Санкт-Петербургский государственный университет

**Теленкова Анастасия Павловна**

**Выпускная квалификационная работа**

**Оценка экологического состояния прибрежных вод Ладожского озера в районе залива Импилахти**

Направление 05.03.06 «Экология и природопользование»

Основная образовательная программа CB.5024

«Экология и природопользование»

Профиль «Экологическая безопасность»

Научный руководитель:

старший преподаватель МОВЧАН Екатерина Анатольевна

Рецензент:

ГЕНЕЛЬТ-ЯНОВСКИЙ Евгений Александрович,

к.б.н., н.с. лаборатории Молекулярной систематики ЗИН РАН

Санкт-Петербург

2018

# Оглавление

[Введение 2](#_Toc9704809)

[Глава 1. История исследований Ладожского озера 4](#_Toc9704810)

[Глава 2. Физико-географическая характеристика района исследований 5](#_Toc9704811)

[2.1 Климат 6](#_Toc9704812)

[2.2 Гидрография и гидрология 7](#_Toc9704813)

[2.3 Геоморфология 8](#_Toc9704814)

[2.4 Геологическое строение 9](#_Toc9704815)

[2.5 Растительность и животный мир 10](#_Toc9704816)

[Глава 3. Современное состояние Ладожского озера по биоте 12](#_Toc9704817)

[3.1 Высшая водная растительность литоральной зоны Ладожского озера 13](#_Toc9704818)

[3.2 Зоопланктон литоральной зоны Ладожского озера 14](#_Toc9704819)

[3.3 Макрозообентос литоральной зоны Ладожского озера 16](#_Toc9704820)

[3.4 Мейобентос литоральной зоны Ладожского озера 18](#_Toc9704821)

[Глава 4. Методы биоиндикации по макрозообентосу 20](#_Toc9704822)

[Глава 5. Материалы и методы исследования 28](#_Toc9704823)

[Глава 6. Результаты 31](#_Toc9704824)

[Глава 7. Обсуждение 46](#_Toc9704825)

[Выводы 48](#_Toc9704826)

[Заключение 48](#_Toc9704827)

[Литература 49](#_Toc9704828)

[Приложения 52](#_Toc9704829)

# Введение

Ладожское озеро является крупнейшим озером в Европе. Оно играет важную роль в обеспечении деятельности народнохозяйственного комплекса Северо-Западного региона Российской Федерации, а также влияет на создание благоприятных условий жизни населения г. Санкт-Петербурга, Ленинградской области, Карелии (питьевое водоснабжение, рыболовство, рекреация). Качество вод озера обуславливает экологическое состояние Финского залива и Балтийского моря, оказывает влияние на условия жизни стран, находящихся на их берегах.

Состояние качества вод Ладожского озера в целом оценивается как хорошее, однако как считают Е.А. Курашов с соавторами (Экосистема Ладожского…, 2018), несмотря на некоторое улучшение экологических условий Ладожского озера, проблема сохранения и улучшения качества его вод продолжает оставаться актуальной, и требует продолжения мониторинга вод озера. Схожего мнения придерживаются И.М. Распопов и И.Н. Андроникова (Ладожское…, 2002), которые считают наиболее важным исследование литоральной зоны озера, т.к. именно она является источником информации об экологическом состоянии акваторий, наиболее подверженных техногенному загрязнению.

В 2017 году Постановлением Правительства Российской Федерации был издан указ о создании национального парка «Ладожские шхеры» (Постановление правительства РФ от 28.12.2017 No1684). Это уникальный природный комплекс, охватывающий северное и северо-западное побережье Ладожского озера.

В состав национального парка входит исследуемый залив Импилахти, где располагается одноимённая учебно-научная база СПбГУ. Однако, Импилахтинский полигон входит в зону экологического риска из-за близости промышленных предприятий, таких как целлюлозно-бумажный комбинат, предприятие по обработке дерева и завод по производству древесно-волокнистой плиты. Поступление промышленных сточных вод, стоки сельскохозяйственных угодий и рекреационных зон могут оказывать влияние на качество воды. Традиционно изменение её качества помогают оценить методы биоиндикации, которые позволяют надёжно судить о состоянии среды на основании присутствия или отсутствия индикаторных форм водных организмов.

За годы существования Импилахтинского полигона в ходе студенческих полевых практик было собрано большое количество разнообразной информации об экологическом состоянии окрестностей залива, в т.ч. получены результаты биоиндикации по бентосному сообществу. В 2017 г. я принимала участие в летних полевых практиках под руководством И.И. Подлипского, где собирали материал на водотоках, впадающих в залив, а в 2018 г. непосредственно на самом заливе. Собранные данные по макрозообентосу можно использовать для дополнения общей картины экологического состояния территории, что является актуальным в рамках создания природного парка «Ладожские шхеры».

Для оценки экологического состояния залива Импилахти были использованы биондикационные индексы, широко применяемые в системе экологического мониторинга водных объектов России.

Целью выпускной квалификационной работы является оценка современного экологического состояния залива Импилахти Ладожского озера. Для её достижения необходимо решить следующие задачи:

* Изучение литературы об исследованиях выбранной территории;
* Описание и выбор оптимальных методов биоиндикации по макрозообентосу;
* Проведение полевых работ – отбор проб макрозообентоса;
* Обработка и анализ полученной информации: оценка структурных показателей макрозообентоса, расчет биоиндикационных индексов;
* Оценить качество воды залива по состоянию сообществ водных организмов, в т.ч. макрозообентоса;
* Провести сравнительный анализ результатов с результатами прошлых исследований.

Данное исследование состоит из 7 глав. В главе 1 на основании литературных данных приведено описание истории исследований Ладожского озера. Глава 2 содержит информацию о физико-географических характеристиках региона. В главе 3 на основе анализа литературных данных дается современная оценка качества вод Ладожского озера по биоте, в т.ч. в заливе Импилахти. В главе 4 представлены интересующие нас методы биоиндикации и история их разработки. Глава 5 содержит сведения о материалах и методах исследования, а в главе 6 и 7 приведены результаты и их сравнение с исследованиями прошлых лет соответственно.

# Глава 1. История исследований Ладожского озера

Первые сведения по Ладожскому озеру были собраны в XVIII в. академиком Н.Я. Озерецковским. В опубликованных монографиях А.П. Андреева в 1875 г. и И.В. Молчанова в 1945 г. описаны результаты первых серьезных гидрографических исследований, проведенных в XIX и начале XX вв. (Ладожское…, 2002). Первые сведения о донной фауне Ладожского озера были получены Ламарком в 1819 г.

В связи с проектированием строительства водопровода для Санкт-Петербурга в 1911 г. была организована специальная экспедиция по изучению качества вод озера. Ею были выполнены первые общие гидробиологические исследования.

Исследования Ладожского озера как рыбохозяйственного водоема были начаты в период с 1928 по 1934 г. В результате в 1948 г. были опубликованы работы Ц.И. Иоффе по зообентосу, которые дали первое описание донных биоценозов озера (кроме северных глубоководных районов). В статьях М.П. Сальдау 1940 г. и 1956 г. была представлена роль бентоса в питании рыб. Бентофауна южной литоральной части озера описана в работах 1956 г. И.И. Соколова.

Лишь с 1956 г. начались широкие комплексные регулярные исследования Институтом озероведения РАН. Благодаря им с 1956 по 1963 г., было составлено подробное описание биоценозов дна, дан список видового состава бентоса, сведения о его численности и биомассе в различных районах озера. Данные северных шхер описаны в работах 1961, 1962, 1968 гг. Г.А. Стальмаковой.

Комплексные исследования экологического состояния литоральной зоны Ладожского озера были проведены в 1988-1990 гг. во время совместных экспедиций Института озероведения РАН и Зоологического института РАН. Была получена достаточно полная картина состояния прибрежной зоны Ладожского озера. Также в период 90-х годов были проведены комплексные исследования литоральной зоны под руководством И.М. Распопова.

Помимо Института озероведения РАН другие научно-исследовательские и природоохранные организации Санкт-Петербурга и Петрозаводска также проводят многолетние регулярные исследования, но в меньшем объеме (Ладожское…, 2002).

# Глава 2. Физико-географическая характеристика района исследований

Географически изучаемый район залив Импилахти является частью природно-исторического региона Северное Приладожье, а именно находится на севере Ладожского озера. Эта территория входит в состав национального парка «Ладожские шхеры» с 28 декабря 2017 года (Постановление правительства РФ от 28.12.2017 №1684) (Рисунок 1).

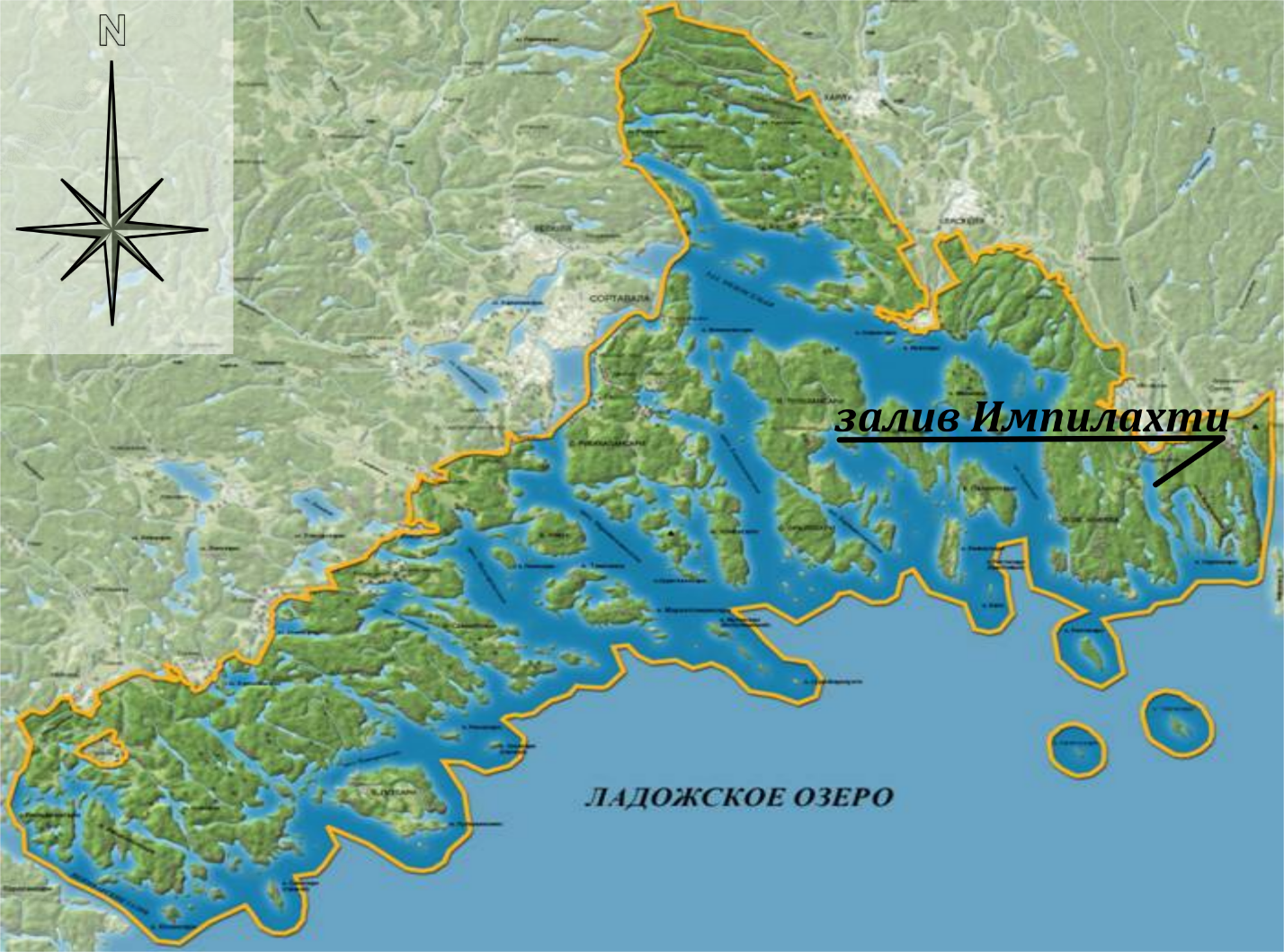


Рисунок 1. План-схема расположения залива Импилахти по отношению к планируемым границам национального парка «Ладожские шхеры». Источник: parks.karelia.ru

## 2.1 Климат

Ладожское озеро является одним из главнейшим фактором, влияющим на климатические условия Северного Приладожья. Близость к такому крупному водному объекту обуславливает запаздывание начала и окончания весенних и летних явлений природы по отношению к более континентальным областям Карелии (Кратц, 1960).

Климат района Ладожского озера считается переходным между морским климатом умеренных широт и континентальным. Для этой территории являются характерными существенные колебания температуры воздуха, относительная влажность. Характерно большое количество осадков из-за высокой облачности. Также на климат влияют морские атлантические воздушные массы умеренных широт, а во второй половине зимы влияние оказывают арктические воздушные массы. В летнее время иногда фиксируются тропические воздушные массы. Однако, из-за своей большой теплоёмкости, Ладожское озеро смягчает влияние этих явлений.

Зима характеризуется как умеренно холодная и продолжительная. С начала декабря и до конца марта наблюдаются устойчивые морозы и снежный покров. Погода в первой половине зимы пасмурная и ветреная с осадками, оттепелями и туманами. Вторая половина зимы — более холодная, с устойчивыми морозами. Самый холодный месяц зимы – февраль, средние температуры колеблются от -8 до -10ºC при минимальной -36ºC.

Весна характеризуется холодной погодой с более редкими осадками и большим количеством ясных дней. С марта температура воздуха медленно повышается, и в мае достигает 6−7 °С над открытыми районами и 8−9 °С на побережье.

Лето умеренно теплое, начинается в июне с прекращением заморозков и продолжается до сентября. В первой половине лета меньше пасмурных дней и туманов, во второй — количество осадков увеличивается, достигая годового максимума. Самый теплый месяц — июль. Его средняя температура составляет 14−16 °С над озером и 16−17 °С на берегу. Максимальные ее значения в этом месяце составляют 30−33 °С, а наименьшие — 1, 4 °С.

Осень относительно теплая и сырая. Она начинается с начала или середины сентября, с наступлением заморозков и продолжается до конца ноября. Осенью погода пасмурная с продолжительными обложными дождями, переходящими в конце осени в мокрый снег. Наблюдаются частые туманы и сильные ветры. Начиная с сентября температура воздуха понижается и в ноябре в основном повсюду достигает отрицательных значений.

Роза ветров определяется преобладанием циклонической активности западных направлений: для лета – ветры западного и северо-западного направлений, для зимы – западного и юго-западного. Основные черты климата – неустойчивая погода, иногда с резкой сменой температуры в течение суток, преобладание облачных дней. Характерен дефицит солнечной радиации при значительном среднегодовом количестве осадков.

## 2.2 Гидрография и гидрология

Богатство республики Карелия водными ресурсами обусловлено не только близостью Ладожского и Онежского озёр, но и специфическими условиями формирования гидрографической сети. С одной стороны, атмосферные осадки обеспечивают обильное увлажнение территории, с другой –подстилающие кристаллические породы водонепроницаемы, а деятельность ледника создала множество понижений рельефа.

Для рек молодой гидрографической сети Карелии характерны слабая разработанность русла и ступенчатость профиля. Русла слабоизвилистые, в основном неразветвленные, долины рек слабоврезанные, часто едва заметные, шириной до 50–200 м. Пойма обычно отсутствует или слабо выражена.

Питание рек Карелии преимущественно дождевое и снеговое, подземные воды вносят свой вклад только в юго-восточной части Карелии. Из-за обилия озёр и болот сток рек хорошо зарегулирован, высокого половодья не наблюдается. Также озёра являются естественными отстойниками, реки выходят из них прозрачными, оставляя свои взвеси на дне водоёма (Кратц, 1960).

Весеннее половодье начинается во второй декаде апреля и длится до 60 дней, при этом уровень воды в реках поднимается на 0,5–2,5 м (в отдельные годы на 4,5 м). Основной объем стока (45%) приходится на весеннее половодье. Меженные периоды приходятся на июль–сентябрь и февраль–март. Зимняя межень, как правило, более глубокая.

Ледостав на реках начинается в начале ноября с продолжительностью до 174 суток. Наибольшая толщина льда наблюдается в феврале–марте (40–75 см). Вскрытие рек начинается в третьей декаде апреля и завершается в первой декаде мая.

Летом средняя месячная температура воды в водоеме и водотоках в июле достигает 18–19°С, максимальная – 26°С. Акватория Ладожского озера прогревается в шхерной части до 14–16°С, причем на открытых участках температура на 3–4° ниже, чем в заливах, где она может достигать 23–25°С.

Поверхностные воды Ладожского озера относятся к маломинерализованным (100 мг/л в межень и 20–40 мг/л в половодье). Воды мягкие и очень мягкие, жесткость менее 1 мг-экв./л. Реки относятся к гидрокарбонатному классу, среди катионов преобладают ионы кальция. В воде наблюдается естественное высокое содержание органического вещества, что выражается в ее цветности (Добрушин, 2011).

## 2.3 Геоморфология

Главными факторами, повлиявшими на рельеф Северного Приладожья, являются ледниковые процессы и преимущественно кристаллический состав пород. Последнее оледенение, сковывавшее эту территорию – Валдайское – отступило около 12 тысяч лет назад, окончательно сформировав рельеф. Перемещение больших масс льда по кристаллическому фундаменту оставляло такие формы, как бараньи лбы, озы и сельги. Также ледниковые процессы повлияли на форму береговой линии северной части Ладожского озера, и Ладожские шхеры обязаны своим появление им. На данной территории заметно меняются высоты: от 5 до 200 м. В западной части региона гряды и ложбины ориентированы в юго-восточном направлении, а к востоку от г. Сортавала – в южном, и имеют крутизну склонов до 60º (на берегах встречаются и отвесные скалы). К итогам деятельности ледников можно отнести небольшую мощность четвертичных отложений, которые занимают не более трети территории суши. Исходя из этого можно сказать, что текущий облик данного района определяется процессами выветривания, в котором значительную роль играет биота, так как почвенный покров развит слабо (Кратц, 1960).

Береговая линия Ладожского озера неоднократно менялась в ходе трансгрессий и регрессий даже в относительно недавнее для геологии время. Первый этап состоял из опускания уровня воды на 20-45 м относительно современного в результате прорыва озера примерно 10 тысяч лет назад. Это привело к усилению водной эрозии и врезанию речных долин на побережье. Компенсационное поднятие суши после отступления ледника 8 тысяч лет назад повлекло за собой Анцилловую трансгрессию. Последовавшее падение объясняют слиянием котловины Балтики и Мирового океана. Последнее падение уровня произошло после образования реки Нева около 5 тысяч лет назад (Атлас…, 2015).

## 2.4 Геологическое строение

Исследуемая территория является юго-восточным окончанием Свекофенской складчатой области, которая относится к юго-западной части Балтийского кристаллического щита. Осадочные, осадочно-вулканогенные и вулканогенные породы, сформировавшиеся 2,3-1,8 млрд. лет назад оказались подвергнуты складкообразованию, процессам гранитизации, претерпели зональный метаморфизм. Тектонические и эрозионные процессы обнажили глубокие корневые части. Фундаментом чехла мощностью 4–4,5 км служат гнейсы, которые представлены в виде куполов. Следы вулканической деятельности прослеживаются на обширных лавовых полях, сложенных базальтами, туфами, габбро. Представлены также вулканогенно-осадочные карбонаты. Ладожская серия пород сложена песчано-алевритами, кварцито-песчаниками, конгломератами. Обширные территории заняты гранитами, мигматит-гранитами в виде многочисленных куполов. Часто небольшими телами встречаются интрузивные образования, сложенные габбро, плагиогранитами, карбонатами.

Четвертичные отложения на территории национального парка имеют малую мощность, а также занимают меньше трети площади суши. Выделяются ледниковые, водноледниковые образования последнего осташковского (верхневалдайского) оледенения, а также озерные и торфяно-болотные отложения голоцена. Ледниковые отложения слагают участки плоских моренных равнин или перекрывают выступы кристаллического фундамента тонким слоем.

Из-за особенностей геологического строения, наличия выходов кристаллических пород на поверхность, для территории Северного Приладожья характерен немного повышенный радиационный фон (в частности, на участке между г. Сортавала и пос. Импилахти). Соединения урана и тория присутствуют в кислых интрузивных породах (гранитоидах), которые в избытке представлены в регионе.

В Северном Приладожье известно несколько сотен карьеров и мелких выработок. Свыше 50 геологических разрезов являются геологическими памятниками природы, в том числе памятниками горнопромышленного освоения региона (Добрушин, 2011).

## 2.5 Растительность и животный мир

Преобладающими сообществами на исследуемой территории являются леса, встречаются также болота и луга, сообщества прибрежно-водных и водных растений, а также растительные сообщества антропогенно изменённых ландшафтов —рудеральные и сегетальные.

В регионе преобладают хвойные леса, занимающие 85% территории, из них 90% —сосняки, 10% —ельники. Сосновые леса встречаются чаще на песках и супесях, а также в местах с малой мощностью почвенного покрова, например, на сельгах. Чаще встречаются в массивах совместно с берёзами и елями. Ельники тяготеют к супесчаным моренным завалуненным отложениям, террасированным равнинам с морскими и озерными супесями, суглинками и глинами, нижним частям склонов и подножиям сельг. Обширнее всего представлены ельники зеленомошной группы, встречаются и неморально-разнотравные. В структуре лиственных насаждений преобладают березняки, возникшие на местах антропогенного воздействия —вырубок, подсек, сельскохозяйственных земель (Добрушин, 2011).

Практически все коренные леса данной территории подвергались вырубкам, соответственно, леса Северного Приладожья относятся к вторичным сообществам. Малое количество лесохозяйственных мероприятий обуславливает сохранение естественного биоразнообразия, присутствие некоторых групп растений и животных позволяет также идентифицировать эти леса как ненарушенные.

В составе болот преобладают верховые, так как территории низинных и переходных болот давно подвергнуты мелиорации, почти не встречаются в естественном состоянии. Болота занимают около 5% площади Северного Приладожья, а общая заболоченность с учётом лесов не превышает 15%.

Большинство лугов являются вторичными, возникли на месте осушённых болот и сведённых лесов. Такие массивы расположены мозаично, часто окружены лесом. Лишь по берегам рек и озер на первых террасах узкой полосой встречаются аллювиальные остроосоковые и луговолисохвостовые луга естественного происхождения (Добрушин, 2011).

На территории национального парка зарегистрировано 95 охраняемых представителей животного мира. Среди них наибольшую известность имеет пресноводный подвид кольчатой нерпы –ладожская нерпа (*Pusa hispida ladogensis*). Из 5 тысяч особей этого эндемика, населяющего всё Ладожское озеро, не менее 400-500 особей размножается именно в шхерной части Ладоги. В целом, на составе водной фауны озёра заметно отразилось его геологическое прошлое – здесь морские и пресноводные ледниковые реликты играют значимую роль (ред. Румянцев, 2015).

В Ладожском озере обитает 58 видов, подвидов и форм рыб, на территории национального парка встречаются всего 33 вида, однако можно предполагать большее разнообразие видов в этой акватории. Ладожское озеро относится к сигово-корюшковому типу, более половины улова составляют эти рыбы. Помимо них в улове часто встречаются лещ (*Abramis brama*), щука (*Esox lucius*), судак (*Lucioperca lucioperca*), плотва (*Rutilus rutilus*), окунь (*Perca fluviatilis*), налим (*Lota lota*). Значимую долю в промышленном вылове имеют охраняемые виды (зарегистрировано 12), что требует организации рационального использования рыбных ресурсов (Добрушин, 2011).

Всего в Северном Приладожье встречается 246 видов птиц, на территории национального парка отмечен 121 вид гнездящихся птиц. Заметно преобладание южных видов, характерных для европейских широколиственных лесов, их доля составляет 40% (48 видов). Представителей северотаёжно-сибирского орнитокомплекса сильно меньше – 19 видов. Большинство птиц —типичные лесные обитатели, болотная фауна обеднена из-за низкой заболоченности территории. 2 вида можно считать наиболее массовыми —зяблик (*Fringilla coelebs*) и пеночка-весничка (*Phylloscopus trochilus*) (Добрушин, 2011).

Территория национального парка является местом обитания 49 видов млекопитающих, в видовом составе которых преобладающими являются отряды Грызуны и Хищники (19 и 14 видов соответственно). Для фауны типичны виды широкого распространения —волк (*Canis lupus*), лисица (*Vulpes vulpes*), ласка (*Mustela nivalis*), выдра (*Lutra lutra*), барсук (*Meles meles*), и виды характерные для лесной зоны —обыкновенная землеройка (*Sorex araneus*), рысь (*Lynx lynx*), бурый медведь (*Ursus arctos*), белка (*Sciurus vulgaris*), заяц-беляк (*Lepus timidus*)и др. Также как и для других описанных групп, на состав млекопитающих данной территории заметно влияние южных видов —изредка встречаются косуля (*Capreolus capreolus*), кабан (*Sus scrofa*), садовая соня (*Eliomus quercinus*), полевая мышь (*Apodemus agrarius*), еж (*Erinaceus europaeus*). При этом некоторые типичные представители северной фауны стали встречаться очень редко (Добрушин, 2011).

# Глава 3. Современное состояние Ладожского озера по биоте

По мнению В.Г. Драбковой (Ладожское…, 2002), накопленный объем данных позволяет проследить эволюцию озерной экосистемы Ладожского озера от его естественного состояния до современного и оценить изменение его трофического типа. В современной концепции выделяют олиготрофные, мезотрофные, эвтрофные и гиперэвтрофные водоемы (http://ibiw.ru/index.php?p=edu/eco/eco3).

В.Г. Драбковой описаны периоды изменения состояния экосистемы Ладожского озера. Автор указывает на то, что с 1976 г. экологический мониторинг Ладожского озера можно рассматривать как мониторинг эвтрофирования. До 1976 г. Ладожское озеро было олиготрофным.

Период с 1976-1983 гг. был критическим для Ладожского озера. Наблюдалось эвтрофирование озера из-за увеличения биогенной нагрузки. В результате произошли изменения сообществ гидробионтов в озере и всей его экосистемы в целом. Появились «мертвые зоны», обширные зоны стали полисапробными.

Период стабилизации озера пришелся на 1984-1986 гг. в результате принятия срочных мер ЦК КПСС Совмином СССР (Постановление Совмина СССР от 07.12.1984 N 1212).

Период 1986-1989 гг. характеризовался некоторым улучшением состояния, однако озеро все еще находится в состоянии дестабилизации.

С 1990 г. произошло снижение антропогенного воздействия на экосистему Ладожского озера. Стали встречаться виды гидробионтов, типичные для олиготрофных условий. Однако, восстановление озера идет чрезвычайно медленно, ввиду значительной инертности внутри водоемных процессов огромного холодноводного озера (Ладожское…, 2002).

Ниже рассматривается современное экологическое состояние Ладожского озера по результатам анализа высшей водной растительности, зоопланктона, макробентоса, мейобентоса на основании изучения литературных данных. Особое внимание уделяется его литоральной зоне и исследуемому заливу Импилахти.

## 3.1 Высшая водная растительность литоральной зоны Ладожского озера

Наблюдение за состоянием высшей водной растительности занимает важное место в контроле качества вод. Растительность чутко реагирует на изменение окружающей среды. Она является первым защитным барьером водоемов от поступающих с водосбора загрязненных вод (Руководство…, 1983).

Как отмечает И.М. Распопов (Литоральная…, 2011) литоральная зона Ладоги малоблагоприятна для произрастания макрофитов. Автор подразделяет Ладожское озеро на три геоботанических района: шхерный район, район открытых берегов и район южных заливов. Геоботанические районы отличаются как по степени зарастания, так и по набору растительных сообществ.

По данным комплексных исследований Ладожского озера Института озероведения РАН, проведенными И.М. Распоповым, М.А. Рычковой, А.Г. Русановым и многими другими, состав водных и прибрежно-водных растений насчитывает 138 видов (Литоральная…, 2011).

Шхерный район отличается наибольшим флористическим богатством по сравнению с другими геоботаническими районами Ладожского озера: южным районом, западным прибрежьем, восточным прибрежьем. Там встречаются все виды высших водных и прибрежно-водных растений, кроме *Carex vulpina* (осока лисья).

Как отмечает И.М. Распопов (Литоральная…, 2011), экологически благоприятные условия для произрастания макрофитов создаются благодаря мелкозернистому материалу, который образуется в защищенных от волнения частях заливов и проливов в донных отложениях.

Видовой состав гигрофильных растений (120 видов) также богат в южном районе, за счет обширных мелководий и поступления биогенных веществ с водами притоков.

Литораль западного и восточного открытых берегов подвержена интенсивному волнению и крупнозернистый состав донных отложений неблагоприятен для произрастания макрофитов. Их состав в 2 раза беднее по сравнению с другими геоботаническими районами.

В 2006 г. А.Г. Русанов (Литоральная…, 2011) обнаружил в заливе Импилахти 11 видов макрофитов. Для них, в результате проведения исследований возможности использования макрофитов в индикации степени эвтрофирования литоральной зоны Ладожского озера, были установлены предпочтения к тем или иным трофическим условиям. По их предпочтениям было установлено, что условия в заливе Импилахти относятся к мезотрофным и близки к эвтрофным.

## 3.2 Зоопланктон литоральной зоны Ладожского озера

Зоопланктон, преимущественно представленный фильтраторами и седиментаторами, играет важную роль в самоочищении вод и формировании качества воды (Экосистема Ладожского…, 2018).

Достаточно полные сведения о видовом составе зоопланктона Ладожского озера появились лишь в начале XX в. Впервые в 1911 г. А.С. Скориковым был собран и опубликован материал по зоопланктону южной части озера. Также им была опубликована первая сводка по фауне простейших организмов.

К сожалению, как считает В.А. Авинский (Ладожское…, 2002), за весь период исследований зоопланктона отсутствуют сведения по его многолетней динамике. Такого же мнения придерживается И.Н. Андроникова (Ладожское…, 2011). Она выделяет несколько значимых периодов: 50-е годы – комплексные исследования шхерного района Р.С. Деньгиной; 80-е годы – исследования Зоологического института АН СССР фауны беспозвоночных Е.А. Курашовым, И.М. Распоповым, И.В. Телеш; 90-е годы – исследования по всему периметру литоральной зоны при участии коллег из Университета г. Иоенсуу (Финляндия) и поддержке гранта РФФИ. Другие наблюдения выполнялись в разные годы вместе с исследованиями основной акватории Ладожского озера, но они не носили систематического характера. Среди их участников И.Н. Андроникова отмечает работы сотрудников Института озероведения, ГосНИОРХ и Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН.

Н.В. Родионова (Литоральная…, 2011) для составления списка видового состава зоопланктона литоральной зоны Ладожского озера использует материалы разных годов следующих авторов: А.С. Скорикова, М.Ф. Соколовой, Р.С. Деньгиной, В.А. Огородниковой, И.В. Телеш и собственные данные. Данный список состоит из 334 таксонов зоопланктона. Среди них Rotifera (коловратки) – 214 (64.1%), Cladocera (ветвистоусые) – 84 (25.1%), Calanoida (каляноиды) – 7 (2.1%), Cyclopoida (циклопы) – 27 (8.1%) и Harpacticoida (гарапктикоиды) – 2 (0,6%). Большая часть форм относится к эвритопным видам.

По данным этого автора с 1902 по 2006 гг. в соотношении числа видов основных групп зоопланктона доминирующими являются коловратки, а на втором месте по разнообразию форм находятся ветвистоусые ракообразные.

И.Н. Андроникова (Литоральная…, 2011), анализируя материалы исследований 1989-1998 гг., указывает, что индекс структуры сообщества Шеннона по биомассе зоопланктона для литорали северных шхер в среднем равен 1,95 Нбит, а по численности – 2,07 Нбит. Такие показатели характеризуют тенденцию в направлении эвтрофии. Она же отмечает большее разнообразие трофических состояний (от олиготрофных до эвтрофных) заливов северных шхер по сравнению с основной акваторией озера. Н.В. Родионовой в 2006 г. (Литоральная…, 2011) в шхерном районе было обнаружено – 87 видов зоопланктона, биомасса составила – 224 мг/м3, а экологическая обстановка акватории по сравнению с данными И.Н. Андрониковой существенно улучшилась. По биомассе зоопланктона шхерный район уже оценивается как олиготрофный, а индекс сапробности позволяет отнести литоральную зоны к олигосапробной зоне.

Индексы разнообразия Шеннона, рассчитанные И.Н. Андрониковой по численности и биомассе зоопланктона в заливе по материалам исследований 1989-1998 гг., составили 2,17 Нбит и 1,72 Нбит соответственно, что характеризует залив как эвтрофный. В 2006 г. в заливе Импилахти численность и биомасса зоопланктона были низки – 20,6 тыс.экз/м3 и 55,0 мг/м3 соответственно, всего было найдено 29 видов. По индексу сапробности Н.В. Родионова оценивает залив Импилахти как олигосапробный, и указывает на улучшение обстановки и в заливе. Возможно, такое улучшение было обусловлено закрытием между годами вышеуказанных исследований Импилахтинской звероводческой фермы, стоки которой поступали в залив.

## 3.3 Макрозообентос литоральной зоны Ладожского озера

По данным Г.А. Стальмаковой, опубликованными в 1968 г., макробентос литоральной зоны характеризуется значительным видовым богатством, здесь отмечается до 85% общего числа видов, обитающих в озере (Литоральная…, 2011).

По результатам полевых работ М.А. Барбашовой с 1994 по 2012 г. (Барбашова, 2014) в составе донной и фитофильной фауны Ладожского озера было обнаружено 259 таксонов, среди которых преобладали малощетинковые черви (Oligochaeta) (45 видов), личинки комаров-звонцов (Chironomidae) (83) и моллюски (Mollusca) (43). Зарегистрировано также 10 видов пиявок (Hirudinea), 8 – жуков (Coleoptera), 7 – подёнок (Ephemeroptera), 6 – двукрылых (Diptera), 3 вида бокоплава (Amphipoda). Как считает автор, видовой состав с середины XX в. не претерпел существенных изменений в открытых районах озера и обогатился в литоральной зоне за счет видов вселенцев (Барбашова, 2015).

В литоральной зоне Ладожского озера на долю малощетинковых червей приходится 17% видового состава всей фауны. Они обладают 100% частотой встречаемости (f). Наиболее часто встречаются представители семейства наидид – *Stylaria lacustris* (71%); тубифицид – *Limnodrilus udekemianus* (52%), *Limnodrilus sp.* (81%), *Spirosperma ferox* (42%); люмбрикулид – *Lumbriculus variegatus* (61%).

Наибольшее количество малощетинковых червей вида *S. lacustris* отмечено в зарослях макрофитов. Обилие вида *L. variegatus*. в различных биотопах варьирует в широких пределах и может достигать 2.2 г/м2, при численности около 460 экз/м2.

Бокоплавы представлены 3 видами. На мелководье озера преобладают вселенцы *Gmelinoides fasciatus*, появившийся здесь в80-х годах прошлого столетия. В настоящее время *G. fasciatus* имеет встречаемость по станциям около 94% и доминирует на многих биотопах литоральной зоны озера.

Появление *G. fasciatus* привело к уменьшению биомассы аборигенных ракообразных (*Gammarus lacustris*, *Asellus aquaticus*). *G. fasciatus* эврифаг и способен потреблять широкий спектр растительной и животной пищи, может питаться водяными осликами, малощетинковыми червями, личинками комаров-звонцов и другими беспозвоночными, что приводит к снижению их численности и биомассы.

Водяной ослик *Asellus aquaticus* широко распространен в прибрежье озера (f=35%) при сравнительно невысоких средних количественных показателях (688 экз./м2, 1.58 г/м2). Инвазия *G. fasciatus* повлияла на *A. aquaticus*. Водяные ослики имеют максимальную численность только в местах небольшого присутствия *G. fasciatus*.

Класс насекомых (Insecta) занимает одно из ведущих мест (58% общего числа видов) в донной фауне литоральных биотопов озера. Характерны личинки ручейников (Trichoptera) *Oecetis lacustris* (f=35%), *Phryganea bipunctata* (f=35%), подёнок *Cloen depterum* (f=26%), *Caenis macrura* (f=29%), *Baetis sp*. (f=45%).

Доля видового богатства личинок комаров-звонцов составляет 33% общего видового списка макробеспозвоночных. Обычны виды подсемейств Orthocladiinae – *Cricotopus silvestris* (f=77%), *Cricotopus algarum* (f=52%), *Synorthocladius semivirens* (f=35%), *Psectrocladius psilopterus* (f=32%); Chironominae – *Glyptotendipes glaucus* (f=68%), *Microtendipes pedellus* (f=74%), *Stictochironomus crassiforceps* (f=52%), *Demicryptochironomus vulneratus* (f=48%), *Pentapedilum exectum* (f=61%), *Endochironomus albipennis* (f=45%), *Tanytarsus gregarius* (f=52%), *Paratanytarsus lauterborni* (f=52%), *Cladotanytarsus mancus* (f=52%); Tanypodinae – *Albabesmyia monilis* (f=29%), *Procladius ferrugineus* (f=35%) (Литоральная…, 2011).

По данным исследований Е.А. Курашова и М.А. Барбашовой в 2006 г. (Литоральная зона…, 2011) численность макробентоса составляет от 2220 до 39780 экз./м2, биомасса от 3.76 до 11154 г/м2. Суммарная численность в среднем по озеру составляет 14472±2157 экз/м2, а биомасса – 30.57±4.69 г/м2. По численности в среднем преобладали бокоплавы (58%) и комары-звонцы (21%), доля малощетинковых червей и моллюсков – 14% и 3% соответственно, остальные группы бентоса составили 4% общей численности макрофауны. По биомассе также доминировали бокоплавы (57%), моллюски (16%), а доля комаров-звонцов и малощетинковых червей составила 12% и 5% соответственно.

В шхерном районе встречается широко распространенный в озере и обитающий на всех глубинах озера вид малощетинковых червей *Stylodrilus heringianus*. Количественные показатели невысоки и изменяются в пределах: 88-312 экз/м2, 0.16-0.45 г/м2.

На момент 1996-1997 гг. исследования, проведенные М.А. Барбашовой и Т.Д. Слепухиной (Ладожское…, 2002) в заливе Импилахти, характеризуют его центральную часть и вершину залива как гиперэвтрофные, за счет поступления в залив стоков со зверофермы и со стороны пос. Импилахти. Биомасса бентоса в вершине залива варьирует от 7 г/м2 на биотопе без растительности до 90,95 г/м2 у края тростников. Также в вершине залива авторы отмечают отсутствие бокоплава *G. fasciatus*. В верхней трети залива ведущее место занимают малощетинковые черви (29,7 г/м2), в зарослях по численности доминируют комары-звонцы. Вне зоны зарослей вдоль всего залива наблюдаются наименьшие количественные показатели бентоса.

В 2006 г. в заливе Импилахти наблюдались довольно большие биомассы макробентоса (53.42 г/м2). Основную долю биомассы (83,7 %) составили бокоплавы. Также в заливе были обнаружены пиявки видов *Helobdella stagnalis*, *Erpobdella octoculata*.

Как считают Е.А. Курашов и М.А. Барбашова (Литоральная…, 2011) участки литоральной зоны озера, подверженные антропогенному воздействию, можно выделить, исходя из особенностей видового состава и количественного развития макробентоса. Так залив Импилахти можно охарактеризовать как эвтрофный ввиду высокой биомассы *G. fasciatus*. Также в 2006 г. в заливе встречались личинки хирономид *Chironomus plumosus* (160 экз./м2, 1.83 г/м2), которые обычны на заиленных грунтах эвтрофных водоемов.

## 3.4 Мейобентос литоральной зоны Ладожского озера

Мейобентос может играть важную индикаторную роль для оценки состояния среды (Литоральная..., 2011)

Как считают Курашов Е.А. и Дудакова Д.С. (Литоральная…,2011), мейобентос многих пресных водоемов остается неизученным или слабо изученным. Наиболее полная информация о видовом составе данного сообщества существует для озер и водохранилищ.

Исследования данного сообщества были начаты в 80-х годах 20 века. По мнению авторов на тот момент практически во всем озере существовали еще ненарушенные сообщества донной мейофауны (Экосистема Ладожского…, 2018).

Определенные изменения мейобентоса, как считает Е.А. Курашов (Литоральная…, 2011), под воздействием эвтрофирования и загрязнения наблюдаются в некоторых заливах в северной шхерной зоне озера.

Е.А. Курашов и Д.С. Дудакова (Литоральная…, 2011) отмечают 240 найденных видов и форм мейобентоса для Ладожского озера по данным прошлых исследований. Данное сообщество состоит из следующих систематических групп: Nematoda (круглые черви), Oligochaeta (малощетинковые черви), Turbellaria (ресничные черви), Tardigrada (тихоходки), Bivalvia (двустворчатые), Gastropoda (брюхоногие), Rotatoria (коловратки) (классы); Ostracoda (ракушковые) (подкласс); Cladocera (ветвистоусые), Cyclopoida (циклопы), Harpacticoida (гарпактикоиды), Acari (клещи), Ephemeroptera (подёнки), Plecoptera (веснянки) (отряды); Chironomidae (комары-звонцы), Ceratopogonidae (мокрецы) (семейства). Наиболее часто встречаются представители групп Nematoda, Cyclopoida, Harpacticoida, Oligochaeta, Ostracoda, Cladocera, Chironomidae. Северный и западный шхерный районы выделяются наибольшими средними значениями общей численности и биомассы по сравнению с южной и восточной частями.

В 2006 г. по данным исследований Е.А. Курашова и Д.С. Дудаковой роль круглых червей шхерного района составляет 40% общей численности, тогда как в южной и восточной частях – 70%. Наряду с круглыми червями, доминирующими являются ветвистоусые и ракушковые раки. Значительная доля биомассы сообщества приходится на малощетинковых червей (36-56%) и моллюсков (18-23%).

Как отмечает Е.А. Курашов (Экосистема Ладожского…, 2018), наблюдения за динамикой изменения структуры мейобентосного сообщества в центральной акватории озера за последнее десятилетие показали тенденцию к улучшению состояния экосистемы озера, что проявляется в исчезновении скоплений диапаузирующих циклопов.

По результатам проведенных работ в 2016–2017 гг. Институтом озероведения РАН и Санкт-Петербургским национальным исследовательским университетом информационных технологий, механики и оптики было выявлено, что в целом нарушений экологического состояния открытых акваторий Ладоги по состоянию сообщества мейобентоса в связи с антропогенным влиянием не обнаружено (Экосистема Ладожского…, 2018).

На выходе из залива Импилахти в 2006 г. Е.А.Курашовым и Д.С. Дудаковой было отмечено бурное развитие мейобентоса: круглых червей, гарпактицид, малощетинковых червей, ветвистоусых рачков и моллюсков. Суммарная численность превысила 2.6 млн экз/м2, а биомасса 200 г/м2. Как полагают авторы, причиной такой аномалии возможно является то, что данный биотоп находился на границе взаимодействия водных масс гиперэвтрофного залива Импилахти и чистых вод открытой Ладоги. Также в исследованиях был использован комплекс видов олигохет, который может указывать на присутствие загрязнения. По результатам анализа было выявлено несколько загрязненных участков, в состав которых входит залив Импилахти (Курашов, Дудакова, 2018).

Характеризуя экологическое состояние Ладожского озера в целом по результатам исследований Института озероведения РАН по всем основным гидробиологическим сообществам с 2007 по 2017 г., Е.А. Курашов с соавторами оценивают трофический статус центральной части акватории Ладожского озера как слабомезотрофный (при олиготрофном характере гиполимниона), северной – как олиготрофный, западной – как мезотрофный, южной части – как слабоэвтрофный. Средние величины биомассы фитопланктона и хлорофилла-а характеризуют Ладожское озеро в целом как мезотрофный водоем. Также отмечается, что в видовом составе донных биоценозов Ладожского озера их доминирующий комплекс, соотношение основных групп, остается достаточно стабильным на протяжении последнего десятилетия.

Воды Ладожского озера характеризуются как «чистые» и «очень чистые», за исключением отдельных акваторий в прибрежной зоне в районе зон экологического риска, в т.ч. исследуемый залив Импилахти, в котором наблюдаются загрязнение и эвтрофирование (Экосистема…, 2018).

# Глава 4. Методы биоиндикации по макрозообентосу

В настоящее время существует большое число методов оценки качества воды по биологическим показателям. Их можно разделить на основанные на индикаторном значении организмов; учитывающие видовое разнообразие населения водоёмов; объединяющие показательное значение организмов и их видовое разнообразие.

***Сапробиологические методы****.* Одно из важнейших мест при гидробиологическом анализе поверхностных вод занимает метод сапробиологического анализа, который был разработан ботаником Кольквитцем и зоологом Марссоном в 1908-1909 гг., и в дальнейшем был модифицирован многими авторами. Эти авторы оценивали степень загрязнения водоемов по присутствию или отсутствию в них гидробионтов с разной степенью оксифильности, чувствительности к содержанию неразложившихся органических веществ и продуктов их распада в окружающей воде. Этот метод может быть использован в случаях загрязнения вод бытовыми стоками и промышленного загрязнения (Руководство…, 1983).

Сапробность организма обуславливается его потребностью в органическом питании, сопротивлением по отношению к вредным продуктам распада и дефициту кислорода в загрязненных водах. Таким образом показательные организмы делят на полисапробионтов – организмы сильно загрязненных вод, мезосапробионтов (с двумя подгруппами α и β) – организмы умеренно загрязненных вод, и олигосапробионтов – организмы слабозагрязненных вод (Руководство…, 1983).

Класс качества вод делят на полисапробные (очень сильно загрязненные), α-мезосапробные (сильно загрязненные), β-мезосапробные (умеренно-загрязненные) и олигосапробные (чистые).

На данный момент одним из распространенных методов сапробиологического анализа является *метод Пантле и Букк в модификации Сладечека*. Данный метод учитывает относительную частоту встречаемости (обилие) гидробионтов *h* и их индикаторную значимость *s* (сапробную валентность). Индикаторную значимость *s* и зону сапробности определяют для каждого вида по спискам сапробных организмов.

Обе величины (*h* и *s*) входят в формулу для вычисления индекса сапробности.

S

Вместо частоты встречаемости *h* можно использовать абсолютную численность. Однако в этом случае приходится производить операции с большими числами, что возможно только в хорошо оснащенной лаборатории (вычислительные приборы, калькуляторы), т. е. перевод абсолютной численности в частоту встречаемости *h* обусловлен трудоемкостью вычислений. Для статистической достоверности результатов исследования необходимо, чтобы в пробе содержалось не менее 12 индикаторных видов с общей суммой частоты встречаемости *h*, равной 30.

Индекс сапробности вычисляют с точностью до одной сотой. Для ксеносапробной зоны он находится в пределах 0-0,50, олигосапробной — 0,51-1,50; β-мезосапробной — 1,51-2,50, α-мезосапробной, полисапробной — 3,51-4,00.

При использовании сапробиологического анализа следует учитывать, что индикаторное значение видов может быть неодинаковым в различных климатических зонах. Системы видов-индикаторов разработаны для среднеевропейской флоры и фауны, это ограничивает их применение в других регионах (Руководство…,1983). Также распределение организмов по сапробности не вполне отвечает условиям настоящего времени, т.к. изменился состав загрязняющих веществ (Руководство…, 1992).

М.В. Чертопруд (2006) считает, что применимость вышеуказанного индекса весьма ограничена. Причиной этого является трудность в определении организмов до вида и трудоёмкость сбора количественных данных, также видовые списки содержат мало информации о составе сообществ Европейской России. В связи с этим он предложил модификацию сапробиологического анализа для всех типов водоемов Европейской России с собственным списком индикаторных таксонов. Для каждого таксона было вычислено значение антропогенной нагрузки, которое стало сапробностью этого таксона (выражаемой в баллах от 0 до 4). Также каждому таксону был присвоен индикаторный вес (от 1 до 4). В качестве таксонов-индикаторов взяты почти все характерные семейства пресноводного макробентоса Европейской России, кроме нескольких наиболее эврибионтных и ряда редких.

Индекс рассчитывается по формуле:

I=∑*SJ*/∑*J,*

Где S – сапробность каждого найденного в пробе индикаторного таксона, J – его индикаторный вес.

Таблица 1. Величины индекса Пантле-Букк и качество воды

|  |  |
| --- | --- |
| качество | значение |
| очень чистые | <1 |
| чистые | 1.00-1.50 |
| умеренно-загрязненные | 1.51-2.50 |
| загрязненные | 2.51-3.50 |
| грязные | 3.51-4.00 |
| очень грязные | >4 |

***Биотические индексы.***Впервые в 1955 г. концепция биотических индексов была разработана *Вильямом Бекком*. Он же предложил первый биотический индекс (Шитиков, Розенберг, Зинченко, 2003).

Метод оценки загрязнения рек основывался на распределении избранных водных беспозвоночных в определенные категории в зависимости от их отношения к органическому загрязнению. Накопленный опыт показывал, что биотический индекс мог быть использован и в отношении других типов загрязнения.

Было выделено 39 таксонов многоклеточных беспозвоночных как индикаторов загрязнения. Все организмы разделены на три группы, из них две – индикаторные и используются в вычислении индекса:

1) выносят только очень слабое загрязнение

2) способны переносить сильное загрязнение и анаэробные условия

Для расчета индекса используется формула:

IB= 2(число таксонов 1 группы) + (число таксонов 2 группы)

Индекс равен нулю при наиболее сильном загрязнении. В этом случае организмы на станции не обнаружены. В умеренно загрязненных водах он варьирует от 1 до 5. В чистых водотоках с однообразными условиями и медленным течением индекс равен от 6 до 9. Чистые воды характеризуются значением выше 10.

*Индекс BBI* был предложен Т.Биком в 1959 г. (Beak, 1965). Он разделил бентосную фауну на три группы:1) виды неустойчивые к загрязнению; 2) виды, которые могут быть встречены как на загрязненных, так и на чистых участках; 3) виды очень устойчивые к загрязнению и развивающиеся на загрязненных участках в массе (Таблица 2).

Особенностью индекса BBI является то, что он оценивает ихтиологический потенциал рек, помимо качества воды. Индекс не зависит от метода взятия проб, необходимо лишь достаточно точно оценить состав и плотность населения бентоса. Определение до вида имеет важное значение для точной оценки, но примерный приемлемый результат может быть получен и на уровне идентификации до семейства. Чтобы использовать потенциал индекса полностью, исследователь должен оценить относительное содержание видов из различных трофических группировок (то есть травоядные, фильтраторы, хищники, и т.д.) и их экологические предпочтения.

*Таблица 2. Алгоритм вычисления BBI-индекса*

|  |  |
| --- | --- |
| Группы-индикаторы: |  |
| Odonata  Trichoptera  Megaloptera  Ephemeroptera  Plecoptera | При нахождении всех групп индекс принимает значение 3.  Если присутствует только часть групп, берется значение 2.  Если обнаружены представители только одного отряда – берется значение 1. |
| Факультативные группы: (в чистых и в загрязненных водах) |  |
| Chironomidae  Amphipoda  Isopoda  Gastropoda  Bivalvia | Если присутствуют все или почти все группы – берется значение 2.  Если имеются представители только 1 или 2-х групп – берется значение 1. |
| Толерантные к загрязнению группы: |  |
| Tubificidae  Lumbriculidae  Procladius culiciformis (Chironomidae) | Берется значение 1 |

Другой метод биотических индексов был разработан *Вудивиссом* в 1964 г. (Woodiwiss, 1964). Он признан наиболее перспективным для гидробиологического анализа загрязнения вод и донных отложений малых рек по составу донных макробеспозвоночных (Руководство…, 1983). В этом методе объединен принцип индикаторного значения отдельных таксонов и принцип уменьшения разнообразия фауны в условиях загрязнения. Метод достаточно достоверно указывает степень загрязнения различных участков реки, обладает высокой воспроизводимостью результатов (Научные основы…, 1977).

Для определения биотического индекса Вудивисса нет необходимости проводить трудоемкие таксономические определения. По сумме " групп" и качественному составу населения рассчитываются значения биотического индекса TBI (Таблица 3) (Руководство…, 1983).

Однако опыт применения его в нашей стране и за рубежом показал, что, будучи разработан для малых рек Англии, индекс применим далеко не ко всем типам водоемов и дает неудовлетворительные результаты на крупных равнинных водохранилищах.

*Таблица 3. Таблица для расчета TBI*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наличие видов индикаторов | Число видов-  индикаторов | Общее количество присутствующих групп бентосных организмов | | | | | |
|  |  | *0-1* | *2-5* | *6-10* | *11-15* | *16-20* | *более 20* |
| *Личинки веснянок*  *(Plecoptera)* | *более 1 вида*  *1 вид* | *-*  *5* | *7*  *6* | *8*  *7* | *9*  *8* | *10*  *9* | *11*  *10* |
| *Личинки поденок*  *(Ephemeroptera)\** | *более 1 вида*  *1 вид* | *-*  *4* | *6*  *5* | *7*  *6* | *8*  *7* | *9*  *8* | *10*  *9* |
| *Личинки ручейников (Trichoptera) \*\** | *более 1 вида 1 вид* | *4*  *3* | *5*  *4* | *6*  *5* | *7*  *6* | *8*  *7* | *9*  *8* |
| *Бокоплавы (Amphipoda), личинки мошек (Simuliidae)* |  | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* |
| *Водяной ослик (Asellus aquaticus)* |  | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* |
| *Олигохеты (Oligohaeta) или личинки звонцов (Chironomidae)* |  | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* |
| *Отсутствуют все приведенные выше группы* |  | *0* | *1* | *2* | *-* | *-* | *-* |

***Биоиндикаторы крупных таксонов.*** *К.Г. Гуднайт* и *Л.С. Уитлей* о санитарном состоянии реки предложили судить по соотношению численности олигохет и других обитателей дна. В настоящее время используют 6-ступенчатую шкалу градаций индекса (Таблица 4) (Руководство…, 1983).

Индекс рассчитывается как отношение численности олигохет к общей численности организмов в пробе. При этом состояние реки считается хорошим, если индекс меньше 60%, сомнительным – в пределах 60-80%, река тяжело загрязнена, если превышает 80%.

*Таблица 4. Значения индекса Гуднайта и Уитлея и соответствующие градации качества воды*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Индекс | 0.01-0.16 | 0.17-0.33 | 0.34-0.50 | 0.51-0.67 | 0.68-0.84 | 0.85-1.00 |
| Вода | чистая | условно чистая | слабо загрязненная | загрязненная | грязная | очень грязная |
| Зона сапробности | олигосапробная | Олиго- β - мезосапробная | β- мезосапробная | β - α - мезосапробная | α- мезосапробная | полисапробная |

Другой многочисленной группой в донном населении являются личинки комаров-звонцов (Chironomidae). Для определения качества поверхностных вод может быть использован *хирономидный индекс Е.В.Балушкиной* (1987).

Видовой состав личинок комаров-звонцов может свидетельствовать о качестве воды за длительный период времени, т.к. продолжительность жизни комаров-звонцов довольно велика.

В загрязненных участках водоёмов должны присутствовать представители подсемейств Chironominae и Tanypodinae, а показателями чистых вод является наличие в них подсемейств Orthocladiinae и Diamesinae.

Соотношение численности представителей отдельных подсемейств комаров-звонцов связано со степенью загрязнения вод. На основании этого был предложен простейший индекс (K):

K = (αt + 0,5αch)/αo,

где αch – αChironominae, αo – αOrthocladinae и Diamesinae, αt – αTanypodinae.

Для того, чтобы определить величину индекса K, надо для каждого из подсемейств рассчитать вспомогательную величину α = N+10, где N – относительная численность особей всех видов данного подсемейства в процентах от общей численности особей всех комаров-звонцов. Для индекса эмпирически подобрано N+10.

Индикаторное значение подсемейства Chironominae ниже, чем Orthocladiinae, Diamesinae и Tanypodinae, поэтому оно снижено умножением α на 0,5.

Значения индекса K от 0,136 до 1,08 характеризуют воды как чистые, 1,08 – 6,05 – умеренно загрязненные, 6,5 – 9,0 – загрязнённые, 9,0 – 11,5 – грязные.

***Индекс биоразнообразия***. Степень видового разнообразия можно посчитать с помощью *индекса Шеннона*, разработанный им в 1949 г. Расчеты индекса разнообразия предполагают, что особи попадают в выборку случайно из «неопределенно большой» (т. е. практически бесконечной совокупности) генеральной совокупности, причем в выборке представлены все виды генеральной совокупности. Неопределенность будет максимальной, когда все события (*N*) будут иметь одинаковую вероятность наступления (*pi = ni/N*). Она уменьшается по мере того, как частота некоторых событий возрастает по сравнению с другими, вплоть до достижения минимального значения (нуля), когда остается одно событие и есть уверенность в его наступлении (География и мониторинг…, 2002).

Индекс Шеннона рассчитывается по формуле:

*H’= -∑ pi ln pi,,*

где величина *pi*– доля особей *i*-го вида.

При расчете индекса Шеннона используется двоичный логарифм, но приемлемо также использовать и другие основания логарифма (десятичный, натуральный).

Индекс Шеннона обычно варьирует в пределах от 1,5 до 3,5, очень редко превышая 4,5 (Таблица 5).

Индекс оказался самым популярным в оценке данных по разнообразию и применяется чаще других.

Таблица 5. Градации индекса по В.А. Яковлеву

|  |  |
| --- | --- |
| Значение | Качество воды |
| >2 | очень чистые |
| >2 | чистые |
| >2 | умеренно загрязненные |
| 1.0-2.0 | загрязненные |
| 0-1.0 | грязные |
| 0 | очень грязные |

# Глава 5. Материалы и методы исследования

Залив Импилахти, на котором проводили исследования, расположен в юго-западной части республики Карелия, на северном побережье Ладожского озера рядом с одноименной учебно-научной базой СПбГУ.

Отбор проб осуществляли в июне 2018 года. Всего было исследовано 8 станций, среди которых 7 расположены в прибрежной зоне залива (ст. 1, 2з, 2п, 4, 5, 6, 7) и одна на участке реки Неувосенлампи (ст. 3), впадающей в залив.

Станция 1 была исследована только качественно, станции 2п, 2з качественно и количественно, станции 3, 4, 5, 6, 7 количественно. Качественные пробы собирали гидробиологическим сачком, количественные пробы на станциях с глубиной 20-30 см (ст. 2п, 2з, 3) брали грунтовой трубкой (площадь захвата 1/200 м2), на станциях (ст. 4, 5, 6, 7) с глубиной 2-3 м был использован дночерпатель Петерсена (с площадью захвата 1/40 м2). Всего было отобрано 7 количественных и 3 качественных проб (Таблица 6).

Таблица 6. Количество станций на разных глубинах в прибрежной зоне, и участке реки Неувосенлампи

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Прибрежная зона | | Река |
| глубина | 20 см | 200-300 см | 20 см |
| качественные пробы | 3 | - | - |
| количественные пробы | 2 | 4 | 1 |

Пробы промывали с помощью сита с диаметром ячеи 0,5 мм. Отобранные животные были зафиксированы при помощи 4%-ого раствора формальдегида и помещены в пластиковые контейнеры для хранения. На контейнеры наклеивали этикетки, на которых указывали название водоема, дата и место отбора пробы. В дальнейшем пробы были подсчитаны и определены до видового состава в лаборатории университета.

Для определения видовой принадлежности донных организмов использовались определительные таблицы (Определитель…, 1994, 1997, 1999, 2001).

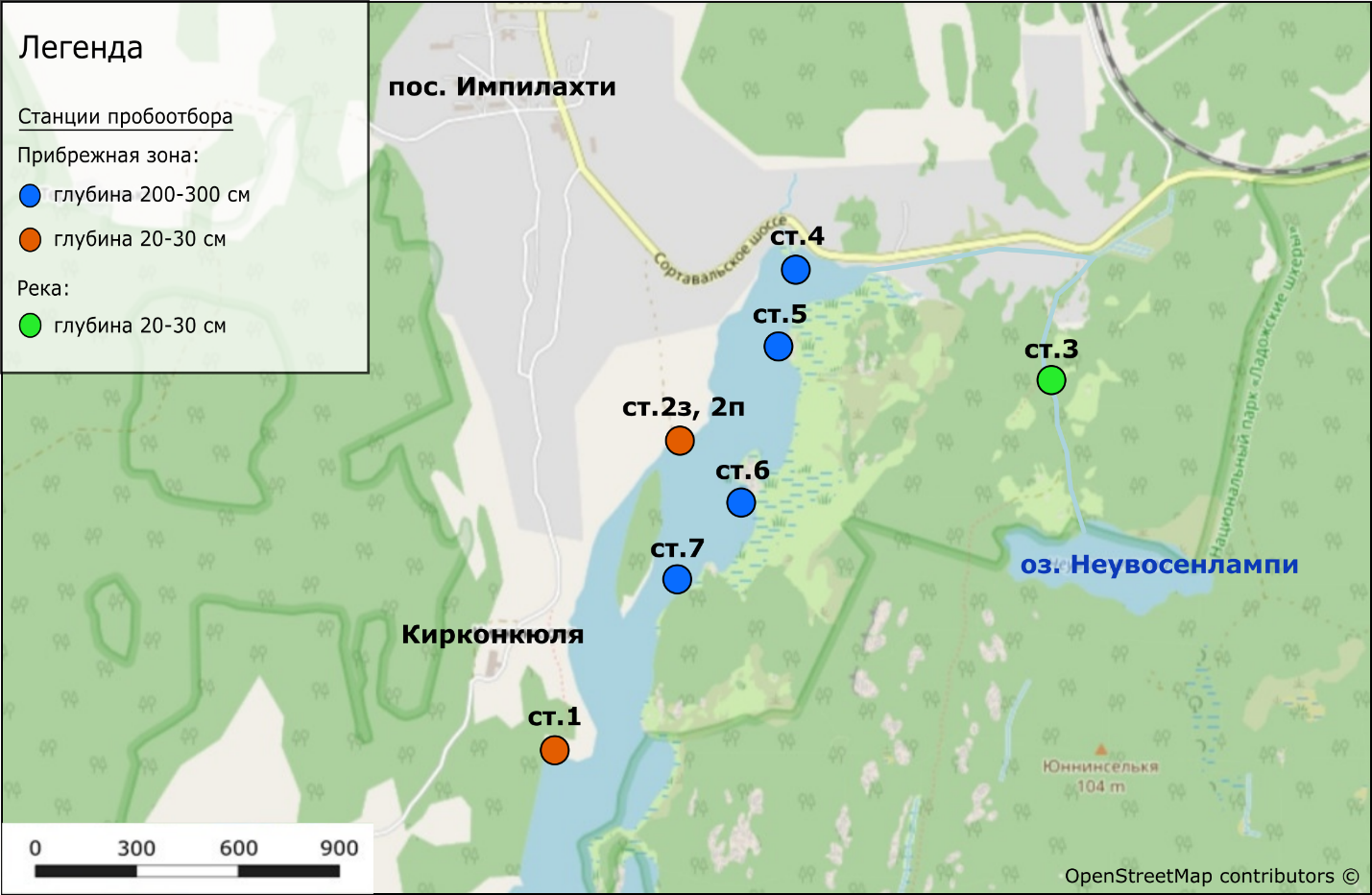
Масса отобранных животных определялась на лабораторных аналитических весах OHAUS AX-224 с точностью 0,1 мг. Перед взвешиванием беспозвоночных обсушивали на фильтровальной бумаге.

Для характеристики структуры сообществ донных беспозвоночных учитывалось число видов, видовой состав, частота встречаемости (f%), численность (N, экз/м2), биомасса (B, г/м2), индекс видового разнообразия Шеннона.

Для оценки качества вод были рассчитаны интегральный индекс Балушкиной (Балушкина, 1987), олигохетный индекс Гуднайта-Уитлея (Руководство…, 1987), биотический индекс Бика, индекс сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека (Шитиков, Розенберг, Зинченко…, 2003) и в модификации Чертопруда (2006). Их подробное описание указано в главе 4.

Для оценки сопряженности группировок сообщества макрозообентоса был использован кластерный анализ (мера сходства – расстояние Евклида, кластеризация – метод ближнего соседа). Для расчетов средних значений и стандартных ошибок был использован пакет программы MS Excel.

# Глава 6. Результаты



*Рисунок 2. План-схема мест отбора проб в 2018 г. в заливе Импилахти*

По данным 2018 г. в составе зообентоса изученного участка было определено 45таксонов беспозвоночных, из них наиболее широко представлены личинки комаров-звонцов (Chironomidae) (20 видов). Также было обнаружено 8 видов ручейников (Trichoptera), 7 видов малощетинковых червей (Oligochaeta), 2 вида пиявок (Hirudinea), подёнок (Ephemeroptera) и полужесткокрылых (Hemiptera) и по одному виду равноногих раков (Isopoda), бокоплавов (Amphipoda), жуков (Coleoptera).

Число видов на станциях 2-7 варьировало от 1 до 10, в среднем по 6 видов на станцию. Максимальное количество видов по количественным пробам обнаружено на станции 2з. В качественных пробах наблюдается такая же картина. Такое обилие связано с тем, что пробы отбирали в зарослях макрофитов, для которых естественно большое видовое разнообразие (Таблица 7).

Таблица 7. Характеристики количественных проб

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **характеристики/станции** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** |
| **количество видов, м2** | 10 | 6 | 7 | 8 | 1 | 7 | 5 |
| **численность, экз./м2** | 24600 | 6800 | 5800 | 520 | 40 | 520 | 240 |
| **биомасса, г/м2** | 51,37 | 17,19 | 24,30 | 14,69 | 0,03 | 1,06 | 4,08 |

*Примечание: синим цветом выделена станция на участке реки Неувосенлампи; зеленым – наибольшие показатели; красным – наименьшие показатели*

Таблица 8. Характеристики качественных проб

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **характеристики/станции** | **1** | **2з** | **2п** |
| **количество видов** | 14 | 19 | 8 |

*Примечание: зеленым цветом выделены наибольшие показатели; красным – наименьшие показатели*

Индекс видового разнообразия Шеннона по численности изменялся в пределах 1,4 Нбит – 2,8Hбит (Таблица 8). С увеличением степени загрязнения водоемов видовое разнообразие обычно уменьшается, а структура сообществ упрощается. В градации индекса по В.А. Яковлеву качество воды на станциях 3 и 7 характеризуется как загрязненное, а на станциях 1, 2з, 2п, 4, 6 от очень чистого до умеренно загрязненного. Стоит отметить, что индекс на станции 2п по количественным пробам оказался равен 1,4 Hбит, а по качественным – 2,5 Hбит. Это можно объяснить тем, что в первом случае площадь поверхности сбора проб была меньшей, чем во втором. Значение индекса Шеннона на станции 2п стоит считать более достоверным по качественной пробе – 2,5 Hбит.

Таблица 8. Значения индекса Шеннона

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **станции** | **1** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **6** | **7** |
| **значение индекса H** | 2,8 | 2,1-2,8 | 1,4-2,5 | 1,6 | 2,6 | 2,2 | 1,7 |

Примечание: синим цветом выделена станция на участке реки Неувосенлампи

Малощетинковые черви были найдены на всех станциях (f=100%), среди них в количественных пробах доминирующим был вид *Limnodrilus udekemianus* (Таблица 9). Личинки комаров-звонцов и ручейников имели встречаемость f=71% для каждой группы соответственно. Среди комаров-звонцов доминирующими видами являлись *Microtendipes pedellus*, *Polypedilum nubeculosum*, *Endochironomus impar*. Вид *Holocentropus picicornis* доминировал среди ручейников. Как в качественных пробах, так и в количественных в мелководной зоне помимо малощетинковых червей, комаров-звонцов и ручейников присутствовали бокоплавы (Таблица 10).

Таблица 9. Встречаемость (f) групп в количественных пробах

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **станции** | | | | | | | **встречаемость (f), %** |
| **таксоны** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** |  |
| **малощетинковые черви** | + | + | + | + | + | + | + | 100 |
| **пиявки** |  |  | + |  |  |  |  | 14 |
| **равноногие** | + |  | + |  |  |  |  | 29 |
| **бокоплавы** | + | + |  |  |  |  |  | 29 |
| **комары-звонцы** | + | + |  | + |  | + | + | 71 |
| **жуки** |  |  |  |  |  |  |  | 0 |
| **подёнки** | + |  |  | + |  |  |  | 29 |
| **полужесткокрылые** |  |  |  |  |  |  |  | 0 |
| **ручейники** |  | + | + | + |  | + | + | 71 |

Примечание: синим цветом выделена станция на участке реки Неувосенлампи; зеленым цветом выделены доминирующие группы, желтым цветом – субдоминирующие

*Таблица 10. Встречаемость групп (f) в качественных пробах*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **станции** | | | **встречаемость (f), %** |
| **таксоны** | **1** | **2з** | **2п** |  |
| **малощетинковые черви** | + | + | + | 100 |
| **пиявки** |  | + |  | 33 |
| **равноногие** |  | + |  | 33 |
| **бокоплавы** | + | + | + | 100 |
| **комары-звонцы** | + | + | + | 100 |
| **жуки** |  | + |  | 33 |
| **подёнки** |  | + | + | 67 |
| **полужесткокрылые** |  | + |  | 33 |
| **ручейники** | + |  | + | 67 |

Примечание: зеленым цветом выделены доминирующие группы, желтым цветом – субдоминирующие

Суммарная численность (N) по станциям варьировала от 40 экз./м2 до 24600 экз./м2, в среднем составив 5,5±3,0 (стандартная ошибка) тыс. особей на м2. В зарослях станции 2з было обнаружено наибольшее количество беспозвоночных, а станция 5 характеризовалась наименьшей численностью (Таблицы 7, 8, 11).

Показатели биомассы (B) изменялись от 0,03 г/м2 до 51,37 г/м2, в среднем составив 16±7 (стандартная ошибка) г на м2. Наибольшая биомасса наблюдалась на ст. 2з, а наименьшая на ст. 5 (Таблицы 7, 8, 12).

Таблица 11. Абсолютные численности по качественным (экз.) и количественным пробам (экз./м2)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Станции/группы** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **1** | **2з** | **2п** |
| **малощетинковые черви** | 2800 | 800 | 200 | 240 | 40 | 40 | 80 | 34 | 31 | 1 |
| **пиявки** |  |  | 1200 |  |  |  |  |  | 1 |  |
| **равноногие** | 1800 |  | 2000 |  |  |  |  |  | 3 |  |
| **бокоплавы** | 1000 | 200 |  |  |  |  |  | 11 | 23 | 4 |
| **комары-звонцы** | 18200 | 5400 |  | 200 |  | 320 | 80 | 36 | 122 | 20 |
| **жуки** |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |  |
| **подёнки** | 800 |  |  | 40 |  |  |  |  | 4 | 3 |
| **полужесткокрылые** |  |  |  |  |  |  |  |  | 7 |  |
| **ручейники** |  | 400 | 2400 | 40 |  | 160 | 80 | 4 |  | 1 |

*Примечание: голубым цветом выделена станция на участке реки Неувосенлампи, оранжевым – станции с качественными пробами*

Таблица 12. Абсолютные биомассы по качественным (г) и количественным пробам (г/м2)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Станции/группы** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **1** | **2з** | **2п** |
| **малощетинковые черви** | 3,74 | 1,62 | 0,16 | 0,69 | 0,03 | 0,02 | 0,06 | 0,019 | 0,084 | 0,002 |
| **пиявки** |  |  | 2,22 |  |  |  |  |  | 0,008 |  |
| **равноногие** | 1,86 |  | 2,90 |  |  |  |  |  | 0,004 |  |
| **бокоплавы** | 5,30 | 0,80 |  |  |  |  |  | 0,092 | 0,050 | 0,005 |
| **комары-звонцы** | 39,13 | 7,37 |  | 0,08 |  | 0,62 | 0,08 | 0,025 | 10,169 | 0,029 |
| **жуки** |  |  |  |  |  |  |  |  | 0,006 |  |
| **подёнки** | 1,52 |  |  | 0,07 |  |  |  |  | 0,020 | 0,001 |
| **полужесткокрылые** |  |  |  |  |  |  |  |  | 0,080 |  |
| **ручейники** |  | 8,12 | 19,02 | 13,84 |  | 0,41 | 3,90 | 0,331 |  | 0,027 |

*Примечание: голубым цветом выделена станция на участке реки Неувосенлампи, оранжевым – станции с качественными пробами*

Для удобства восприятия были составлены гистограммы относительных численностей (Рисунок 3, Рисунок 4) и таблица относительных биомасс по группам (Таблица 13).

Рисунок 3. Относительные численности групп по станциям для количественных проб

Рисунок 4. Относительные численности групп по станциям для качественных проб

Таблица 13. Относительные биомассы групп, %

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **станции/группы** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **1** | **2з** | **2п** |
| **малощетинковые черви** | 7 | 9,5 | 1 | 5 | 100 | 2 | 1,5 | 4 | 0,8 | 2 |
| **пиявки** |  |  | 9 |  |  |  |  |  | 0,8 |  |
| **равноногие** | 4 |  | 12 |  |  |  |  |  | 0,4 |  |
| **бокоплавы** | 10 | 0,5 |  |  |  |  |  | 20 | 0,5 | 7 |
| **комары-звонцы** | 76 | 43 |  | 0,5 |  | 59 | 2 | 5 | 97,6 | 46 |
| **жуки** |  |  |  |  |  |  |  |  | 0,5 |  |
| **подёнки** | 3 |  |  | 0,5 |  |  |  |  | 0,2 | 2 |
| **полужесткокрылые** |  |  |  |  |  |  |  |  | 0,8 |  |
| **ручейники** |  | 47 | 78 | 94 |  | 39 | 96,5 | 71 |  | 42 |

*Примечание: голубым цветом выделена станция на участке реки Неувосенлампи, оранжевым – станции с качественными пробами*

По численности доминирующими были малощетинковые черви (станции 4, 5, 7, 1), комары-звонцы (станции 2з, 2п, 6, 7, 1), ручейники (станции 3, 7) (Таблица 14). По биомассе доминировали малощетинковые черви (станция 5), комары-звонцы (станции 2з, 2п, 6) и ручейники (станции 3, 7) (Таблица 15).

Таблица 14. Доминирующие группы по численности

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **станции/группы** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **1** | **2з** | **2п** |
| **малощетинковые черви** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **пиявки** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **равноногие** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **бокоплавы** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **комары-звонцы** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **жуки** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **подёнки** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **полужесткокрылые** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **ручейники** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

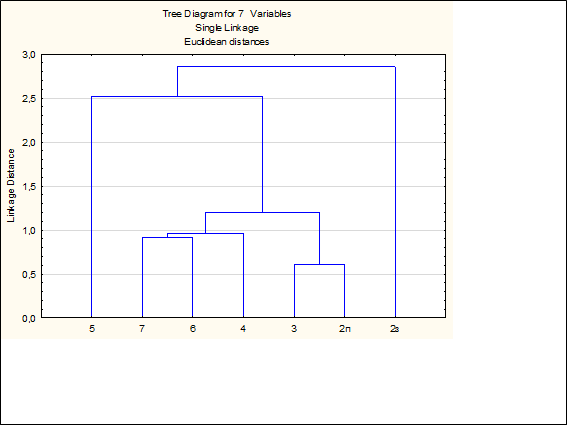
*Примечание: синим цветом выделена станция на участке р. Неувосенлампи, оранжевым – станции с качественными пробами; зеленым цветом выделены доминирующие группы, желтым цветом – субдоминирующие*

Таблица 15. Доминирующие группы по биомассе

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **станции/группы** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **1** | **2з** | **2п** |
| **малощетинковые черви** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **пиявки** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **равноногие** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **бокоплавы** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **комары-звонцы** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **жуки** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **подёнки** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **полужесткокрылые** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **ручейники** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

*Примечание: синим цветом выделена станция на участке р. Неувосенлампи, оранжевым – станции с качественными пробами; зеленым цветом выделены доминирующие группы, желтым цветом – субдоминирующие*

Наиболее простым и объективным способом визуализации имеющейся неоднородности многомерного массива данных является проведение кластерного анализа. На дендрограмме (Рисунок 5) приведено сходство станций по структуре макрозообентоса. Мы видим выделение 4-х кластеров – станции 4, 6, 7 (с глубиной пробоотбора 200-300 см); станции 3 и 2п (с глубиной пробоотбора 20-30 см); станция 5, где показатели структуры макрозообентоса имеют наименьшие значения; станция 2з – наивысшие значения, что характерно для зарослей (Таблица 16).



IV

III

II

I

200-300 см

20-30 см

Рисунок 5. Сходство станций в заливе Импилахти и на участке реки Неувосенлампи по структуре макрозообентоса (N, B, D, ISh) по данным 2018 г. По оси абсцисс – обозначение станций, мера сходства – расстояние Евклида, алгоритм кластеризации – метод ближнего соседа, данные стандартизированы.

Таблица 16. Характеристика кластеров по структуре макрозообентоса

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| кластер | II | | I | | III | | IV | |
|  | диапазон изменения | среднее | диапазон изменения | среднее | диапазон изменения | среднее | диапазон изменения | среднее |
| N | 240-520 | 400±100 | 40 | - | 5800-6800 | 6300±500 | 24600 | - |
| B | 1,1-14,7 | 6,6±4,1 | 0,03 | - | 17,9-24,3 | 21,1±3,2 | 51,6 | - |
| D | 5-8 | 6,6±0,8 | 1 | - | 6-7 | 6,5±0,5 | 10 | - |
| Ish | 1,7-2,6 | 2,2±0,3 | 0 | - | 1,4-1,6 | 1,5±0,1 | 2,1 | - |

По соотношению доминирующих таксонов, зообентос залива Импилахти можно условно разделить на 2 группы – хирономидно-ручейниковый и олигохетно-ручейниковый (Рисунок 6).

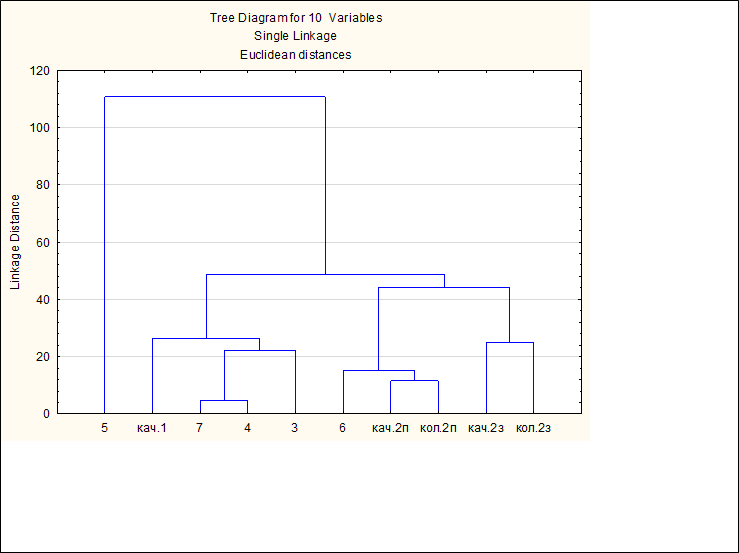


Рисунок 6. Сходство станций в заливе Импилахти и на участке реки Неувосенлампи по структуре макрозообентоса по данным 2018 г. По оси абсцисс – обозначение станций, мера сходства – расстояние Евклида, алгоритм кластеризации – метод ближнего соседа, данные стандартизированы.

По значениям рассчитанных индексов (Таблица 16, Таблица 18) была составлена картина качества вод на всех станциях.

Индекс сапробности Пантле-Букк в модификации М.В. Чертопруда в целом оценил станции как загрязненные и умеренно-загрязненные, за исключением станций 5 (грязные) и 6 (чистые) (Таблица 17).

Таблица 17. Значения индекса сапробности Пантле-Букк в модификации М.В. Чертопруда

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **станции** | 1 | 2з | 2п | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| **значение индекса Пантле-Букк** | 2,4 | 2,8 | 2,3 | 2,5 | 2,8 | 4 | 1,5 | 1,7 |
| **качество вод** | умеренно  загрязненные | загрязненные | умеренно загрязненные | умеренно загрязненные | загрязненные | грязные | чистые | умеренно загрязненные |

Благодаря найденным видам-индикаторам загрязнения (Таблица 18) нами был рассчитан индекс Пантле-Букк (S=2,6) в модификации Сладечека, который отнес залив Импилахти к α-сапробной зоне (сильно загрязненные воды).

Таблица 18. Обнаруженные виды, для которых известна степень сапробности

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Виды** | **Степень сапробности** | **Станции, где были обнаружены виды** |
| ***Stylodrilus heringianus*** | b-мезосапробность - олигосапробность | 1,3 |
| ***Stylaria lacustris*** | b-мезосапробность | 2з, 2п |
| ***Tubifex tubifex*** | полисапробность | 4 |
| ***Erpobdella octoculata*** | a-мезосапробность | 2з, 3 |
| ***Asellus aquaticus*** | a-мезосапробность, b-мезосапробность | 2з, 3 |
| ***Anabolia laevis*** | b-мезосапробность | 1, 7 |
| ***Molanna angustata*** | олигосапробность | 2п |

По хирономидному индексу Е.В. Балушкиной все станции оцениваются как умеренно-загрязненные. Такие одинаковые показатели можно объяснить следующим. При расчетах индекса учитываются подсемейства Orthocladiinae, Diamesinae, которые могут быть показателями чистых вод, тогда как Tanypodinae, Chironominae – показателями загрязненных. В исследованных пробах большая численность комаров-звонцов принадлежала подсемейству Chironominae, а второе место занимало подсемейство Tanypodinae, хоть и в меньшем количестве. Этот факт должен был отразиться в отнесении качества вод к «грязным» и «загрязненным», однако как говорит Е.В. Балушкина (Функциональное…, 1987), даже при небольшом количестве Orthocladiinae воды можно отнести к «умеренно загрязненным».

Что касается олигохетного индекса, все участки, кроме станции 5, относятся к чистым или слабо загрязненным водам. По расчетам станция 5 оказалась сильно загрязненной, но эта оценка не является достаточно достоверной, т.к. на станции были обнаружены только олигохеты и в очень малом количестве. Возможно, это связано с мозаичным распределением бентоса. Отбор проб качественным способом Большее количество отобранных проб на станции дало бы более достоверную оценку.

Биотический индекс Бика, основанный на нахождении видов, в разной степени чувствительных к загрязнению, дает более низкую оценку качества вод по сравнению с олигохетным и хирономидным индексами. На большинстве станций пробы были отобраны количественным способом, где использовалась небольшая грунтовая трубка. Ввиду этого нами не было «захвачено» достаточное количество разнообразных видов, что и отразилось в показателях индекса Бика. Подтверждением этому являются показатели со станций, где пробы были отобраны качественно – гидробиологическим сачком. Там показатели индекса относят качество вод к более высшему классу (Таблица 19).

Таблица 19. Показатели рассчитанных индексов, представленные в цветовой гамме, и пояснительная таблица качества вод

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **количественные** | | | | | | | **качественные** | | |
| **Станции/индексы** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **1** | **2з** | **2п** |
| **хирономидный индекс** | 1,56 | 1,55 |  | 1,55 |  | 1,56 | 1,45 | 1,48 | 1,55 | 1,55 |
| **олигохетный индекс** | 11 | 12 | 3 | 46 | 100 | 8 | 33 | 40 | 3 | 16 |
| **индекс Бика** | 4 | 2 | 2 | 4 |  | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 |

Пояснительная таблица:

|  |  |
| --- | --- |
|  | чистая |
|  | умеренно загрязненные |
|  | загрязненные |
|  | грязные |
| цвета нет | индекс не мог быть рассчитан |

Существует множество разработанных систем классификации пресноводных водоемов, использующие различные комплексы гидрохимических и гидробиологических показателей. Чаще всего подход к выделению граничных значений для группировки водных объектов по классам качества достаточно произволен и основывается на опыте исследователя. С градациями классов качества вод можно связать неограниченное количество показателей и расчетных критериев. Однако все они редко дают одинаковую картину, вследствие этого достоверность оценки снижается. Каждый из индексов выделяет ту или иную особенность сообществ организмов, при этом не учитывая другие. Рядом исследователей были предложены методы совмещения показателей, основанные на нормировании исходных показателей в единую шкалу, которые затем суммируются. Нельзя отрицать того, что усреднение нескольких показателей не будет являться достаточно достоверным, т.к. суммированные индексы сами по себе могут не отражать того явления, которое им приписывается. Они могут быть чувствительны к действию сторонних факторов, которые никак не связаны с загрязнением. Несмотря на это нами была предпринята попытка обобщения рассчитанных индексов на примере интегрального индекса (IP) Е.В. Балушкиной, который прошел широкое тестирование, в т.ч. в Ладожском озере. Основная идея Е.В. Балушкиной – подобрать такие линейные множители (K) для всех обобщаемых индексов, чтобы они варьировались на соизмеряемом интервале от некоторого минимального значения до 100, после чего сложить преобразованные значения (Количественная…, 2003). В наших расчетах использовались индекс Бика(KB= – 16,67), олигохетный индекс Гуднайт-Уитлея (OI=1), хирономидный индекс Балушкиной (Kch=8,7) и индекс сапробности Пантле-Букк (KП-Б=25) в модификации Чертопруда (Таблица 20).

Таблица 20. Границы классов качества вод по показателям зообентоса KB, OI, Kch, KП-Б и интегральному показателю IP

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **OI** | **Kch** | **Kch\*K2** | **KB** | **100 - (KB\*K3)** | **KП-Б** | **KП-Б\*K4** | **IP** | **класс качества вод по Былинкой и Драчеву\*** |
| 0 | 0,14 | 1,22 | 6 | 0 | 1,0 | 25,0 | 26,2 | очень чистые |
| 50 | 1,08 | 9,40 | 5 | 16,7 | 1,5 | 37,5 | 113,6 | чистые |
| 60 | 6,50 | 56,50 | 3 (и 4) | 50,0 | 2,5 | 62,5 | 229,0 | умеренно-загрязненные |
| 80 | 9,00 | 78,26 | 2 | 66,7 | 3,5 | 87,5 | 312,5 | загрязненные |
| 100 | 11,50 | 100,00 | 0 (и 1) | 100,0 | 4,0 | 100,0 | 400,0 | грязные |

*Примечание: \* – данная классификация является первой и наиболее совершенной разработкой в направлении классификации водоемов (Шитиков, Розенберг, Зинченко, 2003)*

Предлагаемые границы значений олигохетного индекса (OI) не совпадают ни с ГОСТ 17.1.3.07–82 (Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 19.03.82 г. N 1115), ни с градациями качества вод в понимании Гуднайта-Уитлея, также градация индекса Бика не вполне соответствует оригинальной. Однако, авторы (Шитиков, Розенберг, Зинченко…, 2003) считают, что при расчетах обобщенного показателя такие различия стоит считать «несущественными». В результате нами была получена таблица качества вод (Таблица 21) по всем станциям (за исключением ст.5, где возможно было определение только олигохетного индекса), которые в целом характеризуются как умеренно-загрязненные. Показатели интегрального индекса (IP) довольно схожи с показателями отдельно рассчитанных индексов и на наш взгляд отражают близкой к истине картину состояния водоема.

Таблица 21. Значения интегрального индекса (IP)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **станции** | **1** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **6** | **7** |
| **IP** | 162,9 | 119,9-127,9 | 120,3-133,0 | 132,1 | 162,8 | 109,1 | 154,8 |
| **качество вод** | умеренное загрязнение | умеренное загрязнение | умеренное загрязнение | умеренное загрязнение | умеренное загрязнение | чистые | умеренное загрязнение |

В документе Минприроды РФ (Критерии оценки..., 1992) указаны критерии оценки степени неблагополучия экологической обстановки, в которые включены критерии, оценивающие изменение природной среды, в т.ч. поверхностных водоемов по химическим и биологическим показателям. При выделении рассматриваемых зон благополучия используются основные показатели по всем группам водного сообщества (бактериопланктону, фитопланктону, зоопланктону, зообентосу и ихтиофауне), принятые на основании данных региональной службы гидробиологического контроля и характеризующие степень экологической деградации пресноводных экосистем (Шитиков, Розенберг, Зинченко…, 2003). В данной работе использовали показатели только по зообентосу. По некоторым полученным нами (хирономидный индекс Балушкиной, олигохетный индекс Гуднай-Уитлея, развитости зообентоса) основным показателям критериев оценки состояния пресноводных систем в заливе Импилахти наблюдается относительно удовлетворительная ситуация. Качество вод залива во многом определяется стоком рек, впадающих в него. В ходе летней практики 2017 г. нами были получены данные характеристик структуры зообентоса ручьев, впадающих в залив Импилахти. Был рассчитан индекс Вудивисса, который в целом охарактеризовал водосборную площадь залива как благополучную (воды залива Импилахти во всех точках не загрязнены или относятся к «умеренно загрязненным»). Выделялись лишь несколько станций пробоотбора, среди которых одна расположена на ручье, куда сбрасываются канализационные воды пос. Импилахти, а вторая на поселковой лодочной станции (по дну постоянно протаскиваются лодки, кроме того, возможно загрязнение топливом лодочных моторов). В дополнение к общей картине экологического состояния залива целесообразно привести данные, полученные в ходе комплексной литогеохимической съемки (в который входил отбор проб почв и донных отложений ручьев и залива) в тот же период проведения летней практики в 2017 г. Почти во всех местах отбора проб почвы, горных пород и донных отложений загрязнение тяжелыми металлами отсутствовало (Подлипский, Ляховская, Шибаева, Горбунцов, 2017).

# Глава 7. Обсуждение

К сожалению, данных прошлых лет о количественных характеристиках зообентоса залива Импилахти довольно мало. Так, количественные показатели мы можем сравнивать только по имеющимся результатам исследований, проведенных в 1996-1997 гг., полученные М.А. Барбашовой и Т.Д. Слепухиной (Ладожское…, 2002), и в 2006 г., проведенными Е.А. Курашовым и М.А. Барбашовой (Литоральная…, 2011). Биомасса бентоса в вершине залива в 1996-1997 гг. варьировала от 7 г/м2 до 90,95 г/м2. В 2006 г. показатели равнялись 53.42 г/м2. Результаты нашего исследования в 2018 г. (0,03 - 51,5 г/м2, в среднем 16 г/м2) укладываются в приведенные выше диапазоны. Важное место продолжают занимать малощетинковые черви, численность личинок комаров-звонцов остается доминирующей в зоне зарослей, что также согласуется с исследованиями других авторов (Курашов, Барбашова, 2006). Вне зоны зарослей во все года исследований (Барбашова, Слепухина, 1996, 1997; Курашов, Барбашова, 2006) наблюдаются наименьшие количественные показатели бентоса.

Более подробный анализ можно дать по данным видовой структуры сообщества. В пробах были обнаружены широко представленные группы личинок комаров-звонцов и малощетинковых червей, характерные для данного водоема. Отмечено преобладание вида малощетинковых червей *Lumbriculus variegatus* и обнаружен характерный для зарослей вид *Stylaria Lacustris*. Встречался широко распространенный в озере и обитающий на всех глубинах озера вид малощетинковых червей *Stylodrilus heringianus*. Найденные личинки различных видов комаров-звонцов в целом также соотносились с видовыми списками, приводимых другими авторами, работавшими на водных объектах региона (Курашов, Барбашова, 2006, 2009). Также были найдены характерные для данного региона вид подёнок *Baetis* sp., водяной ослик *Asellus aquaticus*, два вида пиявок *Helobdella stagnalis*, *Erpobdella octoculata*. Обнаружен вид амфипод *Gmelinoides fasciatus*, появившийся в Ладожском озере в 80-х гг. прошлого столетия. Обнаружение видов-вселенцев является острой и актуальной проблемой современности.

Рассчитанные нами индексы по бентосу в целом оценивают класс качества вод залива Импилахти как умеренно-загрязненный, за исключением индекса Пантле-Букк, который оценил водоем как сильно загрязненный. Полученные данные схожи с данными прошлых исследований по другим сообществам – мейобентосу и макрофитам (Русанов, 2006; Курашов, Барбашова, 2006), однако данные по зоопланктону относили класс качества вод к чистым (Родионова, 2006) (Таблица 22).

Таблица 22. Сравнительная таблица результатов прошлых исследований по водным сообществам вместе с нашими результатами по макрозообентосу

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Сообщества/ качество вод залива** | **Сапробность** | **Трофность** | **Биоиндикационные индексы (наши данные)** |
| **Макрофиты** | - | Мезотрофные/эвтрофные условия залива по  Русанову А.Г. (2006),  Литоральная…, 2011 | - |
| **Зоопланктон** | Олигосапробные (чистые) воды по Родионовой Н.В. (2006),  Литоральная…, 2011 | Эвтрофные воды по индексу Шенона (Андроникова И.Н. (1989-1998)),  Литоральная…, 2011 | - |
| **Мейозообентос** | Загрязненность водоема по комплексу олигохет (Курашов, Дудакова, 2006)  Литоральная…, 2011 | - | - |
| **Макрозообентос** | α-мезосапробные (сильно загрязненные воды) по Пантле-Букк в мод. Сладечека; загрязненные и умеренно-загрязненные по Пантле-Букк в мод. Чертопруда (наши данные 2018 г.) | Гиперэвтрофность по Барбашовой М.А., Слепухиной Т.Д. (1996-1997), Ладожское…, 2002; эвтрофные условия по Курашову Е.А. (2006), Литоральная…, 2011 | Умеренно-загрязненные воды по интегральному индексу (IP) |

# Выводы

Были выполнены поставленные задачи, в результате которых:

1. Структура макрозообентоса залива Импилахти по данным 2018 года за последние 10 лет не изменилась, на станциях доминировали группы малощетинковых червей, личинок комаров-звонцов. На мелководной зоне в зоне зарослей наблюдали максимальные показатели обилия, преобладали те же группы

2. Оценка качества воды залива Импилахти, проведенная по структурным характеристикам макрозообентоса с использованием индексов Гуднайт-Уитлея, Е.В. Балушкиной, Бика, Пантле-Букк в двух модификациях (Сладечек, Чертопруд), интегрального индекса (IP), позволяет отнести воды этого залива к классу водоемов умеренно-загрязненных органическим веществом

3. Сопоставление наших и литературных данных свидетельствует об устойчивости структуры биоты и относительно благоприятном экологическом состоянии залива Импилахти.

# Заключение

В целом полученные мной результаты в 2018 г. по данным зообентоса вполне сопоставимы с литературными данными предыдущих исследований данного сообщества (а также сообществ макрофитов и мейобентоса) и свидетельствуют об антропогенной нагрузке на водную экосистему залива Импилахти. По данным литогеохимической съемки в 2017 г. в районе залива Импилахти экологическое состояние водных объектов характеризуется как благополучное, при этом И.И. Подлипский считает необходимым установление «должного контроля антропогенной нагрузки в местах загрязнения водоемов» (Подлипский, Ляховская, Шибаева, Горбунцов, 2017). Я согласна с его мнением и принимая во внимание все вышеперечисленные факты, считаю, что не стоит полностью опираться на данные, результаты которых дают «положительную» оценку. Стоит попытаться провести более комплексные исследования и понять причину различий в полученных оценках. Залив Импилахти является частью уникального комплекса, требующий защиты и постоянного мониторинга своего экологического состояния.

# Литература

1. Балушкина Е.В. Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах. Л.: Наука, 1987. 179 с. (Тр. Зоол. ин-та АН СССР; Т.142)
2. Барбашова М.А. Макробентос ладожского озера и его изменения под влиянием факторов среды: автореф. дис. … канд. биол. наук. Инст. озер. РАН, 2015
3. Барбашова М.А. Многолетние изменения макробентоса центральной части Ладожского озера // Вода: химия и экология. — 2014. — № 8. — c. 55-61.
4. Винберг Г.Г., Алимов А.Ф., Балушкина Е.В.,и др. Опыт применения разных систем биологической индикации загрязнения вод // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л., Гидрометеоиздат. 1977. С. 124-131.
5. География и мониторинг биоразнообразия. Ред. Касимов Н.С., Романова Э.П., Тишков А.А. М.: Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. 432 с.
6. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-17-1-3-07-82
7. Добрушин Ю.В. Эколого-экономическое обоснование для образования национального парка «Ладожские шхеры». М.: ОАО «Росгипролес», 2011. 197 с.
8. Кратц К.О. Геология СССР. Том XXXVII. Карельская АССР. Часть I. Геологическое описание. / под ред. П.Я. Антропов. Москва: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1960.
9. Курашов Е.А., Барбашова М.А., Дудакова Д.С., Капустина Л.Л., Митрукова Г.Г., Русанов А.Г., Алешина Д.Г., Иофина И.В., Протопопова Е.В., Родионова Н.В., Трифонова М.С. Экосистема Ладожского озера: современное состояние и тенденции ее изменения в конце XX – начале XXI в. // Биосфера. 2018. Т. 10, No2. С. 66–121.
10. Курашов Е.А., Дудакова Д.С. Мейобентос литоральной зоны Ладожского озера и его использование для диагностики состояния среды // Российский журнал прикладной экологии. – 2018. – № 4 (16). – С. 22-29.
11. Ладога. Ред. Румянцев В.А., Кондратьева С.А., СПб, 2013
12. Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее. Ред. Румянцев В.А., Драбковой В.Г. СПб.: Наука, 2002. 327 с., 105 ил.
13. Ладожское озеро и достопримечательности его побережья. Ред. Румянцев В.А. Атлас. СПб.: Нестор-История, 2015. 200 с.
14. Ладожское озеро. Мониторинг, исследование современного состояния и проблемы управления Ладожским озером и другими большими озерами. Ред. Филатов Н.Н. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. 490 с.
15. Литоральная зона Ладожского озера. Ред. Курашов Е.А. СПб.: Нестор-История. 2011. 416 с., ил.
16. Макрушин А.В. Библиографический указатель по теме «Биологический анализ качества вод» с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения. Ленинград, 1974
17. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Низшие беспозвоночные. Ред. Цалолихина С.Я. СПб. Т1, 1994. 395 с.
18. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Паукообразные, низшие насекомые. Ред. Цалолихина С.Я. СПб. Т3, 1997. 439 с.
19. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Высшие насекомые. Ред. Цалолихина С.Я. СПб.: Наука, 2001. Т5. 836 с.
20. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Высшие насекомые: двукрылые. Ред. Цалолихина С.Я. СПб. Т4, 1999. 998 с.
21. Подлипский И.И., Ляховская А.К., Шибаева А.С., Горбунцов Д.А. Эколого-геологическая оценка водосборной площади залива Импилахти с привлечением данных биоиндикации по макрозообентосу. Санкт-Петербургский государственный университет, 2017. С. 175-178
22. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Ред. Абакумов В.А., 1983
23. Чертопруд М.В. Биоиндикация в мониторинге пресноводных систем. / Отв. ред. В.А. Румянцев, И.С. Трифонова. СПб.: ЛЕМА, 2007. - 338 с.
24. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
25. Beak T.W. A biotic index of polluted sreams and its relationship to fisheries // Adv. Water Pollut. 1965. Т. 1. С. 191–210.
26. Goodnight C.J., Whitley L.S. Oligochaetes as indicators of pollution // Proc. 15-th Ind. Waste Conv., 1961. С. 139–142.
27. Woodiwiss F. The biological system of stream classification used by the Trent River Board // Chem. Ind. 1964. Т. 14. С. 443.
28. Министерство природных ресурсов Российской Федерации от 30 ноября 1992 года. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. URL: http://docs.cntd.ru/document/901797511
29. Постановление правительства Российской Федерации от 28.12.2017 N 1684 О создании национального парка «Ладожские шхеры» (Электронный ресурс). URL: http://pravo.gov.ru/laws/acts/2/49545652.html
30. Постановление Совмина СССР от 07.12.1984 N 1212 «О дополнительных мерах по обеспечению охраны и рационального использования водных и других природных ресурсов бассейна озер Ладожского, Онежского и Ильмень» (Электронный ресурс). URL: http://lawru.info/dok/1984/12/07/n1182886.htm

# Приложения

Приложение 1. Встречаемость донных беспозвоночных в заливе Импилахти в 2018 году (количественные пробы)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **виды/станции** | **2з** | **2п** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **встречаемость (f), %** |
| *Limnodrilus udekemianus(?)* |  |  |  | + | + |  |  | 29 |
| *Lumbriculus variegatus* | + |  |  |  |  |  |  | 14 |
| *Nais barbata* |  | + |  |  |  |  |  | 14 |
| *Stylodrilus heringianus* |  |  | + |  |  |  |  | 14 |
| *Stylaria Lacustris* | + |  |  |  |  |  |  | 14 |
| *Spirosperma sp.* |  |  |  | + |  |  |  | 14 |
| *Tubifix tubifix* |  |  |  | + |  |  |  | 14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Erpobdella octoculata* |  |  | + |  |  |  |  | 14 |
| *Helobdella stagnalis* |  |  | + |  |  |  |  | 14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Asellus aquaticus* | + |  | + |  |  |  |  | 14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Gmelinoides fasciatus* | + | + |  |  |  |  |  | 29 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Acricotopus sp.* |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Cricotopus sp.* |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Psectrocladius (p) sp.* |  |  |  |  |  |  | + | 14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Procladius, Holotanypus Roback* |  |  |  |  |  | + |  | 14 |
| *Procladius sp.* | + |  |  |  |  |  |  | 14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Cladotanytarsus sp.* |  |  |  |  |  | + |  | 14 |
| *C. mancus* |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Tanytarsis sp.* |  |  |  | + |  |  |  | 14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Chironomus sp.* | + |  |  |  |  |  |  | 14 |
| *Cryptochironomus sp.* |  |  |  |  |  | + |  | 14 |
| *Dycrotendipes sp.* |  |  |  |  |  | + |  | 14 |
| *Endochironomus albipennis* |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *E. impar* | + | + |  |  |  |  |  | 29 |
| *Glyptotendipes sp. (varipes?)* |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *G. glaucus* |  |  |  |  |  | + |  | 14 |
| *Microtendipes pedellus* | + | + |  | + |  |  |  | 43 |
| *Paratendipes gr. albimanus* |  |  |  |  |  |  | + | 14 |
| *Polypedilum nubeculosum* | + |  |  | + |  |  |  | 29 |
| *Sergentia gr. longiventris* |  | + |  |  |  |  |  | 14 |
| *Stictochironomus sp.* |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Agabus sp.* |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Caenis horaria* | + |  |  |  |  |  |  | 14 |
| *Baetis s.str.* |  |  |  | + |  |  |  | 14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Micronecta corixidae sp.* |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Notonecta lavra* |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Anthripsodes sp.* |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Anabolia laevis* |  |  |  |  |  |  | + | 14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Molanna angustata* |  | + |  |  |  |  |  | 14 |
| *Molannodes tinctus* |  |  | + |  |  |  |  | 14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Agrypnia sp. личинки 1,2 возраста* |  |  | + |  |  |  |  | 14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Holocentropus picicornis* |  |  |  |  |  | + | + | 29 |

*Примечание: синим цветом выделена станция на участке реки Неувосенлампи; зеленым – доминантные виды, желтым – субдоминантные*

Приложение 2. Встречаемость донных беспозвоночных в заливе Импилахти в 2018 году (качественные пробы)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **виды/станции** | **1** | **2з** | **2п** | **встречаемость (f), %** |
| *Limnodrilus udekemianus(?)* |  | + |  | 33 |
| *Lumbriculus variegatus* | + | + |  | 67 |
| *Nais barbata* |  |  |  |  |
| *Stylodrilus heringianus* | + |  |  | 33 |
| *Stylaria Lacustris* |  | + | + | 67 |
| *Spirosperma* |  |  |  |  |
| *Tubifix tubifix* |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| *Erpobdella octoculata* |  | + |  | 33 |
| *Helobdella stagnalis* |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| *Asellus aquaticus* |  | + |  | 33 |
|  |  |  |  |  |
| *Gmelinoides fasciatus* | + | + | + | 100 |
|  |  |  |  |  |
| *Acricotopus sp.* |  | + |  | 33 |
| *Cricotopus sp.* | + |  |  | 33 |
| *Psectrocladius (p) sp.* | + |  |  | 33 |
|  |  |  |  |  |
| *Procladius, Holotanypus Roback* |  | + | + | 67 |
| *Procladius sp.* |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| *Cladotanytarsus sp.* |  |  |  |  |
| *C. mancus* |  |  | + | 33 |
| *Tanytarsis sp.* | + |  |  | 33 |
|  |  |  |  |  |
| *Chironomus sp.* | + | + |  | 67 |
| *Cryptochironomus sp.* |  |  |  |  |
| *Dycrotendipes sp.* |  |  |  |  |
| *Endochironomus albipennis* | + |  |  | 33 |
| *E. impar* |  | + |  | 33 |
| *Glyptotendipes sp. (varipes?)* |  | + |  | 33 |
| *G. glaucus* | + |  |  | 33 |
| *Microtendipes pedellus* | + | + | + | 100 |
| *Paratendipes gr. albimanus* |  |  |  |  |
| *Polypedilum nubeculosum* | + | + | + | 100 |
| *Sergentia gr. longiventris* |  |  |  |  |
| *Stictochironomus sp.* | + | + |  | 67 |
|  |  |  |  |  |
| *Agabus sp.* |  | + |  | 33 |
|  |  |  |  |  |
| *Caenis horaria* |  | + |  | 33 |
| *Baetis s.str.* |  | + | + |  |
|  |  |  |  |  |
| *Micronecta corixidae sp.* |  | + |  | 33 |
| *Notonecta lavra* |  | + |  | 33 |
|  |  |  |  |  |
| *Anthripsodes sp.* | + |  |  | 33 |
|  |  |  |  |  |
| *Anabolia laevis* | + |  |  | 33 |
|  |  |  |  |  |
| *Molanna angustata* |  |  | + | 33 |
| *Molannodes tinctus* |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| *Agrypnia sp. личинки 1,2 возраста* |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| *Holocentropus picicornis* |  |  |  |  |

*Примечание: синим цветом выделена станция на участке реки Неувосенлампи; зеленым – доминантные виды, желтым - субдоминантные*

*Приложение 3. Численность (N) и биомасса (N) зообентоса. Зеленым цветом выделены станции с количественными пробами, оранжевым – с качественными.*

