$ в.д. В середине 80-х годов прошлого века Невская губа была отделена от внутреннего эстуария дамбой защитных сооружений Ленинграда от наводнений.

При геолого-геоморфологических исследованиях эстуария р. Невы привязка наблюдений была осуществлена при помощи космической системы высокоточного позиционирования фирмы GARMIN-GPS 128, сопряженной с приемником (GARMIN-GBR 21) сигналов радиомаяка для осуществления дифференциальных коррекций координат (диапазон э/напряжения: 10–20 в, мощность: 2 Вт, размеры: $15.6 \times 5.1 \times 1.23$ см, вес: 454 г, точность определения координат: 15 м).

Профилирование ГЛБО выполнено с помощью гидролокатора бокового обзора (ГЛБО) CM2 производства C-MAX Ltd. Используемый ГЛБО состоит из: 1) устройства ввода и обработки данных, интегрирующего в себе все функции приема-передатчика, записи данных на 3.5-дюймовый магнитооптический диск и управления отображением; 2) монитора VGA; 3) двухчастотного буксируемого устройства, передающего в цифровом виде акустическую информацию; 4) специализированной клавиатуры и мыши для ввода команд и оперативной обработки поступающей информации; 5) буксировочного кабель-троса. Навигационные данные непрерывно вводились с помощью GPS Garmin-128 через порт типа RS232 на устройстве ввода. Данная модель ГЛБО при рабочей частоте 102 кГц (НЧ) допускает выбор 5 диапазонов с дальностью обзора (с левого и правого борта) 100, 200, 300, 400, 500 м. При рабочей частоте 324 кГц (ВЧ) дальность обзора может составлять (с левого и правого борта) 25, 50, 75, 100, 150 м.

В процессе профилирования использовали обе рабочие частоты. При профилировании была выбрана рабочая частота 102 кГц с диапазоном левого и правого борта по 100 м и общей полосой обзора 200 м. Работа на профилях, где требовались более детальные исследования, велась с использованием высокой час-

тоты ВЧ = 324 кГц с дальностью обзора 50 м на один борт. Скорость судна во время профилирования была ограничена 4 узлами. Полевая запись данных производилась в специальном формате программы регистрации. Экспорт записей гидролокатора как файлов производился в форматы *.dat и *.bmp-Windows.

Метод гидролокации бокового обзора позволяет получать непрерывную акустическую картину дна залива. Сонограмма каждого профиля представляет собой полосу, фиксирующую неоднородности дна залива в полосе обзора 200 м (при 100-метровом диапазоне) или 100 м (при 50-метровом диапазоне). В каждой точке профиля определяются координаты и глубина залива. Сетка профилей в зависимости от выбранного диапазона закладывается таким образом, чтобы площадь перекрытия изображений, полученных при прохождении соседних профилей, составляла не менее 15%. После обработки записей ГЛБО с помощью программы Ostopus удастся получить площадное изображение дна залива в масштабах от 1 : 1000 и мельче. Анализируя полученные таким образом схемы-мозаики ГЛБО, удастся выявить протяженность и взаимное расположение объектов (моренных гряд, границ зон динамичных песков, песчаных валов и т.д.).

Сопоставляя сонограммы, полученные в режиме повторных съемок, можно получить информацию о динамике рельефа и осадочного покрова дна (заносимость песком, заиление, размыв дна и т.д.), что является одним из важных факторов в распределении группировок донных организмов и количественном развитии их популяций.

Детализационный (интерпретационный) отбор проб в субаквальной части береговой зоны вели с помощью дночерпателя Петерсена. При исследованиях в областях развития алевро-пелитовых илов пробы собирали с помощью герметичной грунтовой трубки конструкции Лаури-Ниемисто. Работы сопровождали эхолотированием. В полевых условиях было проведено описание осадка (гранулометрический состав, цвет, консистенция, водонасыщенность, наличие или отсутствие зоны окисления, отмечено присутствие донной флоры и фауны, растительного и животного детрита, техногенных примесей и т.д.). Из ковшовых проб поверхностных осадков были взяты образцы для последующего лабораторного анализа распределения осадочных частиц по размеру. Анализ послойного строения кернов использовался для характеристики структуры и текстуры верхнего слоя илов, получения информации о чередовании периодов размыва и накопления осадков.

В период объездов по акватории эстуария (рис. 1, 2) пробы отбирали из фотического слоя, определенного как равные двум прозраčnostям. Воду отбирали батометром через каждый метр, сливали в одну емкость, перемешивали и пробу помещали в склянки объемом 0.3 л, сразу же фиксировали раствором Люголя. При дальнейшем хранении проб добавлялся формалин. Для наблюдений за сезонной динамикой фитопланктона (в 1997–2004 гг. пробы отбирались на ст. 21 (рис. 2) с середины мая по сентябрь – октябрь с интервалом в две недели, в 1996 г. — 4 раза за сезон. Фитопланктон отбирали батометром из поверхностного слоя.

Определение видового состава и подсчет водорослей проводились в осадочных цилиндрах объемом 10–25 мл с использованием инвертированного микроскопа Hydro-Bios. Биомассу рассчитывали общепринятым способом по суммарному объему клеток водорослей, принимая, что 10^9 мкм³ соответствует 1 мг сырой биомассы фитопланктона. К доминирующим видам отнесены те, численность и/или биомасса которых в тот или иной период превышали 10% от общей численности фитопланктона.

Пробы бактериопланктона отбирали батометром в конце июля – начале августа 2003, 2004 и 2006 гг. на станциях расположенных в Невской губе и восточной части Финского залива (рис. 1). Пробы интегрировали из эвфотной зоны и гипolimниона и фиксировали глутаровым альдегидом на борту судна. Численность бактериопланктона определялась методом эпифлуоресцентной микроскопии на ядерных фильтрах с диаметром пор 0.20 мкм, предварительно окрашенных суданом черным. Использовались люминесцентный микроскоп ЛЮАМ-11 (увеличение $\times 1500$) и флюорохром DAPI (Porter, 1980). На каждом из трех параллельных фильтров просматривали по 9 полей зрения. Исходя из числа бактерий четырех морфологических групп и их средних объемов, рассчитывали биомассу бактериопланктона.

Ввиду неоднозначности расчета бактериальной биомассы (из-за применения разных методик) при сравнительном анализе современного микробиологического состояния акватории разных районов эстуария р. Невы с данными 1930–90-х гг. в качестве критерия использовалось только общее число бактерий. При рассмотрении в отдельности каждого района под общей численностью/биомассой бактериопланктона понималась величина, полученная с учетом общих для трех лет наблюдения станций.

Исследование первичной продукции и деструкции в конце июля начале августа 2003–2007 гг. на 30 станциях в открытых водах эстуария р. Невы (рис. 1, 2), а так же в Выборгском заливе. Для этого были отобраны интегральные пробы воды отдельно из слоя выше и ниже термоклина. На каждой станции отбора проб определялась прозрачность воды по диску Секки (Sec), температура (T) и соленость (S), с помощью гидрометеорологического зонда.

Пробы, отобранные выше термоклина, использовались для определения интенсивности фотосинтеза фитопланктона на оптимальной глубине (Аопт) и скорости деструкции органического вещества планктоном (Д) по методу светлых и темных склянок в кислородной модификации. Интенсивность фотосинтеза измерялась в интегральной пробе выше термоклина, а не в пробе из эвфотной зоны. Как показывают исследования последних лет (Reynolds, 1999), горизонт выше температурного скачка постоянно перемещивается причем за достаточно короткое время, следовательно, водоросли в этом слое распределены гомогенно и вовлечены вместе с водными массами в постоянное вертикальное движение. Это позволяет не отбирать отдельно пробы из эвфотной зоны для определения первичной продукции, а использовать пробы воды, отобранные из горизонта выше температурного скачка,

даже если глубина этого горизонта превышает глубину эвфотной зоны. Глубина эвфотной зоны используется только при расчетах величины первичной продукции. Из каждой пробы брали по три повторности на определение $A_{\text{опт}}$ и D . В пробах отобранных ниже термоклина определялась только деструкция. Концентрацию кислорода в склянках определяли по методу Винклера. Склянки экспонировались на палубе судна в аквариуме в течение 2–6 часов при температуре поверхностной морской воды. $A_{\text{опт}}$ рассчитывали как разницу между концентрацией кислорода в светлой и темной склянках. D — как разницу между концентрацией кислорода в начальной и темной склянках. Для перевода мгО в мгС использовался переводной коэффициент 0.375 (Бульон, 1994). Интегральную первичную продукцию в столбе воды рассчитывали по формуле (Бульон, 1994):

$$A_{\text{инт}} = A_{\text{опт}} \text{ Sec},$$

где $A_{\text{инт}}$ — валовая первичная продукция, г С м⁻² сутки⁻¹; $A_{\text{опт}}$ — интенсивность фотосинтеза на оптимальной глубине, г С м⁻³ сутки⁻¹; Sec — прозрачность воды по диску Секки, м.

Из оставшегося объема пробы отбирались аликвоты воды для лабораторного определения концентрации общего фосфора ($P_{\text{общ}}$), хлорофилла а (Хл а), общей взвеси (ОВ) и взвешенного органического вещества (ВОВ). Концентрацию $P_{\text{общ}}$ в нефiltroванной воде определяли молибдатным методом (Strickland, Parsons, 1968) с использованием аскорбиновой кислоты. Концентрацию ОВ определяли гравиметрическим методом. Пробы воды провильтровывались через предварительно прокипяченные, высушенные при температуре 90 °С и взвешенные мембранные фильтры марки Millipore white AAWP с размером пор 0.8 мкм. После этого фильтры с сестомом высушивались при 105 °С и взвешивались. Концентрацию Хл а определяли спектрофотометрическим методом (Strickland, Parsons, 1968). Пробы воды профильтровывались через предварительно прокипяченные мембранные фильтры марки Millipore white AAWP с размером пор 0.8 мкм. Фильтры со взвесью растворяли в 90%-ном растворе ацетона и измеряли оптическую плотность экстрактов хлорофилла при длинах волн 665 и 750 нм на спектрофотометре UNICO 2100. Для расчета использовались коэффициенты SCOR-UNESCO (Report of SCOR-UNESCO, 1966). Концентрацию ВОВ проводили методом бихроматного окисления (Golterman, 1969). Пробы воды профильтровывались через стеклофильтр марки Whatman GF/F с размером пор 0.7 мкм. По разнице между концентрациями ОВ и ВОВ рассчитывали концентрацию взвешенного минерального вещества (ВМВ). По всем полученным данным проводилась математическая обработка, рассчитана ошибка среднего из трех повторностей определения.

Для характеристики видового состава макрозообентоса, его количественного развития, оценки качества вод и состояния экосистем Невской губы и восточной части Финского залива послужили пробы зообентоса, собранные сотрудниками лаборатории пресноводной и экспериментальной гидробиологии Зоологического института РАН в начале октября 1994 и 1995 гг., в августе 1996, 1997, 1998, июне 2001, в июле 2003 г., июле и августе 2002, 2004, 2005 гг.. Число станций, иссле-

дованных в разные годы в Невской губе и восточной части Финского залива колебалось от 14 в 1994–1995 гг. до 60 станций в 1997 г.

Для характеристики сообществ зообентоса Невской губы и восточной части Финского залива использовалась совокупность таких структурных показателей, как видовой состав, число видов, численность, биомасса и рассчитанные на их основе индексы, в частности индекс видового разнообразия Шеннона. Выбор показателей для оценки состояния исследованных участков Невской губы и восточной части Финского залива по изменениям структуры донных сообществ, происходящих под влиянием антропогенных воздействий осуществлялся по следующим принципам. Показатель должен отражать: 1) смешанный характер воздействия загрязнения органическими и токсическими веществами; 2) изменения доминирующих и субдоминантных групп донных животных; 3) изменения структуры всего сообщества в целом. Учитывая смешанный характер загрязнения и видовой состав донных сообществ были выбраны: индекс сапротоксикозности St (Яковлев, 1988), биотический индекс Вудивисса (BI), (Woodiwiss, 1964), индекс Гуднайта и Уитлея (No/Nc), (Goodnight, Whitley, 1961) и индекс Балускиной (Kch) (Балушкина, 1976).

С увеличением загрязнения значения индексов St, No/Nc и Kch возрастают, значения BI — снижаются. Поэтому мы выразили величину BI обратной его значению величиной ($1/BI$), и в этом случае биотический индекс приобретает ту же направленность, что и у остальных трех показателей, т.е. по мере возрастания загрязнения увеличивается. Различная размерность выбранных показателей также затрудняет сравнение их абсолютных величин. Значения индекса No/Nc выражены в процентах. Поэтому показатели St, Kch и $1/BI$ также были выражены в процентах от их максимальных значений. Описание метода оценки качества вод по IP и IP' более детально изложено в работах Е.В. Балускиной (Балушкина, 1997; Balushkina, Finogenova, 2003). Градации качества вод и оценки состояния экосистем представлены в табл. 1.

В 2000–2002 гг. при исследовании прибрежной зоны акватории восточной части Финского залива в рамках Российско-Финского проекта «Ecological studies of the anthropogenic and natural factors, which control harmful macroalgal blooms in the littoral of the Neva Estuary» (Golubkov et al., 2003) было выполнено картирование глубин (с использованием эхолота) и типа грунтов (визуальное описание аквалангиста) на протяжении четырех профилей в Курортном районе через каждые 50–110 м дистанции от уреза воды до глубины 5 м. Благодаря географическому позиционированию каждой точки оказалось возможным впоследствии наложить профили на сонограммы, выполненные с помощью ГЛБО и на уточненную литологическую карту, оценить эффективность обоих методов для определения местоположения и предварительного описания биотопов на примере Курортного района. Отбор гидробиологических проб для биологической характеристики биотопов на профилях осуществлялся легководолазным методом и сопровождался измерениями величин глубины и прозрачности (по диску Секки), температуры и солености (электропро-

Таблица 1

Классы качества вод и состояния экосистем по показателям зообентоса
St, No/Nc, Kch, 1/BI, IP и IP’*

St	No/Nc	Kch	1/BI	IP	IP’	Номер класса вод	Качество вод	Состояние экосистемы
						1	Очень чистые	
25	0	1.22	10	36.2	9.05			
						2	Чистые	Относительно удовлетворительное
37.5	50	9.4	20	116.9	29.22			
						3	Умеренно загрязненные	Напряженное
62.5	60	56.5	33	212	53			
						4	Загрязненные	Критическое
				265	66.25			
						4–5	Загрязненные – грязные	Кризисное
87.5	80	78.26	50	295.8	73.95			
						5	Грязные	Катастрофическое
100	100	100	100	400	100			

Примечание. St — индекс сапротоксности Яковлева (Яковлев, 1988); BI — биотический индекс Вудивисса (Woodiwiss, 1964); No/Nc — индекс Гуднайта и Уитлея (Goodnight, Whitley, 1961) и Kch — индекс Балушкиной (Балушкина, 1976, 1987). Индексы преобразованы и выражены в процентах от максимальных значений. Детальное описание индексов St, No/Nc, Kch, 1/BI, IP и IP’ и их преобразований приведено в ряде работ (Балушкина, 1997; Балушкина, 2004; Balushkina, Finogenova, 2003).

водности) воды, визуальным описанием биотопа аквалангистом и определением проективного покрытия дна твердыми субстратами.

В прибрежной зоне акватории эстуария р. Невы для оценки количества нитчатых водорослей *Cladophora* и микрофитообрастаний брались 3–5 камней, с которых делались смывы. Водоросли счищали с камней, затем собранную кладофору и камни одновременно промывали в определенном объеме дистиллированной воды. Определяли площадь проективного покрытия отобранных камней. Кладофору высушивали на воздухе и взвешивали, смыв фиксировали раствором Люголя и в нем, используя камеру Нажотта объемом 0.02–0.05 мл, определяли видовой состав и количество микрофитообрастаний. Расчет количественного развития водорослей проводился на единицу площади камня. Определение скорости продуцирования органического вещества водорослями *Cladophora* и фитопланктоном проводилось методом склянок в кислородной модификации. Водоросли счищали с камней, тщательно отмывали от взвесей и эпифитов в воде, отобранной из залива и профильтрованной через сеть с диаметром пор 100 мкм. Затем водоросли

подсушивали фильтровальной бумагой и делали навески по 0.025–0.036 г. Навески водорослей помещали в светлые и темные калиброванные склянки с притертыми пробками объемом 0.25 л. Склянки заполняли профильтрованной водой. Светлые и темные склянки (каждая в трех повторностях) экспонировали в течение суток на глубине отбора проб.

После экспозиции из склянок сифоном отбирали по 100 мл пробы и определяли содержание кислорода методом Винклера. Расчет скорости фотосинтеза проводился на грамм сырого веса водорослей с дальнейшим пересчетом на углерод. При этом принималось, что в сырой массе *Cladophora* содержится 10% углерода. Для определения первичной продукции фитопланктона использовали 100 мл склянки.

Исследования макрозообентоса проводили ежегодно в середине лета на 12 станциях в литорали на российской акватории Финского залива (рис. 1, 2) в 2002, 2004 и 2005 гг., а также на некоторых станциях в 2006 г. В Невской губе в зоне зарослей высших водных растений сезонные исследования макрозообентоса проводили в 1999, 2003–2005 гг. на ст. 6 (Ольгино; 59°59'38" с.ш., 30°05'28" в.д.) и в 1998, 1999 и 2001 гг. на ст. 6а (Морская; 59°59'31" с.ш., 30°03'57" в.д.), расположенных в северной части Невской губы (рис. 2). Для оценки изменений в составе сообщества, происшедших с 1980-х гг., были использованы данные, полученные на станции 6а в 1984–1985 гг. (Сообщества пресноводных беспозвоночных..., 1988). В зарослях высшей водной растительности доминировали тростники (*Phragmites australis*), а также часто встречались камыши (*Schoenoplectus lacustris*) и рдесты (преимущественно *Potamogeton pectinatus*, *P. natans*, *P. perfoliatus*). Динамику макрозообентоса на открытых участках каменисто-песчаной литорали эстуария подробно исследовали на двух станциях: на севере эстуария в курортной зоне г. Санкт-Петербурга (ст. 4) и в южной части Невской губы на территории нижнего парка музея-заповедника «Петродворец» (ст. 8) с конца мая по октябрь 2002–2006 гг.

Географические координаты станций определяли с помощью спутниковой навигационной системы (GPS) Transpak II. Температуру и содержание кислорода в воде измеряли аналитическим анализатором Oxi-330, электропроводность воды (Е, μS) — кондуктометром DistWP4 при температуре анализируемого раствора 25 °С. Общую концентрацию растворенных солей, или минерализацию воды (мг/л) пересчитывали по формуле: $\text{TDS} = 0.47 \cdot \text{E}1.08$. Концентрацию общего фосфора в воде (Р, мкг/л) определяли стандартным колориметрическим методом (Methods for chemical analysis..., 1969) при длине волны 885 нм в спектрофотометре Unico-2100.

Количественные пробы макрозообентоса на открытой литорали отбирали на глубине 0.5 м трубчатым пробоотборником с площадью захвата 0.03 м², который представляет собой трубу из листового железа (или пластика) диаметром 0.2 м и высотой 0.7 м в 3 повторах, или дночерпателем Заболоцкого (0.025 м²) в 4 повторах по ранее описанной методике (Методические рекомендации..., 2005). В зарослях высшей водной растительности (тростников, камышей) количественные

пробы беспозвоночных отбирают с помощью зарослевого пробоотборника площадью 0.125 м², представляющего собой трубу из листового железа диаметром 0.4 м и высотой 1.4 м. К нижнему краю такой трубы приклепано ножовочное полотно. Методика отбора проб подробно описана (Сообщества пресноводных беспозвоночных..., 1988, Методические рекомендации..., 2005).

Пробы с каменистых субстратов на глубинах от 1.5 до 2 м отбирали водолазным способом, используя рамку, оснащенную капроновой сетью с размером ячеек 250 мкн. Такой рамкой накрывали каменистые субстраты и снизу плотным листом вырезали 5-см слой мягкого субстрата, подстилающего камни. Рамку переворачивают и плотно завязывают отверстие сети. В случае, если субстраты представлены только камнями, то, используя такую рамку, осторожно собирали верхний слой камней. После отбора субстрат помещали в таз с водой, осторожно соскребая и смывая беспозвоночных-обрастателей с поверхности камней. Все части пробы промывали, используя сито (250 мкн), помещали в герметичные пластиковые пакеты, вкладывали этикетку и фиксировали 4%-ным формалином.

Количественные донные пробы на участках, занятых моренными грядками и песками с грубообломочными отложениями разного типа (биотоп каменистых и смешанных грунтов, подтип 3а) были собраны с применением легководолазного метода рамкой 25 × 25 см (Методические рекомендации..., 2005). На участках дна с песчаными, глинистыми и мелкообломочными грунтами (биотоп подвижных песков различного гранулометрического состава, подтип 4а) пробы были собраны зубчатым легководолазным дночерпателем с площадью захвата 0.05 м² и пластиковой трубкой диаметром 7 см (0.0039 м²). Впоследствии, поскольку зообентос здесь представлен многочисленными мелкими формами (см. ниже) пробы отбирали только трубкой (1–3 трубки на 1 пробу), с помощью аквалангиста на типичных участках дна. Аквалангист попутно вел визуальный учет крупных двусторчатых моллюсков сем. Unionidae. В отдельных случаях для учета унионид использовался также рамочный метод. Пробы на мягких грунтах в зоне бассейновой аккумуляции (биотоп 1) для сравнительных целей были собраны дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0.025 м². На каждой станции было взято не менее трех количественных проб.

В ходе камеральной обработки в каждой пробе были определены численность и биомасса доминирующих видов и таксономических групп в ранге от семейства до типа, а также общие численность и биомасса макробеспозвоночных. Численность макробеспозвоночных была выражена в экз./м², биомасса в г/м². Для каждой станции или профиля подсчитывались частота встречаемости доминирующих видов и таксонов надвидового ранга, их доля в значениях общей биомассы макробеспозвоночных.

Данные по численности и биомассе поселений макробеспозвоночных приведены на соответствующих рисунках в виде средневыворочного значения и его стандартного отклонения. Анализ межгодовой изменчивости биомассы дрейссены был выполнен с применением однофакторного дисперсионного анализа с логариф-

мически трансформированными данными. Значения всех статистических характеристик считались достоверными при уровне значимости $p < 0.05$.

Расчет осажденного органического вещества с фекалиями и псевдофекалиями дрейссены был произведен с использованием значений концентрации органического вещества в сестоне, уравнений зависимости скоростей фильтрации и дыхания от массы тела дрейссены (Алимов, 1981) и общей схемы расчета баланса популяции двустворчатого моллюска-фильтратора с учетом температурных поправок предложенных А.Ф. Алимовым (там же).

В лаборатории пробы промывали с помощью набора почвенных сит с отверстиями диаметром от 3 мм до 10 мм. Сита ставили в сачок (с размером ячеей 250 мкн), куда попадали самые мелкие беспозвоночные. Промытые крупные фракции пробы, оставшиеся на почвенных ситах, разбирали целиком в кювете с чистой водой. Мелкую фракцию просматривали под стереоскопическим микроскопом в счетной камере. Отобранных беспозвоночных разделяли по группам: Plathelminthes, Nemertina, Oligochaeta, Hirudinea, Gastropoda, Bivalvia, Amphipoda, Isopoda, Trichoptera, Odonata, Ephemeroptera, Coleoptera, Megaloptera, Chironomidae, Ceratopogonidae и прочие, сосчитывали и взвешивали на торсионных весах, предварительно обсушивая на фильтровальной бумаге.

Биологические характеристики (численность и биомасса) были выражены как средняя арифметическая $\pm$ SE (стандартная ошибка). Возможные различия в параметрах между датами отбора и станциями были протестированы однофакторным анализом главных компонент (ANOVA). Перед статистической обработкой данные были трансформированы путем логарифмирования ($\lg(X + 1)$). Коэффициент Пирсона был применен для оценки взаимосвязей между характеристиками ключевых групп зообентоса и уровнем кислорода в воде. Средние показатели биомассы и численности пересчитывали на площадь 1 м².

Пробы мейобентоса отбирались в 2001–2006 гг. на глубинах 0.3–0.5 м в прибрежных зонах Невской губы и Финского залива, а также в глубоководной части этой акватории на глубинах 3.0–25.0 м (рис. 1). Мейобентос Невской губы прежде уже изучался (Петухов, 1987). Данное исследование позволит выяснить современное состояние мейобентоса Невской губы (на примере двух станций) и обширной территории Финского залива (в отличие от предыдущего исследования). Грунты на станциях отбора проб были: в прибрежье — пески разной степени заиленности, на больших глубинах — илы. На малых глубинах пробы отбирались почвенным стаканчиком, а на больших — дночерпателем. Часть проб фиксировали 4%-ным формалином, часть разбирали в живом виде. Пробу процеживали через сито с ячейей 90 мкм и просматривали под биноклем в камере Богорова. Видовое определение олигохет не проводили. Индивидуальная масса животных вычислялась по уравнению $W = gLb$, где W — индивидуальная масса, мг (для Nematoda — мкг); L — длина тела, мм; константы g , b уравнения для различных животных приведены в табл. 2.

1. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ, ГЕОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

1.1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Финский залив Балтийского моря простирается по линии мыс Пысаспеа (Эстония) — западная оконечность полуострова Ханко (Финляндия) в направлении на восток — северо-восток до устья р. Невы.

Длина залива около 400 км, ширина у входа Пысаспеа – Ханко — 70 км, на меридиане о. Мощный увеличивается до 130 км, а восточнее (Шепелевский разрез) сужается до 20 км. Общая площадь водного зеркала 29 700 км² (7% от общей площади Балтийского моря). Объем водной массы — 1120 км³ (5% от объема водной массы Балтийского моря), средняя глубина — 38 м, максимальная глубина 115 м. Водосборный бассейн — 421 тыс. км², приток воды — 109 км³ в год, доля реки Невы от всего поступления по рекам — 70%.

Эстуарий реки Невы разделяется естественными и искусственными преградами на верхний (Невская губа) и нижний (восточная часть Финского залива) районы. Эти районы существенно различаются абиотическими условиями и структурно-функциональными характеристиками экосистемы.

Часть Финского залива, располагающаяся восточнее о. Гогланд, принято называть восточной частью Финского залива, площадь водного зеркала которой составляет 12 500 км², объем водной массы — 276 км³. Восточная часть Финского залива, включающая в себя мелководный и глубоководный районы, Невскую губу, Выборгский залив, Лужскую и Копорскую губы, представляет собой ряд сложных экосистем, качество вод в которых зависит от сочетания природных и антропогенных факторов, различных в каждом из перечисленных районов (Нежиховский, 1988). Максимальная глубина восточной части Финского залива достигает 60–65 м в районе о. Гогланд, в восточном направлении происходит уменьшение глубин.

В восточной части Финского залива выделяется ряд районов, различающихся своими специфическими чертами гидролого-гидрохимического и гидробиологического режимов: Невская губа — от устья р. Невы на востоке до комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС), мелководный район — от Невской губы до разреза мыс Шепелевский – мыс Флотский; глубоко-

водный район — от Шепелевского разреза до о. Гогланд, Лужская и Копорская губы, а также Выборгский залив. В пределах Невской губы и мелководном районе прибрежные курортные зоны рассматриваются отдельно (рис. 1.1.1).

Восточная часть Финского залива представляет собой переходный район от пресноводного к солоноватоводному. На режим ее солёности сильное опресняющее влияние оказывает сток впадающих в нее рек, и, прежде всего, реки Невы. В направлении с востока на запад, по мере уменьшения влияния речного стока, солёность воды в заливе возрастает. Пресная вода распространяется в западном направлении по поверхности залива, в то же время солоноватые воды в виде клина продвигаются в восточном направлении. Солёность воды на поверхности с востока на запад изменяется от 0.2 до 5.8‰, у дна — от 0.3 до 8.5‰.

Основные реки бассейна восточной части Финского залива: река Нева, вытекающая из Ладожского озера, река Луга, притекающая на территорию Ленинградской области из Новгородской области, и река Плюсса притекающая из Псковской области, устьевой участок проходит по Сланцевскому району Ленинградской области и впадает в Нарвское водохранилище.

Невская губа полузамкнутый мелководный водоем, западная граница которого в настоящее время проходит по створу сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений. С востока границей губы служит бар реки Невы, который представляет собой систему отмелей, разделенных между собой ложбинами — фарватерами и является продолжением дельты Невы. Длина бара 3–5 км, ширина —

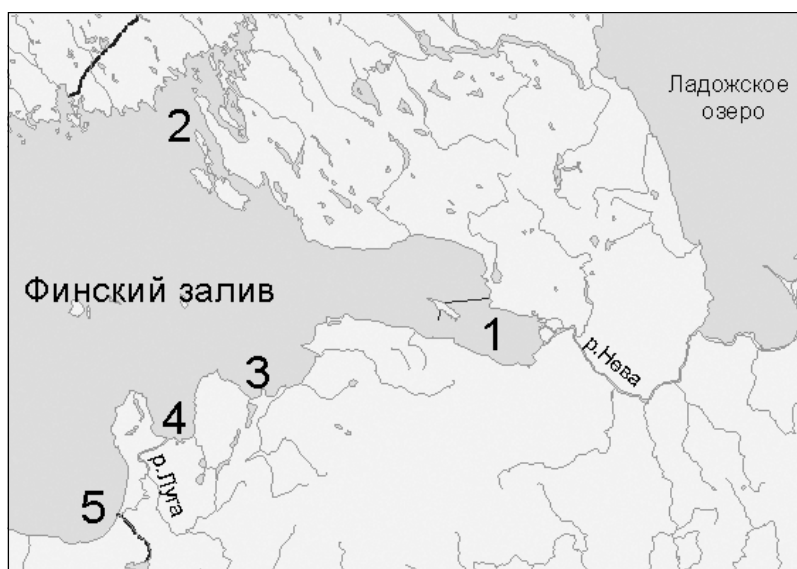


Рис. 1.1.1. Восточная часть Финского залива.

1 — Невская губа, 2 — Выборгский залив, 3 — Копорская губа, 4 — Лужская губа, 5 — Нарвский залив.

13–15 км; глубина на отмелях составляет до 1.5–2.5 м, на фарватерах — до 1.5–3.5 м. Невская губа сообщается с Финским заливом двумя проливами: Северными и Южными воротами. Ширина Северных ворот составляет около 12 км, естественные глубины 3–4 м; ширина Южных ворот — 6 км. В Южных воротах расположена обширная Ломоносовская отмель с глубинами около 1 м. Длина Невской губы составляет 21 км, наибольшая ширина — 15 км. Площадь водного зеркала — около 380 км². Объем водной массы — 1.6 м³. Преобладающие глубины в губе составляют от 3 до 5 м. Наибольшие естественные глубины не превышают 6.4 м. С востока на запад Невскую губу пересекает Морской канал, ширина которого составляет 100 м, а глубина 12 м.

Воды реки Невы вливаются в Невскую губу пятью мощными потоками: Большая и Средняя Невки, продолжением которых служит Елагинский фарватер; Малая Невка и Малая Нева, переходящие в Петровский фарватер; Большая Нева, разделяющаяся на Галерный, Корабельный и Гребной фарватеры. В Невскую губу, кроме Невы, впадает 8 рек, наиболее крупными из них являются реки Стрелка, Дудергофка и Шингарка.

Система течений в Невской губе неустойчива, а водные массы очень подвижны. При стоковых течениях в губе из-за наличия препятствий (отмели, дамбы) и неровностей берега возможно образование на отдельных участках губы застойных зон, которые разрушаются при смене стоковых течений стоково-градиентными или стоково-ветровыми. Средние скорости переноса невыхских вод в губе составляют 6–8 см/с в северной и 1–5 см/с в южной частях губы.

Особенностями Невской губы являются небольшая глубина (около 4 м), высокий водообмен (0.015 года), гомотермия, вода с соленостью менее 1‰ (Шишкин, 1988). Невская губа поэтому рассматривается как пресноводный водоем.

Невская вода слабоминерализована. В среднем содержание растворенных минеральных веществ в ней, или ее минерализация, составляет 56 мг/л, что в 3–5 раз меньше, чем на Волге и Оке. Слабая минерализация объясняется прежде всего особенностями климата и рельефа бассейна. Грунтовые воды, всегда богатые минеральными солями, занимают небольшой удельный вес в питании реки Невы.

Хотя воды Невской губы в основном пресные, довольно часто (особенно во время продолжительных и сильных сгонных ветров) наблюдается проникновение в нее осолоненных вод вдоль дна Морского канала (основного фарватера Санкт-Петербургского порта). В этих случаях в западной части Морского канала возможно возникновение двухслойной вертикальной структуры вод с верхним квазиоднородным слоем мощностью около 5–7 м. Соответствующий вертикальный градиент солености может достигать 0.7–0.9‰ на 5 м летом и 0.3–0.4‰ на 5 м осенью. Весной в период наибольшей повторяемости сильных сгонных ветров, придонная соленость здесь может достигать 2.9–3.2‰ при вертикальном градиенте 1.5–1.8‰ на глубинах 5 м. Распределение солености определяется взаимодействием между пресным речным стоком (в основном за счет стока реки Невы) и соленоватыми глубинными водами Финского залива.

Уровневый режим Невской губы тесно связан с особенностями атмосферной циркуляции над Балтийским морем и Финским заливом. Характер течений в Невской губе в основном зависит от стока Невы. Средние скорости переноса невыхских вод по губе составляют 6–8 в северной и 1–5 см/с в южной частях акватории губы. Средняя многолетняя температура воды Невской губы составляет 6.6 °С.

В мелководной Невской губе температура воды в большей степени следует за температурой воздуха, чем в реке Неве. Этим и объясняется, что весной и летом вода в губе теплее, чем в реке, а осенью холоднее. Внутрисуточные колебания температуры воды в губе довольно значительны и нередко достигают 2–3 °С. В центральной, наиболее глубоководной части губы весной и летом вода несколько холоднее, чем в прибрежной зоне (на 1–2 °С), а осенью, наоборот, теплее. Длительность купального сезона у берегов Невской губы почти такая же, как на верхней и средней Волге, и большей частью составляет 50–70 дней.

В конце дельты Нева собирает свои воды в пять крупных потоков, которые затем поступают на бар реки. Бар Невы, или Невское взморье, представляет собой систему отмелей, разделенных продольными ложбинами — фарватерами. Длина бара с востока на запад 3–5 км, ширина с севера на юг 12–15 км.

Длина Невской губы от дельты реки Невы до острова Котлин составляет 21 км, наибольшая ширина 15 км, площадь акватории — около 400 км² (табл. 1.1.1). Преобладающие глубины в губе от 3 до 5 м. Наибольшие естественные глубины не превышают 6.4 м. Объем воды в Невской губе 1.6 км³. Кроме реки Невы, в Невскую губу впадает около 500 мелких водотоков. Многочисленные отмели с глубинами 2–3 м, рязи и форты в Северных и Южных воротах, образующие естественную границу между Невской губой и восточной частью Финского залива, затрудняют водообмен между этими районами. От устья реки Большая Нева до Кронштадта проложен Морской канал шириной около 100 м и глубиной до 12 м, огражденный дамбами на протяжении 9.6 км от устья реки. В восточной части Невской губы расположены баровые отмели, являющиеся подводным продолжением Невской дельты. Длина отмелей — 3–5, ширина 13–15 км (Водные объекты Санкт-Петербурга, 2002).

Таблица 1.1.1

Морфометрические и гидрологические характеристики Невской губы

Длина, км	21	Площадь поверхности, км ²	400
Ширина, км	15	Объем, км ³	1.6
Средняя глубина, м	4	Условное время водообмена, год	0.015

Система течений в Невской губе неустойчива, а водные массы очень подвижны. При стоковых течениях в губе из-за наличия препятствий (отмели, дамбы) и неровностей берега, возможно образование на отдельных участках губы застойных зон, которые разрушаются при смене стоковых течений на стоково-градиентные или стоково-ветровые. Средние скорости переноса невыхских вод в губе составляют 6–8 см/с в северной и 1–5 см/с в южной частях губы.

1.2. ДИНАМИКА ПОСТУПЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В НЕВСКУЮ ГУБУ СО СТОКОМ РЕКИ НЕВЫ И ЕЕ РУКАВОВ

В марте 1974 г. представителями стран Балтики — ГДР, Данией, Польшей, СССР, Финляндией, ФРГ и Швецией — была подписана конвенция по охране морской среды Балтийского моря (Хельсинкская конвенция), вступившая в силу в мае 1980 г. Эта конвенция, принятая в целях охраны морской среды района Балтийского моря, стала первым международным соглашением, затрагивающим все источники загрязнения, расположенные на побережье (точечные и диффузные), в море (морские суда), а также и атмосферу. Однако и сегодня, по прошествии тридцати лет, основные экологические проблемы Балтики, остаются весьма актуальными. При этом основными проблемами как Балтийского моря в целом, так и восточной части Финского залива остаются эвтрофирование и химическое загрязнение.

Эвтрофирование — повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием антропогенных и естественных (природных) факторов.

Между эвтрофированием и загрязнением имеется существенная разница, заключающаяся прежде всего в том, что загрязнение обусловлено сбросом токсических веществ, подавляющих биологическую продуктивность водоемов, а эвтрофирование повышает эту продуктивность.

Основными источниками загрязнения водоемов биогенными веществами служат смыв азотных и фосфорных удобрений с полей, строительство водохранилищ без надлежащей очистки ложа, сброс сточных вод, в том числе и прошедших биологическую очистку.

Биогенные компоненты поступают в природные экосистемы как водным, так и воздушным путем; так, сейчас в мире используется свыше 30 млн т/год мыла и детергентов (основанных на фосфатах). В Канаде, например, одному из химиков была присуждена престижная национальная премия за разработку моющих средств (стиральных порошков), не содержащих фосфора.

Развитие процесса антропогенного эвтрофирования приводит ко многим неблагоприятным последствиям с точки зрения водопользования и водопотребления (развитие «цветения» и ухудшение качества воды, появление анаэробных зон, нарушение структуры биоценозов и исчезновение многих видов гидробионтов, в том числе ценных промысловых рыб).

Среди множества биогенных элементов, влияющих на процесс эвтрофирования (азот, кислород, углерод, сера, кальций, калий, хлор, железо, марганец, кремний и др.) для водоемов умеренной зоны решающую роль играет фосфор.

В связи с изложенным выше, нами были проведены расчеты поступления общего (растворенного) фосфора в Невскую губу со стоком реки Невы и ее рука-

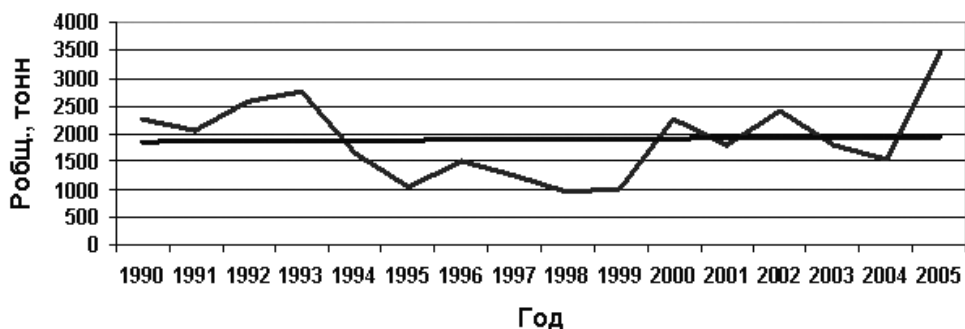


Рис. 1.2.1. Динамика поступления общего фосфора ($P_{\text{общ.}}$) в Невскую губу со стоком реки Невы и ее рукавов.

вов. Основу расчетов составили данные о средних за год расходах воды в Неве и ее рукавах и о средних за год концентрациях общего фосфора в замыкающих створах реки Невы и ее рукавов (Фрумин, Леонова, 2004; Водные объекты..., 2002) (рис. 1.2.1).

Как следует из рисунка 1.2.1, несмотря на значительные вариации количества общего фосфора, поступающего в Невскую губу со стоком реки Невы и ее рукавов, линия тренда практически параллельна оси абсцисс, что свидетельствует об отсутствии тренда за рассматриваемый интервал времени (1990–2005 гг.).

Дополнительный математико-статистический анализ позволил выявить интересную эмпирическую зависимость, связывающую содержание общего фосфора в Невской губе с расходом воды (R) в пос. Новосаратовка. Для анализа были использованы данные за период с 1979 по 2006 г. (исключены данные 1982 г. как явно выскакивающие). Как видно из графика, приведенного на рис. 1.2.2, увеличение расхода воды в пос. Новосаратовка приводило к снижению средней за год концентрации общего фосфора в Невской губе:

$$[P_{\text{общ.}}] = 78 - 0.022R$$

$N = 26$ (количество значений функции), $r = 0.80$ и $r^2 = 0.63$.

В соответствии со шкалой Чеддока (Макарова, Трофимец, 2002) при значении коэффициента корреляции от 0.7 до 0.9 связь между переменными рассматривается как высокая.

При составлении баланса общего фосфора в Невской губе было установлено, что приходная часть баланса (поступление общего фосфора в губу со стоком реки Невы и ее рукавов) превышает расходную часть (вынос общего фосфора за пределы Невской губы). Так, согласно нашим ориентировочным расчетам, за период с 1990 по 2005 г. в Невскую губу поступило 29 450 т общего фосфора, а вынос составил 26 432 т. Невязка баланса (–3018 т) может быть обусловлена сорбцией части растворенного фосфора на взвешенных частицах с последующим поступлением в донные отложения в зонах геохимических барьеров.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА	5

1. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ, ГЕОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

1.1. Физико-географическое описание восточной части Финского залива (Фрумин Г.Т., Басова С.Л.)	16
1.2. Динамика поступления биогенных элементов в Невскую губу со стоком реки Невы и ее рукавов (Фрумин Г.Т.)	20
1.3. Современные черты гидрохимических условий в восточной части Финского залива (Еремина Т.Р., Карлин Л.Н.)	24
1.4. Донные отложения эстуария реки Невы и их загрязнение под влиянием антропогенных процессов (Рыбалко А.Е., Федорова Н.К.)	39
1.5. Геолого-геоморфологическая характеристика восточной части Финского залива и типология донных биотопов (Орлова М.И., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А.)	59

2. БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ

2.1. Фитопланктон эстуария реки Невы (Никулина В.Н.)	76
2.2. Фитоперифитон эстуария реки Невы (Губелин Ю.И.)	96
2.3. Макрофиты: высшие водные растения и макроводоросли (Жакова Л.В.)	105
2.4. Биоразнообразие и современное состояние зеленых, бурых и красных макроводорослей российской части Финского залива (Ковальчук Н.А.) ...	126
2.5. Численность и биомасса бактериопланктона как индикаторы эвтрофирования эстуария реки Невы (Родэ Л.Ю., Павельева Е.Б.)	137
2.6. Видовое разнообразие и структура сообществ зоопланктона в эстуарии реки Невы (Телеш И.В.)	144
2.7. Зообентос открытых вод эстуария реки Невы (Балушкина Е.В., Максимов А.А., Голубков С.М., Ципленкина И.Г.)	156
2.8. Макрозообентос мелководий (Орлова М.И., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А.)	184
2.9. Фауна макробеспозвоночных прибрежной зоны (Березина Н.А., Балушкина Е.В., Ципленкина И.Г., Панкова Е.С.)	202
2.10. Мейобентос Невской губы и Финского залива (Петухов В.А.)	212
2.11. Рыбное население эстуария реки Невы (Кудерский Л.А., Шурухин А.С., Попов А.Н., Богданов Д.В., Яковлев А.С.)	223
2.12. Птицы Финского залива и Невской губы (Храбрый В.М.)	241
2.13. Тюлени в экосистеме Финского залива (Тихонов А.Н.)	268

2.14. Биологические инвазии (Орлова М.И., Аницупевич А.Е., Белякова Р.Н., Насека А.М., Ципленкина И.Г., Жакова Л.В., Литвинчук Л.Ф., Березина Н.А., Максимов А.А.)	272
--	-----

3. ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СООБЩЕСТВА ПЛАНКТОНА И БЕНТОСА

3.1. Первичная продукция и проблемы эвтрофирования эстуария р. Невы (Голубков М.С., Голубков С.М., Умнова Л.П.)	313
3.2. Проблемы эвтрофирования прибрежных вод эстуария реки Невы (Губелит Ю.И., Голубков С.М., Березина Н.А., Никулина В.Н.)	338
3.3. Влияние климатических факторов на динамику макрозообентоса (Максимов А.А.)	346
3.4. Роль антропогенных факторов в динамике сообществ зообентоса (Балушкина Е.В., Голубков С.М., Голубков М.С., Максимов А.А.)	356
3.5. Динамика зообентоса прибрежной зоны в условиях эвтрофирования (Березина Н.А., Голубков С.М.)	370

4. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ, МОНИТОРИНГ И СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОСИСТЕМОЙ ЭСТУАРИЯ РЕКИ НЕВЫ

4.1. Создание системы мониторинга чужеродных видов (Алимов А.Ф., Орлова М.И., Флоринская Т.М., Сорокин Н.Д.)	384
4.2. Оценка состояния восточной части Финского залива и Невской губы по гидрохимическим показателям (Фрумин Г.Т.)	394
4.3. Оценка состояния Невской губы по распределению хлорофилла <i>A</i> (Фрумин Г.Т., Басова С.Л.)	404
4.4. Оценка состояния экосистемы и качества вод эстуария реки Невы по показателям зообентоса (Балушкина Е.В.)	411

Заключение. Роль естественных и антропогенных факторов в современной динамике экосистемы эстуария р. Невы и стратегия управления его биологическими ресурсами (Алимов А.Ф., Голубков С.М.)	427
--	-----

Список литературы	438
-------------------------	-----