



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра морских информационных систем

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА**

На тему: «Применение контактных и бесконтактных методов изучения Мирового океана»

Исполнитель: Коваленко Тарас Александрович

Руководитель: кандидат биологических наук, доцент

Зуев Юрий Алексеевич

«К защите допускаю»

и.о. заведующего кафедрой: _____

кандидат географических наук, доцент

Фокичева Анна Алексеевна

«12» 06 2017 г.

Санкт-Петербург
2017

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Факультет Информационных систем и геотехнологий

Кафедра «Морские информационные системы»

Допустить к защите

и.о. заведующая кафедрой МИС

А.А. Фокичева

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

**«ПРИМЕНЕНИЕ КОНТАКТНЫХ И БЕСКОНТАКТНЫХ МЕТОДОВ
ИЗУЧЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА»**

Направление подготовки – 17.03.01 «Корабельное вооружение»

Профиль - «Морские информационные системы и оборудование»

Исполнитель:

Коваленко Тарас Александрович

Подпись:

Руководитель:

доцент кафедры МИС

Зуев Юрий Алексеевич

Подпись:

Санкт-Петербург - 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР).....	5
1.1 Прибрежные зоны.....	5
1.2 Методы исследования донных сообществ побережий.....	7
1.2.1 Количественные методы.....	9
1.2.2 Качественные методы.....	15
1.2.3 Водолазные методы.....	17
1.2.4 Методы исследования донных сообществ, с применением подводной фото- и видеосъёмки.....	19
1.3 Статистическая обработка.....	23
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....	28
3. ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА ЛИТОРАЛИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА.....	35
3.1 Общее описание макрозообентоса литорали Ладожского озера.....	35
3.2 Количественные характеристики бентоса бухты залива Крестовый.....	38
4. МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ВИДОВ.....	41
4.1 Построение кривых видового накопления.....	41
4.2 Моделирование максимального числа видов.....	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Мировой океан — основная часть гидросферы, непрерывная, но не сплошная водная оболочка Земли, окружающая материки и острова, и отличающаяся общностью солевого состава. Мировой океан покрывает 3/4 земной поверхности. Мировой океан, являясь совокупностью всех морей и океанов Земли, оказывает огромное влияние на жизнедеятельность планеты. Огромная масса вод океана формирует климат планеты, служит источником атмосферных осадков. Из него поступает более половины кислорода, и он же регулирует содержание углекислоты в атмосфере, так как способен поглощать ее избыток. На дне Мирового океана происходит накопление и преобразование огромной массы минеральных и органических веществ, поэтому геологические и геохимические процессы, протекающие в океанах и морях, оказывают очень сильное влияние на всю земную кору. Именно Океан стал колыбелью жизни на Земле; сейчас в нём обитает около четырёх пятых всех живых существ планеты.

Исследование, вернее недостаток его - одна из проблем Мирового океана. Знание может помочь человечеству решить множество задач, связанных как с использованием, так и с охраной океанских вод. По разным данным, Мировой океан исследован на 2-5%, потому дальнейшее его исследование — крайне актуальная задача на сегодняшний день.

Существует множество методов исследования Мирового океана. Их можно разделить на 2 основные группы — контактные и бесконтактные. Контактные методы представляют из себя различные приспособления, которые непосредственно контактируют с объектом исследований. К бесконтактным же относятся отражение объектов исследований с помощью световых, звуковых и электромагнитных волн разной длины и различные статистические и вероятностные методы оценивания исследуемого объекта. Эти методы могут быть рассмотрены на примере мелководий.

Прибрежные мелководья – наиболее продуктивная область почти каждого водоёма. Причина этого в том, что мелководья очень богаты

ресурсами и обладают огромным разнообразием геологических, гидрологических и биологических условий. Поэтому для того чтобы рассматривать методы исследования Мирового океана наиболее прибрежные мелководья – это очень удобная и относительно доступная часть акватории водоема.

Методы исследования прибрежных мелководий различных районов мирового океана и внутренних водоемов практически не отличаются, поэтому в данной работе в качестве объекта выбраны донные сообщества литорали Ладожского озера. Этот район изучен явно недостаточно, но по нему существует большое количество свежих данных.

Актуальность ВКР. Необходимость исследования прибрежных мелководий Ладожского озера обусловлена тем, что в этом районе происходят важнейшие процессы обмена информацией и энергией между озером и окружающей суши. Эти процессы происходят на многих уровнях, включая физический, химический и биологический. Поэтому исследования донных сообществ прибрежных мелководий важны как в фундаментальном плане для понимания процессов взаимодействия воды и суши, так и на местном уровне в масштабах Ленинградской области. Поскольку развитие донных сообществ Ладожского озера позволяет оценить количественные характеристики кормовой базы рыб–бентофагов и экологическое состояние озера – источника питьевой воды г. Санкт-Петербурга. Также актуальна методическая задача по разработке комплекса исследований прибрежных мелководий различных водоемов с учетом сложного рельефа и грунта которым обычно обладает этот район.

Цель работы – изучить донные сообщества участка литорали Ладожского озера с использованием контактных и бесконтактных методов исследования. Удостовериться насколько эти группы методов верифицируют и дополняют друг-друга.

Объектом исследования являются донные сообщества прибрежных мелководий на примере литоральных сообществ Ладожского озера. Предмет

исследования – современные методы исследования прибрежных мелководий Мирового океана и возможность совершенствования качества исследования сочетанием методов из различных отраслей.

Исходя из цели, в дипломной работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Выбор и подготовка данных о донных сообществах к исследованию
2. Верификация методов анализа донных сообществ
3. Выбор комплекса методов анализа и описания донных сообществ
4. Проведение моделирования биологического разнообразия донных сообществ.
5. Сопоставления полученных результатов.
6. Анализ насколько контактные и бесконтактные методы дополняют друг друга.

Теоретической основой исследования послужили экологические, биологические и геологические концепции существования прибрежных мелководий [1,2] Методологической же основой послужили методы исследования прибрежных мелководий, разработанные для фаунистических [1] ландшафтных [2,3,4] исследований и современные методы биостатистики. В работе использовались научные труды отечественных и зарубежных учёных, методические материалы и статьи.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

1.1 Прибрежные зоны

Прибрежная зона - область водоёма, непосредственно прилегающая к берегу. Это, как правило, наиболее продуктивная зона водоемов [5]. Прибрежные мелководья занимают менее 9-10% от общей площади океанов. Но на них приходится более 90% всей биомассы растительных и животных сообществ [6]. По этой причине большая часть коммерческого промысла и аквакультуры располагается в прибрежной зоне. Кроме того в прибрежной зоне происходит возобновление большей части объектов промысла, например нерест и нагул большинства промысловых видов рыб [7].

Исключительное богатство и разнообразие прибрежной зоны связано с наличием здесь ресурсов. С берега сюда поступают минеральные вещества и биогенные элементы. Из-за небольшой глубины – происходит прогрев воды, насыщение воды кислородом, проникновение солнечного света. Благодаря этому развиваются макрофиты. Водная растительность является важным компонентом водных экосистем. Она, подобно траве суши, является кормом для многих водных организмов. Прибрежно-водные растения – это не только пищевой компонент для организмов, но и среда обитания. Ряд насекомых использует заросли погруженных растений для откладывания на них яиц, питания личинок, в качестве убежищ. В этих зарослях многие виды рыб мечут икру. Все эти условия делают прибрежные мелководья зоной наибольшего биоразнообразия в водоемах. Исключением являются, например прибрежные мелководья высоких широт Арктики и Антарктики, вследствие очень низкой температуры воды и низкой солёности.

На прибрежных мелководьях выделяется несколько зон. Для океанских побережий выделяются: супралитораль, литораль, сублитораль. Для пресных водоемов: затопляемое побережье, литораль, сублитораль. Для текучей воды: рипаль, медиаль.

Озеро (по Ф. Форелю, Швейцария) – это масса воды, находящаяся в котловине, замкнутая со всех сторон и не имеющая прямого соединения с морем. Озеро можно разделить на основные экологические зоны: литораль, сублитораль и профундаль (рис 1).

Озёрная литораль—это зона, где свет достигает дна озера. Но многие авторы литоралью считают прибрежную зону озера, характеризующуюся мелководностью и воздействием волнения воды. Существует еще и сублитораль—область, переходная от литорали к профундали. Температурный и кислородный режимы примерно такие же, как и в литорали, но в сублиторали происходит оседание взвешенных частиц, и содержание органического вещества в донных отложениях повышается. В сублитораль спускаются некоторые прибрежные организмы. Некоторые заходят сюда из профундали. Профундаль — остальная площадь дна озера. В основном озеро делят на две крупные зоны - литораль и пелагиаль [6].

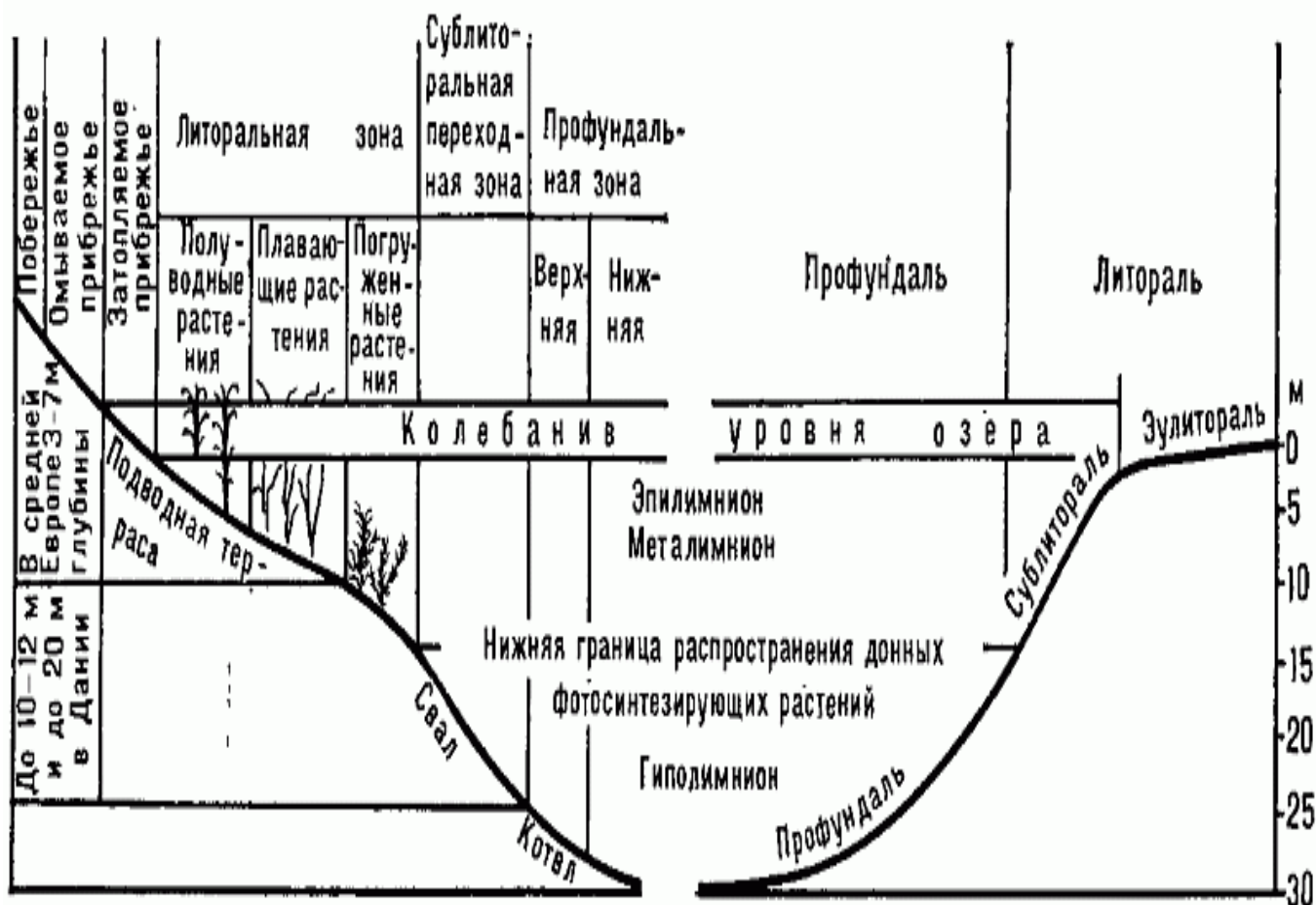


Рисунок 1 – Экологические зоны озера

1.2 Методы исследования донных сообществ побережий

Исследование донных сообществ необходимо при осуществлении практически любой деятельности в прибрежье. Это важно при картографировании, и промысле, выполнении гидротехнических работ и устройстве аквакультурных хозяйств, геологических, гидрологических, климатологических, гидробиологических исследованиях и тд. Целью исследования может быть как изучение структуры, видового состава и обилия бентосных сообществ, так и проведение оценки воздействия на окружающую среду.

К важнейшим параметрам, по которым проводится описание состояния донных сообществ [8]:

- разнообразие видов (общее число видов, число видов на станцию, индексы видового разнообразия);
- суммарная биомасса и биомасса отдельных групп организмов;
- численность и биомасса отдельных видов.

Организмы зообентоса занимают в водоеме два основных биотопа: грунт (поверхность и толщу) и растительность. Подвижные организмы могут отрываться от поверхности субстрата и плавать в воде, занимая таким образом третий биотоп - водную толщу в пределах придонного слоя воды или водного пространства в зарослях макрофитов.

Существует большое разнообразие как орудия лова, так и методов обработки собранных из разных биотопов бентосных организмов. Поэтому будут описаны только некоторые наиболее распространенные способы сбора и обработки донной фауны. Эти методы можно условно поделить на две большие категории: количественные и качественные.

Количественная съемка бентоса является основным методом изучения донных сообществ и их мониторинга в пределах исследуемой акватории. Чаще всего количественная съёмка проводится с помощью дночерпателей различных конструкций. В иных случаях применяются водолазные методы, такие как: трансекты различной длины и конфигурации, использование учётных рамок. К качественной съёмке относятся методы с использованием драг, тралов.

Отдельным направлением в значительной степени сочетающим достоинства и недостатки количественных и качественных методов стала подводная фото- и видео съёмка. Быстрое развитие техники в этой области позволяет предположить, что в этой сфере находится будущее большинства исследований прибрежных мелководий [7].

1.2.1 Количественные методы

Существует несколько основных конструкций дночерпателей, каждая из которых хорошо работает в определенных условиях или применяется для

получения конкретных данных. На мягких илистых грунтах применяется коробочный дночерпатель Экмана-Берджа (рис.2) на тросе или облегченная модель ковшевого дночерпателя Петерсена (рис.4). Для работ на не очень крупных внутренних водоемах удобна модифицированная в Институте внутренних вод АН СССР модель дночерпателя Экмана-Берджа, работающая хорошо на довольно плотных грунтах и при волнении (рис.3). На очень мягких илах, например в профундали озер, дночерпатель Экмана-Берджа опускают очень медленно, контролируя по натяжению троса достижение дна, с тем, чтобы прибор не зарывался в грунт [9].

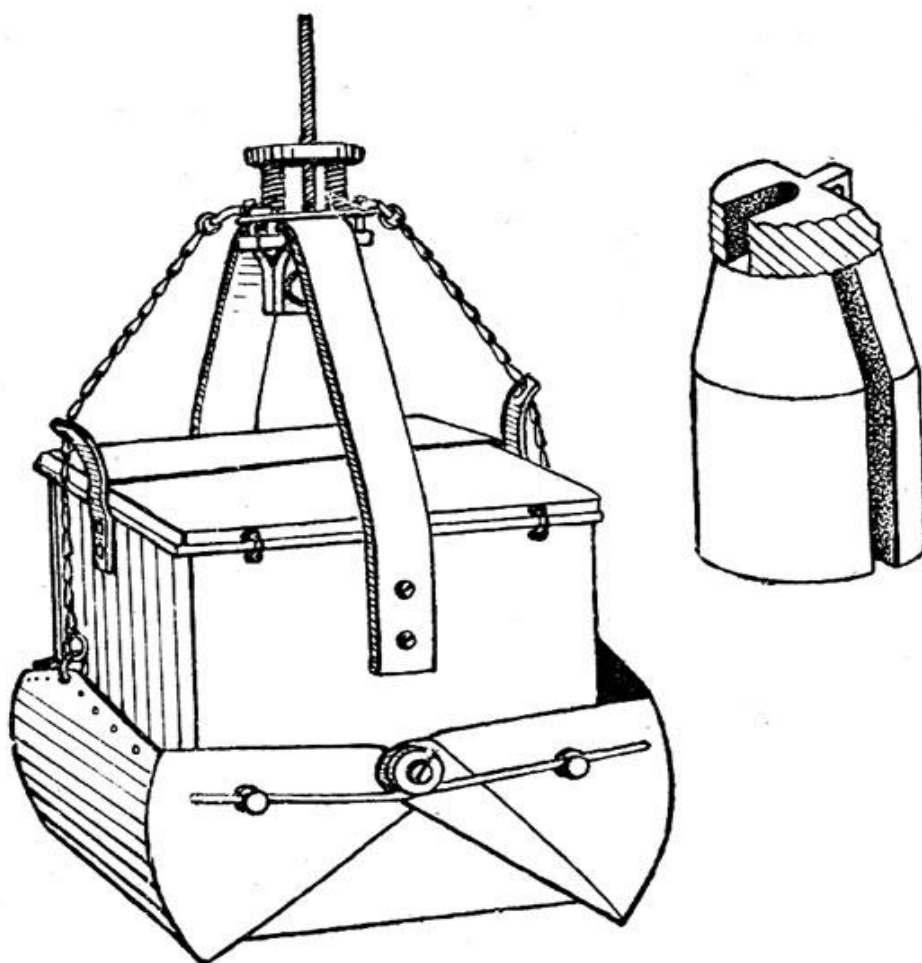


Рисунок 2 – Коробочный дночерпатель Экмана-Берджа

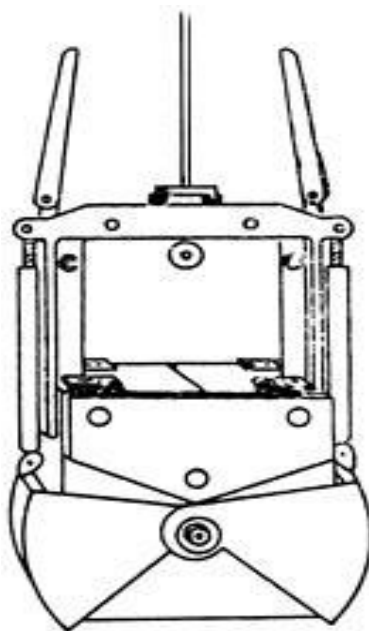


Рисунок 3 – Дночерпатель Экмана-Берджа (модифицированная модель)

В реках на песчаных грунтах отбор осуществляется дночерпателем Петерсена с малой площадью захвата. На плотных и особенно на задернованных грунтах следует применять утяжеленную модель дночерпателя Петерсена (рис.5). Эти типы дночерпателей, работающие без посыльного груза, удобны для работ даже во время сильного волнения.

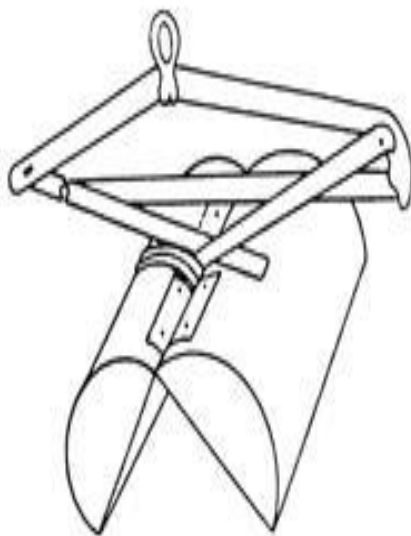


Рисунок 4 – Дночерпатель Петерсена



Рисунок 5 – Дночерпатель Петерсена (модифицированная модель)

Перечисленные виды дночерпателей применяют для отбора проб с лодки или катера.

Штанговый дночерпатель предназначается для сбора проб с мягких грунтов внутренних водоемов на станциях с глубиной не больше 4 метров (рис.6). Маленькая площадь захвата данной модели сильно ограничивает его использование в фаунистических исследованиях. Взятие пробы происходит путем поворота заборного ковша под действием силы, которую оказывает силовой пружинный привод.

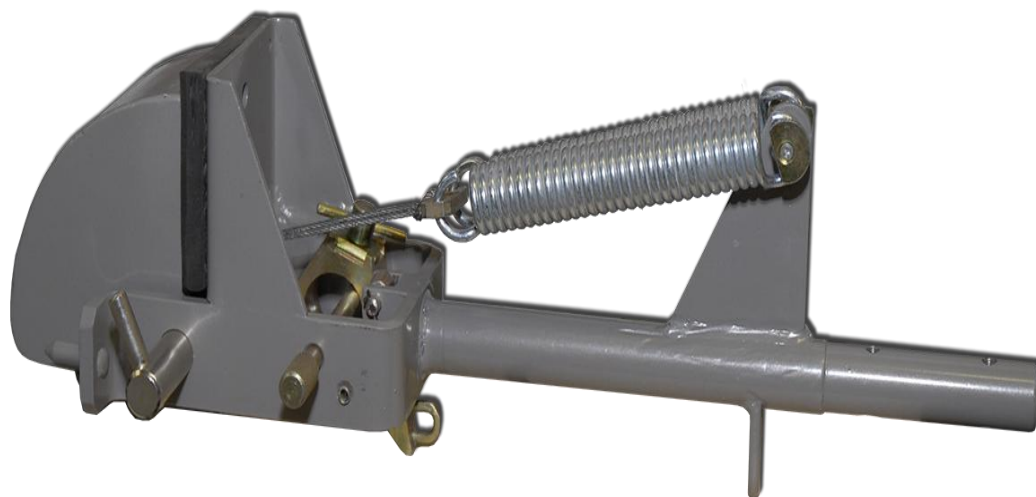


Рисунок 6 – Штанговый дночерпатель

Трубчатый дночерпатель Мордухай-Болтовского предназначен для сбора проб плотных донных отложений на глубине от 0 до 100 метров с сохранением структуры грунта, благодаря трубчатой конструкции (рис. 7). Трубчатый дночерпатель, благодаря автоматической герметизации пробоотборника на глубине пробоотбора, обеспечивает высокую сохранность пробы.



Рисунок 7 – Трубчатый дночерпатель

В результате использования всех дночерпателей мы получаем данные о видовом составе, численности и биомассе донных сообществ на определенную площадь (как правило, квадратный метр).

Еще одним методом количественного сбора являются бентосные скребки (рис. 8). Это метод может использоваться как с поверхности на небольших глубинах, так и при выполнении водолазных работ. Скребок - разновидность сачка, имеющего в нижней части обода заточенную металлическую пластину шириной 2-3 см, длиной 25 см. Рама обшивается грубой тканью, к которой пришивают мешок из мельничного газа. Скребок насаживают на палку длиной 1.5-2 м.

Скребком можно собирать небольшие камни, соскоблить с подводной части сооружений прикрепившихся животных. При взятии проб на каменистом грунте извлеченные из воды камни ополаскивают в скребке, смывая прикрепившиеся к ним организмы. Можно использовать скребок и в качестве водного сачка, облавливая погруженные растения в разреженных зарослях. Организмы мягкого грунта отлавливаются прямо с берега. При этом скребок при захвате грунта необходимо перемещать против течения. Если зайти в реку, то скребком не обязательно двигать, а можно закрепить его на месте, плотно прижав металлическую пластину ко дну, а перед ним ногами взмучивать грунт - тогда вместе с грунтом и находящиеся там животные течением будут перенесены внутрь скребка.

Отобранный грунт промывают непосредственно в скребке, прополаскивают до полного просветления промывных вод. Весь оставшийся в скребке материал переносится в кювету для выборки организмов на месте.

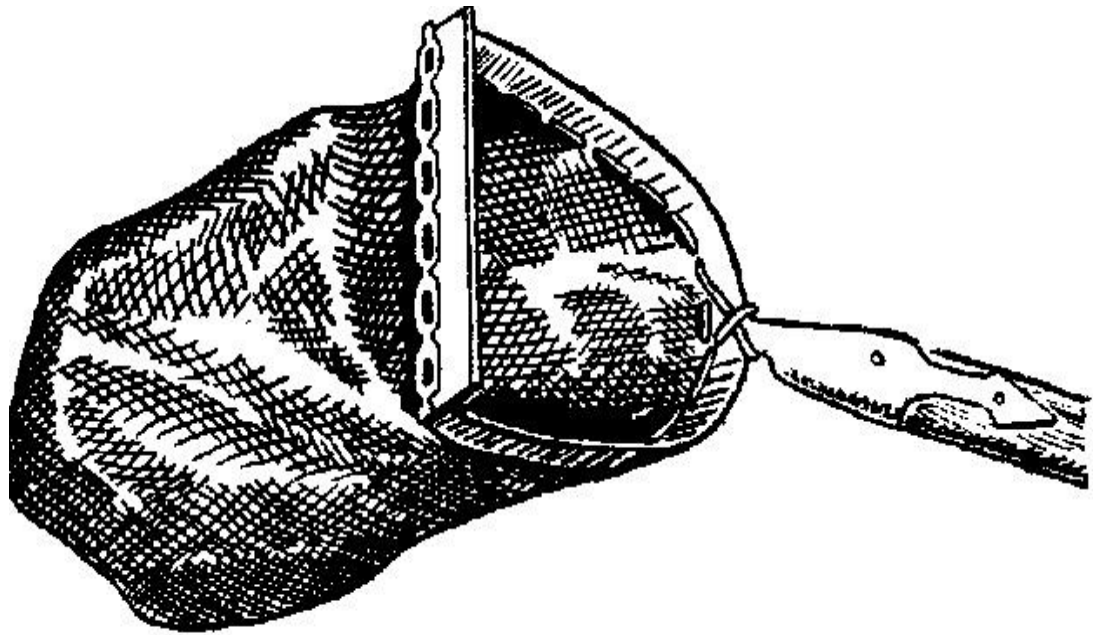


Рисунок 8 – Гидробиологический скребок

1.2.2 Качественные методы исследования донных сообществ

Качественные методы исследования донных сообществ предполагают добывание животных и растений с относительно большой площади дна с помощью драг и тралов.

Драга - сетной трал на металлическом каркасе служащий для добычи донных и зарывающихся объектов. Это орудие лова представляет собой сварную металлическую конструкцию, буксируемую по дну моря промысловым судном (рис. 9). Ширина захвата донной драги составляет от 2 до 5 м. На участке дна донная драга пропахивает верхний слой грунта, отделяя гидробионтов от грунтовых частиц.

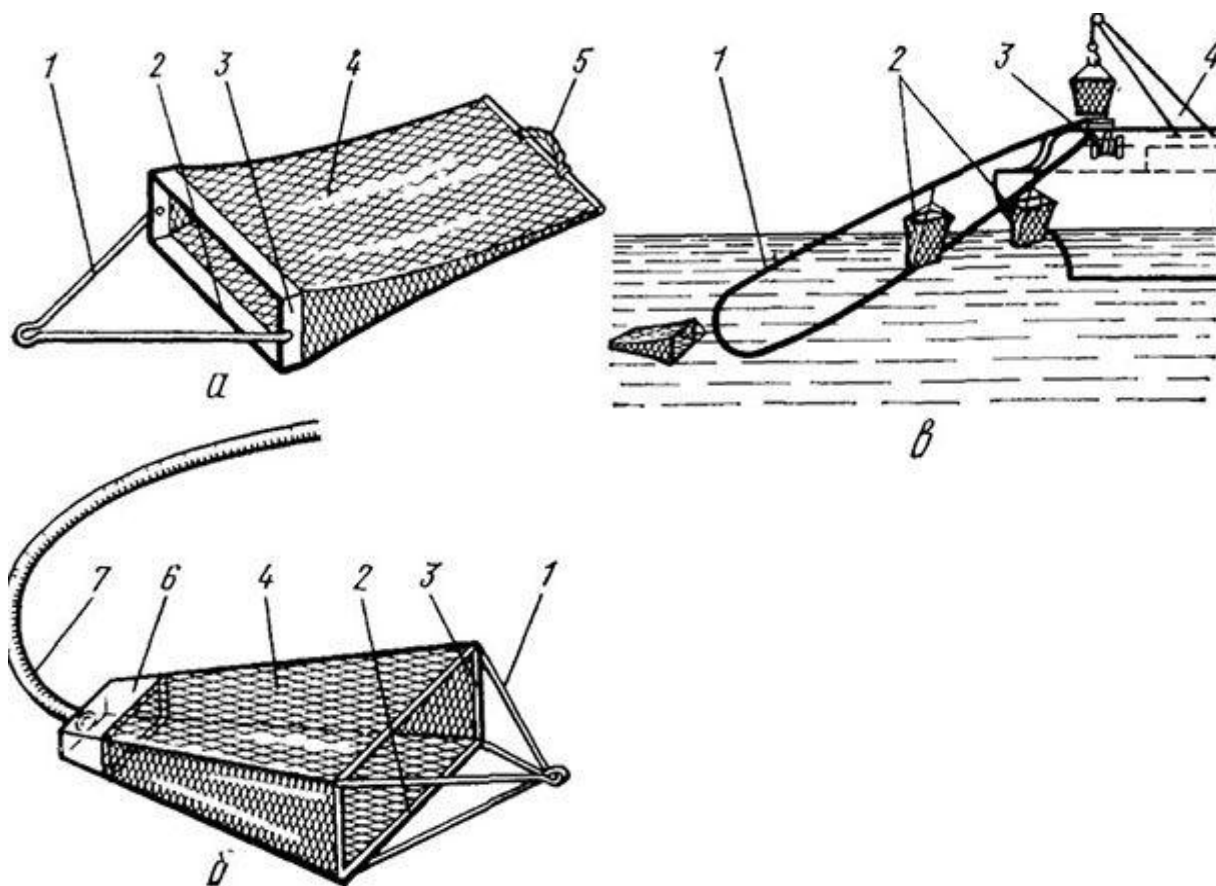


Рисунок 9 – Драга для ловли морских губок, моллюсков и иглокожих

Трал – буксируемое (тралирующее) сетное отцеживающее орудие лова (рис.10). Представляет собой большой сетный буксируемый рыболовным траулером мешок, сделанный из канатов и сетей (делей). Передняя часть трала (устье) при тралении раскрывается специальными распорными устройствами: по горизонтали — траловыми досками (подвешенными перед крыльями трала), а по вертикали — грузами (подвешенными к нижней подборе), поплавками (подвешенными к верхней подборе) и гидродинамическими щитками [10].

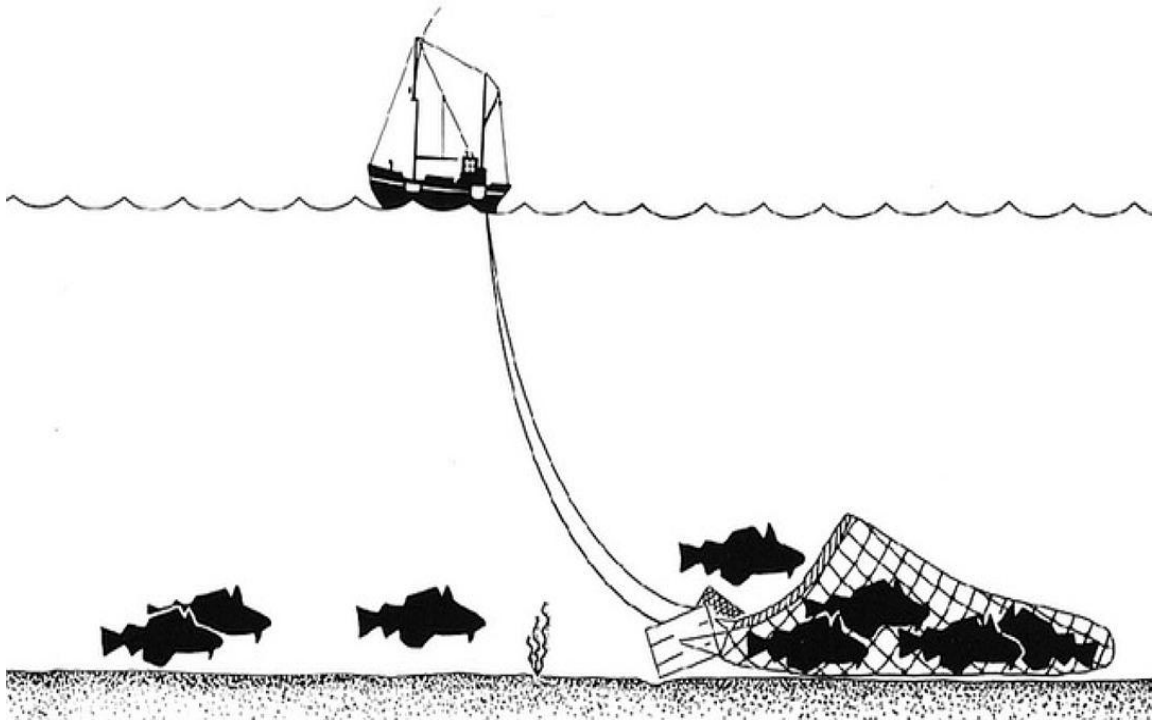


Рисунок 10 – Рыболовный трал

В результате работы драги и трала мы получаем качественные данные о составе донных сообществ. Зная расстояние, пройденное драгой, и ширину полосы сбора можно приблизительно предположить плотность поселения гидробионтов, но точность у такой оценки будет крайне низкая.

1.2.3 Водолазные методы

Все орудия сбора имеют свои недостатки. Так, дночерпатели не работают на твёрдых грунтах, тралы и драги не дают количественные данные о донных сообществах. Кроме того, всё это методы, в которых исследователь не может непосредственно контролировать процесс отбора проб. Поэтому полученные данные, которые часто невозможно привязать к определённым условиям. Другой недостаток большинства качественных и количественных методов исследования - это невозможность отследить полноту сбора материала. Последних двух недостатков, в некоторой мере, лишены исследования с помощью водолазных методов. Наиболее распространёнными являются:

- метод учетный рамок;

- метод трансект

Метод учётных рамок (рис.11). Одна из крайне многочисленных модификаций этого метода заключается в бросании учетных рамок, обычно квадратных площадью 1 м^2 , с борта плавательного средства. Водолаз собирает все объекты, которые попадают внутрь рамки, и подает на поверхность или подсчитывает число объектов в рамке и записывает на специальный планшет. Случайный выбор участков по данному методу не всегда дает объективную картину распределения и количественного состава донных сообществ, поскольку рассчитан на равномерное распределение организмов в скоплении, что, как правило, не наблюдается. Для того, чтобы избавиться от этого недостатка рамки часто перекалывают последовательно 10-100 раз, в этом случае все случайности сглаживаются.



Рисунок 11 – Учётная рамка

Метод трансект (рис.12). Одна из многочисленных разновидностей этого метода выглядит следующим образом [2]. Вдоль дна натягивается разделенный на метры яркими метками фал. Водолаз, проплывая с легкой метровой рейкой, подсчитывает видимые объекты в пределах метровой полосы и записывает результаты наблюдений на специальную пластмассовую пластинку или проводит сбор объектов в сетку. Метод трансект достаточно хорошо зарекомендовал себя, однако иногда целесообразнее применить экспрессные

методы количественного учета, которые снижают трудоемкость и позволяют за сравнительно короткое время обследовать большую площадь.



Рисунок 12 – Метод трансект

1.2.4 Методы исследования донных сообществ с применением подводной фото- и видеосъемки

С усовершенствованием техники с 1990-х годов методы учета донной фауны с применением современной фото- и видеоаппаратуры стали приобретать все большую популярность в мировой практике гидробиологических исследований.

Преимущества методов фото- и видеофиксации:

- ✓ возможность работы на твердых субстратах;
- ✓ сохранение целостности учитываемых сообществ;
- ✓ охват больших площадей учета;
- ✓ значительное сокращение трудоемких водолазных работ, что особенно важно при работе на больших глубинах или в районах со сложной топографией дна и повышенной гидродинамикой.

Недостатки методов фото- и видеофиксации:

- цена оборудования;

- невозможность отбора и углубленного изучения объектов, так как расшифровка изображений как правило проводится в лаборатории после съемки;
- также недостатками частных методов исследования являются: выполнение ландшафтной фотосъемки является самым дорогим способом исследований; съёмка с погружаемых платформ производится вслепую, поэтому невозможно предсказать появление в кадре интересного объекта и вернуться к нему для более детального осмотра.

Фото- и видеосъемка используются для решения следующих задач:

- быстрого получения визуальной информации о характере дна, оценке мезо- и микрорельефа, а также характере грунта изучаемого полигона;
- выявления характера распределения сообществ;
- проведения количественного учета крупных организмов, не улавливаемых количественными орудиями, такими как дночерпатель;
- исследования сообществ на твердых субстратах, на которых большинство гидробиологических орудий неприменимо или дает неудовлетворительные результаты.

Для подводной фото- и видеосъемки могут использоваться опускаемые рамы, погружаемые платформы, буксируемые камеры, дистанционно и автоматически управляемые аппараты. Более трудоемким и дорогостоящим видом съемки будет съемка с рук во время водолазных погружений.

Съемка во время водолазных погружений (рис.13) дает максимум степеней свободы с точки зрения художественной съемки: оператор по своему усмотрению может менять планы, переходя от макросъемки к панорамной и обратно. Данный метод наиболее пригоден для получения общей информации о видовом составе сообществ и характере распределения и биологических особенностях крупных форм бентоса на небольших участках дна



Рисунок 13 – подводная водолазная фото- видеосъёмка

Система из камеры вместе с внешним освещением может быть прикреплена на опускаемую под воду раму. Камера может неподвижно крепиться к раме или быть управляемой – это позволяет менять угол съемки. Такие системы используются для получения общей информации о характере дна и распределении сообществ.

Фото- или видеокамера может быть прикреплена также к дночерпателям или мультикорерам. Это делается в случаях, когда принципиален отбор образцов с небольшой площади.

Стационарные рамы или штативы с установленными на них камерами, позволяют проводить долгосрочные наблюдения за одним и тем же участком дна. Этот метод применяется для того, чтобы изучить динамику отдельных организмов или их групп, изменение конфигурации агрегации животных или растений в течение длительного времени.

Погружаемые платформы (буксируемые сани) с набортной фото- и/или видеоаппаратурой буксируются за судном по ходу его движения. Камера в этом случае имеет одинаковый угол наклона относительно дна и в поле кадра попадает одинаковая площадь. Поэтому данные системы могут быть легко откалиброваны для проведения количественного учета. Такие системы могут быть оснащены несколькими разнонаправленными камерами – одной для

съемки дна под прямым углом (получаемые при этом данные используются для количественной обработки) и одной или несколькими панорамными камерами (получаемые материалы служат для составления ландшафтных описаний). Буксируемая видеокамера позволяет исследовать более длинные трансекты, не ограниченные по времени съемки, а глубина лимитируется техническими характеристиками бокса.

Дистанционно управляемые подводные аппараты (ROV – remotely operated vehicle) позволяют проходить трансекты различной длины и конфигурации, менять режимы съемок от макро- до панорамных (рис.14). Ограничения по глубине и протяженности трансект определяются техническими характеристиками аппаратов. ROV позволяют проводить съемку и осуществлять отбор проб в случае наличия специальных манипуляторов. Такие аппараты могут быть оснащены цветными или черно-белыми фото- и/или видеокамерами, часто с возможностью смены угла съемки. На данный момент существует более 200 различных коммерчески доступных моделей дистанционно управляемых подводных аппаратов. Эти модели варьируются от относительно простых и дешевых с невысоким уровнем энергопотребления и рабочей глубиной до 500 м, до больших аппаратов с рабочей глубиной до 6 тыс. м, используемых в нефтяной индустрии [8].

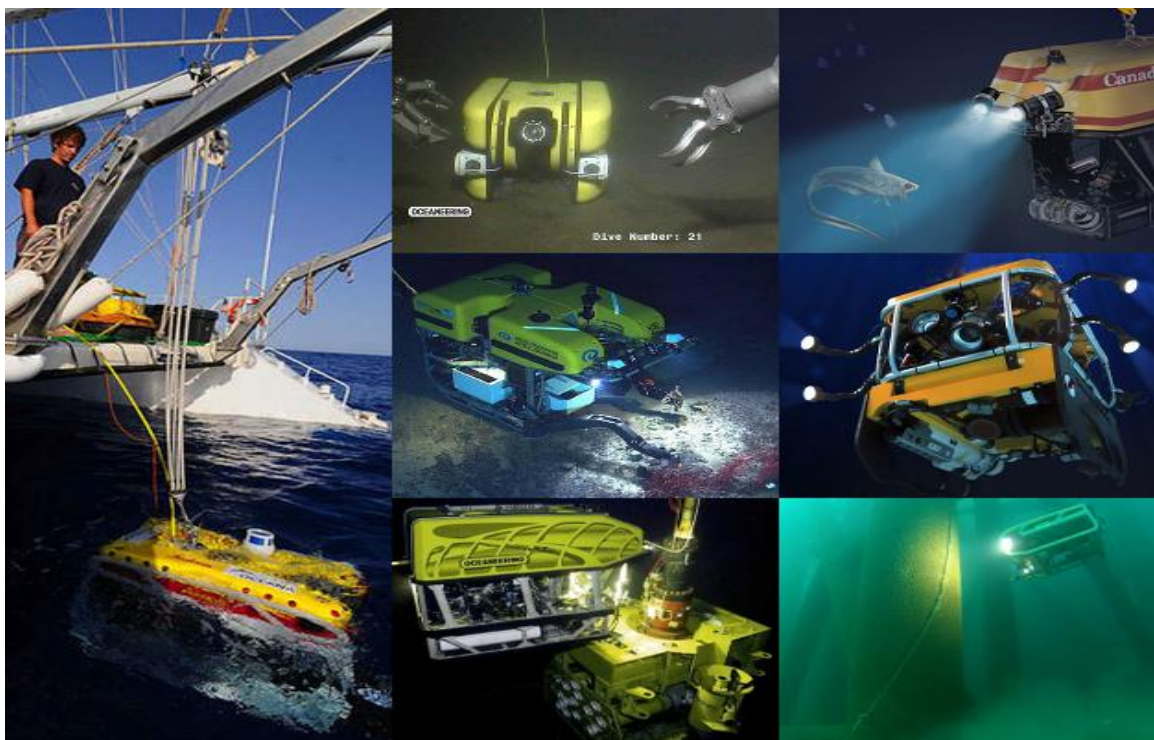


Рисунок 14 - Дистанционно управляемые подводные аппараты

Автоматически управляемые аппараты (AUV – autonomous underwater vehicle) могут осуществлять ландшафтную съемку, двигаясь по программируемой траектории. На данный момент существует относительно небольшое количество коммерчески доступных моделей AUV. Эти аппараты способны нести достаточно небольшое количество бортовой научной аппаратуры – обычно CTD-датчики и сейсмоакустическое оборудование. Преимущество применения AUV заключается в экономии времени, так как судно-носитель во время работы подводного аппарата может выполнять другие работы.

Обитаемые подводные модули обычно также оснащены системами фото- и видеозаписи и внешними манипуляторами для отбора проб воды и донных осадков.

1.3 Статистическая обработка

Для достоверной оценки количественных показателей сообщества или отдельных видов необходимо достаточно большое число проб. Дополнительная трудность заключается в том, что характер распределения

организмов по исследуемой акватории априори неизвестен. Поэтому при планировании исследований приходится исходить из косвенной информации и корректировать схему отбора проб по результатам пилотных исследований.

В большинстве случаев точная оценка полной видовой насыщенности изучаемых сообществ, ввиду биологической и пространственно-временной неоднородности природной среды неизбежно потребует дорогостоящих и масштабных исследований.

До недавнего времени оценка изученности видового состава в гидробиологических исследованиях практически не проводилась. Единственный метод - это сопоставление видового состава исследуемого участка с более ранними исследованиями. Таким образом, при исследовании ранее неизученных сообществ или использовании новых методов репрезентативность работы в отражении видового состава часто оставалась под вопросом.

Наблюдаемое видовое богатство (НВБ) по мере увеличения выборочного усилия первоначально быстро растет, но затем рост замедляется, в той или иной мере асимптотически приближаясь к полному видовому богатству (ПВБ). Однако даже при достаточно большом объеме полученных выборок в числе зарегистрированных видов, вероятно, не будут присутствовать многие редкие виды, которые бы встретились при дальнейших обследованиях.

Альтернативой является статистическая оценка регионального богатства видов с использованием ограниченного числа единиц повторности наблюдений. Поскольку каждая точка на кривой насыщения располагается ниже линии полного богатства, можно, используя экстраполяционную процедуру, оценить число проб (или выборок иного характера), требуемое для того, чтобы получить ожидаемое число видов, составляющее, например, 90%, 95% или 99% от объема ПВБ, в зависимости от желаемой выборочной достаточности.

Поскольку простые модели кривых накопления (степенная или экспоненциальная зависимости, модель Михаэлиса–Ментен и др.) часто приводят к смещению оценок в сторону уменьшения, основой современной

методологии является использование семейства методов генерации псевдовыборок [11,12].

Наиболее многообещающими методами экстраполяции числа видов являются непараметрические алгоритмы, основанные на генерации псевдовыборок (или ресамплинге – resampling) и позволяющие оценить доверительные интервалы сделанного прогноза. Наиболее применяющимися из них являются бутстреп (bootstrap) и процедуры «складного ножа» (jackknife) [13].

Алгоритмы bootstrap и jackknife, осуществляющие генерацию большого числа псевдовыборок, игнорируют взаимоотношения между видами в пределах площадки и не делают никаких предположений о закономерностях распределения плотности вероятности их обнаружения. Непараметрические формулы оценки числа видов в изучаемом сообществе используют информацию о количестве малочисленных (т. е. представленных одиночными или несколькими особями) или уникальных (т. е. встретившихся только в одной пробе – unique) видов: чем больше их число в обрабатываемой совокупности данных, тем больше вероятность обнаружения новых видов, еще не представленных в выполненных исследованиях [14,15,16].

Основная идея экстраполяции числа видов методом «складного ножа» (jackknife) заключается в расчете потерь числа видов при удалении одной из произвольных проб [17,18].

Если отбросить, например, две произвольные пробы i и j , то оставшееся число видов – количество видов, встретившихся только в паре проб i и j . Путем перебора значений i и j можно найти значения суммарных потерь $Q1^*$ и $Q2^*$, а также статистическую оценку «складного ножа» второго уровня (Jackknife-2).

Основываясь на работе Б. Харриса [Harris, 1959], А. Чао [19] использовала в процедурах имитации по алгоритму Chao2 несколько видоизмененные формулы с теми же обозначениями.

Э. Смит и Г. ван Белле [20] разработали алгоритм экстраполяции оценок видового богатства бутстреп-методом (bootstrap), основанный на подсчете относительной доли проб g_j , содержащих каждый j -й вид.

По данным алгоритмам достаточно легко рассчитать для произвольного числа проб m превышение полного видового богатства над наблюдаемым и количественно оценить выборочную достаточность проведенного исследования. В описанной имитации генерируется классическая «оценка, основанная на выборках» (sample-based), поскольку манипулируемыми единицами являются целостные площадки, а не отдельные случайные особи [21,22].

Так же один из методов оценки числа видов - это построение кривой накопления видов, отражающей скорость приращения количества видов относительно изученной площади, или с использованием функций, описывающих соотношение «число видов – площадь – ошибка метода» [23].

За допустимый уровень принимается выявление 70–80 % видового состава данной акватории или точка перехода кумулятивной кривой числа видов, выше которой начинается равномерное увеличение числа видов от количества проб (приращение числа редких видов в этом случае происходит за счет видов с единичной встречаемостью). Чаще всего уровень точности в 80% достигается при отборе от 5 до 10 проб с площади 0,1 – 0,25 м² [24].

Подводя итоги обзора современных методов изучения донных сообществ можно сделать вывод, что они должны базироваться на совмещении традиционных методов отбора донных проб для качественных и количественных исследований и арсенала дистанционных методов, позволяющих существенно ускорить и облегчить процесс картографирования протяженных площадей. Совмещение прямых и дистанционных методов позволяет снизить трудозатраты и одновременно увеличить точность описания донных сообществ, их пространственного размещения и неоднородности. Оптимальным является совмещение нескольких групп методов –

традиционного пробоотбора, видеосъемки по трансектам и фотографирования отдельных объектов и участков. Так же важной частью исследований является статистическая оценка регионального богатства видов, в случае ограниченного числа единиц повторности наблюдений.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом послужили бентосные пробы, собранные в июле 2013–2015 гг. Исследования проводились на Ладожском озере в районе Валаамского архипелага в бухте залива Крестовый (рис.15,16). Выбор залива обусловлен тем, что он характерен для северной части Ладожского озера с ее сложным рельефом и большой площадью твердых грунтов [25].

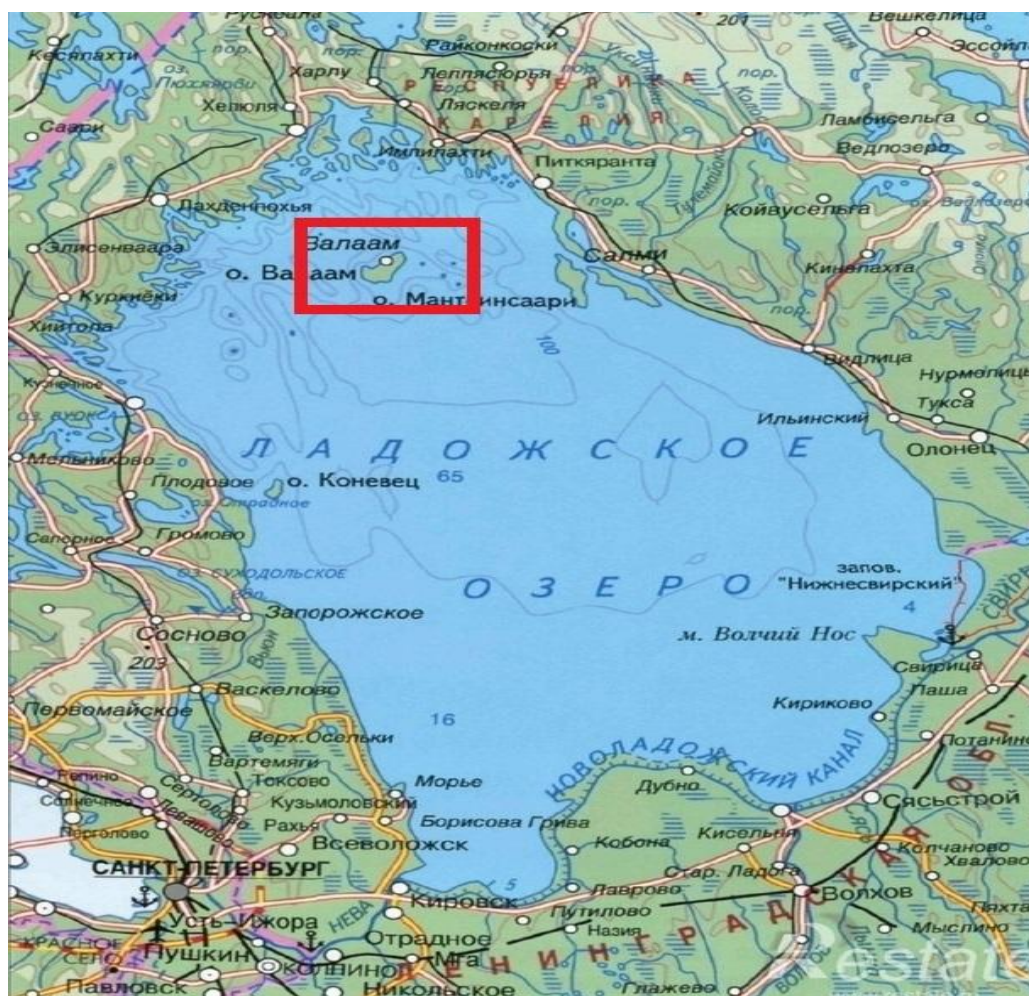


Рисунок 15 – Валаамский архипелаг



Рисунок 16 – Бухта залива Крестовый

Для исследования донных сообществ был разработан комплекс методов с учетом сложных условий прибрежных мелководий северной части Ладожского озера [26]. Общее описание донных сообществ литорали выполнялось при помощи модифицированного водолазного метода трансект [27]. На его основе была получена карта-схема грунтов и рельефов залива. На базе этой схемы проводился выбор районов для отбора проб бентоса. Были определены 18 станций, с которых проводился забор проб. Для отбора проб донных отложений и зообентоса на мягких грунтах использовались бентосные дночерпатели, с площадью захвата $0,0625 \text{ м}^2$. Перпендикулярно берегу и изобатам, для того чтобы отбирать пробы с определенного типа грунта и рельефа дна, грунт с населяющими его организмами собирался с рамки оригинальной конструкции водолазами вручную. Сбор мелких организмов с твердых площадок скального и каменистого грунта – крайне длительная и неточная процедура. Для описания подвижного макрозообентоса твердых грунтов был разработан пробоотборник-шприц [26].

Для лучшего учёта зообентоса, который хорошо плавает и/или прячется в трещинах между камнями, был сконструирован пробоотборник (рис.17). Устройство состоит из трубы диаметром 10 см. Внутри неё на длинном рычаге закреплён поршень. Длина хода поршня составляет 51 см. Площадь входного отверстия – 79 см². Для отбора пробы на отверстие пробоотборника надевался мешок из газа № 23. Механизм работы следующий: при вытягивании поршня, через мешок проходит вода, а на ткани остаются бентосные организмы и частички грунта. Объем профильтрованной таким образом воды составляет 4 л. На поверхности скалы или на мягком грунте, где частицы полностью засасываются в пробоотборник (ил, песок, мелкая галька), учётная площадь пробоотборника равна площади его входного отверстия. Для субстрата, состоящего из отдельных фрагментов породы крупного размера, учётная площадка была также принята равной площади поперечного сечения пробоотборника [27].



Рисунок 17 – Бентосный проотборник-шприц

Донные сообщества бухты залива Крестовый представлены основными группами беспозвоночных, характерных для Ладожского озера: двустворчатые (4 видов) и брюхоногие моллюски (5 видов), малощетинковые черви (4 видов), ракообразные (7 видов) и низшие насекомые (1 вид). Наибольшим количеством таксонов представлены личинки насекомых с водным циклом развития: поденки (2 вида), веснянки (6 вида), стрекозы (1 вид), мокрецы (2 вида), комары-хинономиды (12 видов) и ручейники (4 видов). Всего отмечено 49 таксонов. Согласно работе института Озероведения РАН, на литорали Ладожского озера было отмечено 205 [28] таксонов животных, из них в северной части озера – 119 [29]. Эти исследования включали в себя так же наиболее богатый биотоп Ладожского озера – прибрежные растительные сообщества, поэтому можно сделать вывод о высокой степени отражения в данной работе реального видового состава.

Методы оценки отражения видового богатства донных сообществ

Для оценки работы пробоотборника, было смоделировано максимальное число видов для каждого грунта в пакете палеонтологической статистики PAST. Использовался метод Quadrat richness, который включает в себя такие непараметрические статистические оценки, как: Chao2, Jackknife 1, Jackknife 2, bootstrap. Оценки проводились по имеющимся данным, а так же на основании 1000 сгенерированных выборок с помощью метода Bootstrap.

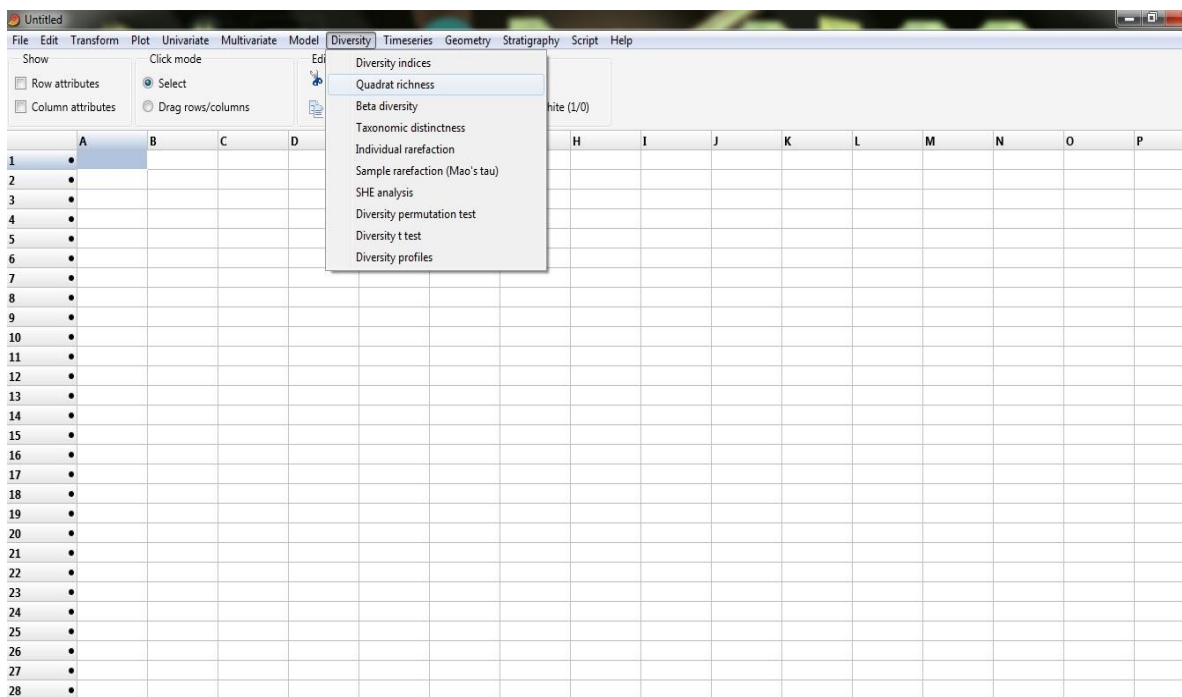


Рисунок 18 – Интерфейс PAST

Оценка Chao2 - непараметрическая оценка, позволяющая проводить оценку ожидаемого числа видов на основе сравнительно небольшого числа проб [21,23]. Была разработана А. Чао и в литературе называются «Чао 2» [15]. Оценка «Чао 2» обеспечивает минимальные оценки видового богатства и предназначена для применения к одному сообществу, а не к градиенту сообществ. В данных, проверенных Xu et al. (2012) оценка Чао 2 имеет - 79% от истинного значения числа видов.

Оценка Чао 2 выполняется по формуле:

$$\hat{S}_{Chao2} = S_{obs} + \left(\frac{m-1}{m} \right) \frac{Q_1(Q_1 - 1)}{2(Q_2 + 1)}, \quad (1.1)$$

где: S_{obs} - общее количество наблюдаемых видов, m - количество образцов, Q_1 - количество уникальных (виды, встречающиеся одном образце) и Q_2 - количество дубликатов (видов, которые встречаются ровно в двух образцах).

Оценка Bootstrap - начиная с середины прошлого века инициированные развитием вычислительных технологий вышли в свет работы [29], посвященные так называемому ресэмплингу — генерации дополнительных выборок из уже имеющихся. Одним из таких подходов, распространенных в век

компьютерных технологий, является bootstrap-метод, или метод имитации статистического выбора.

Суть метода заключается в формировании множества выборок, на основе случайного выбора с повторениями. Если о законе распределения выборки нет никаких априорных сведений, а получить оценки его характеристики все-таки необходимо, то bootstrap-метод может быть весьма полезным инструментом.

Расчет выполняется по формуле:

$$\hat{S}_{boot} = S_{obs} + \sum_{k=1}^{S_{obs}} (1 - p_k)^m, \quad (1.2)$$

Где: p_k - доля образцов, содержащих виды k .

Оценка Jackknife - данный алгоритм оценки дает удовлетворительные результаты при учете сравнительно небольшого числа проб и ранее успешно применялся для анализа данных по морскому бентосу [30]. Этот алгоритм может помочь улучшить оценку в случае, когда данные распределены неравномерно. В пакете PAST реализованы оценки Jackknife двух порядков:

$$\hat{S}_{jack1} = S_{obs} + \left(\frac{m-1}{m} \right) Q_1. \quad (1.3)$$

$$\hat{S}_{jack2} = S_{obs} + \frac{Q_1(2m-3)}{m} - \frac{Q_2(m-2)^2}{m(m-1)}. \quad (1.4)$$

Так же были построены кривые накопления числа видов с помощью метода Mao's Tau в PAST.

Кривая видового накопления - графическое представление числа видов, найденных на определенной территории (или в определенном биотопе и т. п.), как функции от кумулятивной совокупности исследовательских усилий, направленных на их нахождения. Исследовательское усилие может измеряться в количестве человеко-часов наблюдения, расставленных ловушек, километров буксировки трала судном, и т.д. Эта кривая представляет собой график числа видов в зависимости от количества образцов.

3. ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА ЛИТОРАЛИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

3.1 Общее описание макрозообентоса литорали Ладожского озера

Бентос — совокупность организмов, обитающих на грунте и в грунте водоёмов. По среде и способу обитания бентос отличается от планктона — пассивно переносимых течениями организмов — и nekтона — активных пловцов. Бентос является важной экологической группой, так как встречается во всех морских и материковых водоёмах земного шара и имеет важное хозяйственное значение, а так же является кормовой базой для рыб-бентофагов и водоплавающих птиц. Бентосные животные изменяют физические и химические свойства донных осадков. Кроме того, большинство ископаемых состоит из остатков бентосных организмов.

Бентос пресноводных водоёмов состоит из личинок насекомых (хирономид и других двукрылых, ручейников, стрекоз, поденок), олигохет, моллюсков, ракообразных и др. (рис. 2.1). В составе бентофауны преобладают личинки насекомых (52% всех видов бентофауны), на втором месте стоят черви (17%), на третьем — гидракарины, или водяные клещи (14%), на четвертом — моллюски (9,3%), пятое место принадлежит ракообразным (4,5 %); прочие группы животных — 4,3%.

Среди личинок насекомых господствует группа хирономид, т. е. личинок комаров-звонцов. Личинка имеет вид червячка длиной от 1 мм до 2 см, плавает, змеевидно извиваясь, ползает при помощи ложных ножек. Питается растительными и животными остатками в иле. Созрев, личинка окукливается. Когда настает время вылупляться, куколка всплывает, покровы ее лопаются, и вылетает насекомое.

Своеобразны личинки ручейников. Сами ручейники летают мало, обычно сидят среди прибрежных растений, питаются соком цветков. Но личинки их ведут водный образ жизни, построив надежные убежища — разнообразные по форме чехлики, сделанные из скрепленных паутиными нитями (выделение железок) кусочков листьев, мха, травинок и даже мелких раковин и песчинок.

Личинка при передвижении волочит за собой свой домик. Питается растительными веществами, но некоторые виды — хищники.

Другие личинки, характерные для зообентоса Ладоги, принадлежат стрекозам, веснянкам и поденкам.

Стрекозы откладывают яйца в воду или в ткани водных растений. Из этих яиц и вылупляются личинки очень оригинального облика, обладающие для ловли живой добычи (личинок поденок, водяных осликов, мелких водяных клопов и т. д.) так называемой маской, т. е. видоизмененной нижней губой, сидящей на длинном рычаге — рукоятке; у рычага имеется шарнирный сустав, благодаря чему весь аппарат на время бездействия складывается и прикрывает, как маска, нижнюю сторону головы; в действии маска стремительно выбрасывается к добыче, схватывает ее, а затем подтягивает ко рту.

Поденки, или эфемериды,— небольшие насекомые с удлинённым телом, нежными крыльями и 2—3 хвостовыми нитями. Каждый, вероятно, наблюдал их танец над водой. Названы поденками потому, что живут всего 2—3 дня; оттого они ничем и не питаются, и у них нет развитого рта. Отложив яйца, самки очень быстро погибают. Личинки поденок (у одних видов — травоядные, у других — хищники) разнообразны; одни роются в иле, другие прочно прикреплены к поверхности камней, третьи плавают, иные ползают по дну или растениям.

Из червей в состав зообентоса Ладожского озера входят: ресничные черви (турбеллярии), тело которых покрыто тончайшими ресничками, помогающими им плавать или ползать; питаются мелкими водными животными; 2. нематоды (круглые черви); пиявки; плавают, волнообразно изгибая тело, или шагают, присасываясь попеременно то передними, то задними присосками (как гусеница пяденицы); питаются моллюсками, червями, личинками насекомых; 4. олигохеты, или малощетинковые черви.

У водяных клещей, мешковидное нечленистое округлое тело и четыре пары шестичленистых ножек. Могут и плавать, и ползать. Почти все они

хищники (их главные жертвы—циклопы и дафнии). Отличаются яркой, иногда красной, окраской тела.

Моллюсков в Ладожском озере немного, как в видовом, так и в количественном отношении. Вследствие того что вода Ладоги бедна кальцием, раковины их тонкие и хрупкие. Преобладают среди моллюсков всем хорошо знакомые прудовики, физы, горошины и др.

Из ракообразных на дне в Ладожском озере живут представители ракушковых рачков, кладоцер, копепод (веслоногих), изопод (равноногих), схизопод (расщепленноногих) и амфипод (бокоплавов). Есть несколько реликтовых видов морских рачков; все они не только отлично приспособились к современным условиям жизни в пресноводной Ладоге, но и составляют очень характерную часть ладожского бентоса, весьма важную в кормовом отношении. Один из них — мизида — считается даже перспективным в отношении акклиматизации в других малокормных водоемах, так как обладает высокой экологической пластичностью; он может существенно обогатить кормовую базу многих промысловых рыб [31]. В Ладожском озере мизида широко распространена во всей толще воды, кроме верхнего 5-метрового слоя, и по всему дну, кроме мелководий, если их глубина не более 5 м, вплоть до самых больших глубин.

При общем анализе донного населения Ладожского озера обращают на себя внимание три обстоятельства: довольно большое число реофильных видов, т. е. таких, которые обычно живут не в озерах, а в ручьях и реках; основная часть зообентоса состоит из пресноводных видов, широко представленных и в других озерах северного полушария; на дне Ладожского озера обитают несколько реликтов ледникового времени (например, *Pallasea quadrispina* и др.) и несколько реликтовых ракообразных морского происхождения (*Pontoporeia affinis*, *Gammaracanthus loricatus*, *Mysis oculata* и др.), но, как уже отмечалось, все они вполне приспособились к современным условиям жизни.

В зарослях наибольшего развития достигают олигохеты, хирономиды и моллюски. Они служат кормом для рыб, водоплавающих птиц, норки, выдры,

выхухоли, обитающих по берегам водоемов. Олигохеты (черви) встречаются на илистом грунте стоячих водоемов и в загрязненных водах, особенно если в водоем поступают стоки животноводческих ферм. Одна из преобладающих групп бентоса – хирономиды – личинки комаров. Они больше известны под названием мотыль. Большую часть жизни эти амфибиотические насекомые проводят в стадии личинки, являясь немаловажным компонентом бентоса. Они являются хорошей кормовой базой для бентосолюбивых рыб [30].



Рисунок 19 – Представители пресноводного бентоса

Моллюски являются существенным компонентом биоценоза. Большинство видов обитает в зарослях водных растений. Питаются они в основном растительной пищей; обгрызают зеленые и отмирающие ткани растений, соскабливают перифитон или заглатывают иловые частицы.

3.2 Количественные характеристики бентоса бухты залива Крестовый

На песчаном грунте бухты преобладали амфиподы и олигохеты. На каменистом грунте, пробы, взятые с помощью рамок и пробоотборника, часто

дополняли друг друга, так как в рамке доминировали кишечнорастворимые и личинки насекомых, а в пробоотборнике – ракообразные и личинки насекомых.

Максимальная плотность поселения макрозообентоса наблюдалась на средних валунах на станциях с глубиной около 3.5 м среднего размера, минимальная – на мелких камнях в диапазоне от 4 до 6 м. Общий диапазон варьирования был от 130 до 20200 экз/м². Максимальная биомасса бентоса наблюдалась на валунах (глубина 2.5 м), а минимальная – на мелком валуннике расположенном на глубине от 5 до 6 м. Диапазон изменений составил от 0,40 до 31,34 г/м². По плотности поселения доминирующей группой были ракообразные. Их доля в поселениях макрозообентоса составляет около 80 %, за счет скоплений бокоплавов. Личинки хинараномид вкладывают не более 15 % биомассы. Минимум биомассы привносится группой кольчатых червей (олигохет) – менее 1 % [26].



Рисунок 20 – Личинки комаров-хирономид

Максимальные значения биомассы бентоса отмечались на переломе свала, на границе твердого (валунов) и мягкого (песка) грунтов. Песчаный грунт, несмотря на высокую численность ювенильных ракообразных, характеризовался низкими значениями биомассы бентоса, в среднем не превышающими 2,0 г/м².

На основании тестовых сборов можно отметить высокие значения кормовой базы каменистой сублиторали для рыб-бентофагов северной части Ладожского озера. Дополнительная ценность кормовой базы обуславливается высоким видовым богатством и широким распространением в донных сообществах таксонов, принадлежащих к различным систематическим группам: ракообразным, личинкам комаров-хируномид, личинкам других насекомых, имеющих водный цикл развития, олигохетам и др. Такая база может удовлетворять потребности в корме рыб-бентофагов в широком диапазоне размеров и пищевых предпочтений. Предварительная оценка позволяет охарактеризовать каменистую литораль исследованной бухты с точки зрения кормовых запасов для рыб-бентофагов как средnekормную.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ВИДОВ

4.1 Построение кривых видового накопления

Биометрия представляет собой совокупность математических методов, применяемых в биологии и заимствованных главным образом из области математической статистики и теории вероятностей. Наиболее тесно биометрия связана с математической статистикой, выводами которой она преимущественно пользуется. Конечно, не всякое исследование опирается на биометрию.

В биологии с успехом применяют и чисто описательные методы, не требующие количественных оценок получаемых результатов. Но там, где исследования проводят с использованием счета или меры, применение биометрии становится совершенно необходимым. В таких случаях пренебрежение методами биометрии или неправильное их применение приводит к неоправданным затратам труда и времени, а главное – к мало убедительным, а нередко и ошибочным выводам.

Для того чтобы оценить репрезентативность нового метода пробоотбора; с помощью современных методов биостатистики, основанных на математической статистике и теории вероятностей были произведены расчёты максимального числа видов. Эти расчёты проводились в пакете палеонтологической статистики PAST с помощью двух методов: Quadrat richness и Mao's tau.

Моделирование максимального числа видов и построение кривых накопления проводились для 3 типов субстрата и для бухты в целом. Основными субстратами были определены: песок, валуны и скалы.

Кривые видового накопления (Mao's tau)

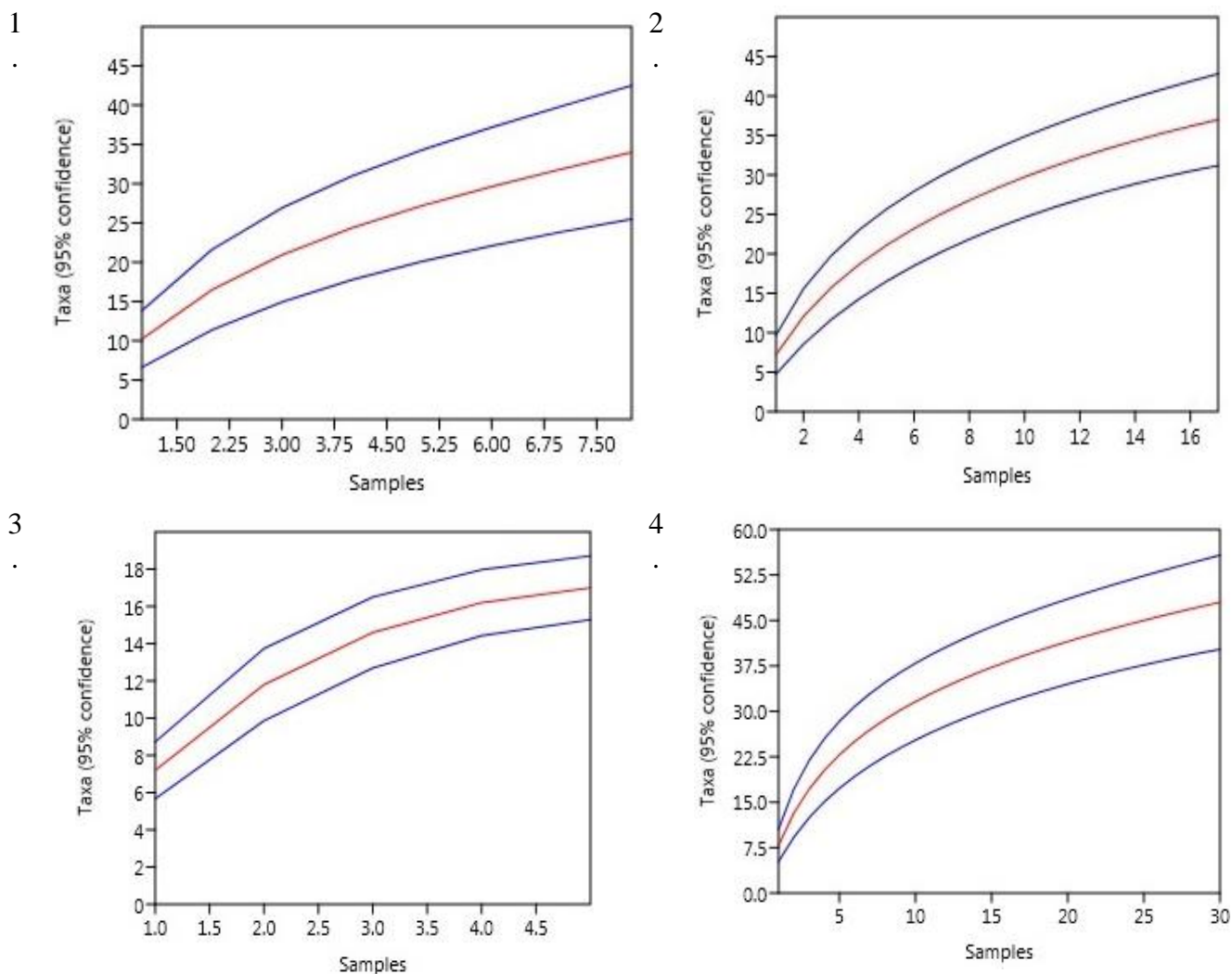


Рисунок 21– Кривые накопления видов (1 – песок, 2 – камень, 3 – скалы, 4 – вся бухта)

Форма кривых накопления, с увеличением количества проб, приближается к горизонтальной для всех типов грунта и в целом для бухты (рис.21). Это означает, что дальнейшее увеличение количества проб на всех грунтах привело бы к незначительному увеличению числа новых видов. Таким образом, собранного количества образцов достаточно для получения представления о видовом богатстве различных грунтов и бухты в целом.

4.2 Моделирование максимального числа видов (Quadrat richness)

Самое большое количество видов было отмечено на камнях – 38. На песке макрозообентос представлен 33 видами, а на скалах и крупных валунах – 19 видами. На песке, камнях, и во всей бухте спрогнозированные значения превышают количество реально обнаруженных видов. Видовой состав массовых видов, при этом, полностью отражается (таблица 1). Так как мы имеем дело с подвижной фауной, увеличение числа видов при увеличении числа проб следует ожидать за счет единичных и случайных видов, но их вклад в обилие донных сообществ будет несущественным. Смоделированное и реальное количество видов совпадает на скалах и крупных валунах. Здесь для случайных видов недостаточно укрытий, поэтому видовой состав макрозообентоса скал и крупных валунов отражен практически полностью (таблица 2).

Таблица 1 – Число массовых и единичных видов на различных грунтах

Виды	Грунт			По всей бухте
	Песок	Валуны	Скалы	
Массовые	6	5	9	6
Единичные	18	21	10	22
Всего	33	38	19	49

Таблица 2 – Максимальное число видов, спрогнозированное методом Quadrat richness на основе имеющихся данных

Оценки	Грунт			По всей бухте
	Песок	Камни	Скалы	
Chao2	63,8	46,5	17,5	66,8
Jackknife1	48,8	50,1	20,2	64,4
Jackknife2	59,7	55,9	19	74,9
bootstrap	40,2	43,1	18,9	55,1

Таблица 3 – Максимальное число видов, спрогнозированное методом Quadrat richness по методу Bootstrap

Оценки	Грунт			По всей бухте
	Песок	Камни	Скалы	
Chao2	34,8	36,5	18,3	49,9
Jackknife1	34,8	38,5	18,1	50,4
Jackknife2	37,1	40,6	18,2	52,7
bootstrap	29,1	35,1	20,1	48,5

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что данный алгоритм пробоотбора, а именно использование стандартных методов с уникальным пробоотборником, даёт удовлетворительные результаты. Видовой состав макрозообентоса почти в полной мере отражён в пробах.

Применённые методы биостатистики широко используются в биологии и экологии и хорошо себя зарекомендовали. Данные методы имеют важное значение в подобных исследованиях, поскольку сделать вывод о полном отображении видового богатства исключительно на основе проб не представляется возможным. Статистические методы имеют высокий процент

правдивости и постоянно улучшаются, так как подобный вид анализа является очень перспективным в эпоху ЭВМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были изучены донные сообщества участка литорали Ладожского озера с использованием контактных и бесконтактных методов исследования. В результате пробоотбора были получены данные о видовом составе и количественных характеристиках донных сообществ на участке Ладожской литорали. На основании метода моделирования максимального числа видов было оценено вероятное количество видов донных беспозвоночных обитающих на этом участке. Сопоставление полученных результатов позволяет сделать следующие выводы: выбранные методы в достаточной степени позволяют отразить биоразнообразие в сложных условиях прибрежных мелководий Ладожского озера. В комплекс исследования прибрежных мелководий имеет смысл включить методы моделирования максимального числа видов для оценки достаточности выбранного числа станций и полноты отражения донных сообществ.

В процессе достижения цели получены следующие результаты:

1. Проведено исследование донных сообществ прибрежных мелководий контактными и бесконтактными методами.
2. Выбран комплекс расчетных методов анализа и на его основе моделирование биологического разнообразия донных сообществ в пакете палеонтологической статистики PAST.
3. Сопоставление полученных данных полученных разными группами методов показала достаточно высокий уровень отражения состава донных сообществ.
4. Результаты моделирования оказались сопоставимы с данными отбора проб.
5. Сделан вывод о взаимном дополнении контактных и бесконтактных методов.

6. Вынесена рекомендация о включении метода моделирования максимального числа видов в комплекс изучения донных сообществ прибрежных мелководий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Голиков А.Н., Скарлато О.А. Гидробиологические исследования в заливе Посъет с применением водолазной техники // Исследования фауны морей СССР, 1965, № 3(9), с. 5–21.
2. Голиков А.Н., Скарлато О.А., 1968; Зуев Ю.А., 2012. Гидробиологические исследования в заливе Посъет с применением водолазной техники.
3. Преображенский Б.В. Ландшафт как характеристика экосистемы // Методы комплексного исследования экосистем шельфа. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 23–28.
4. Преображенский Б.В., Жариков В.В., Дубейковский Л.В. Основы подводного ландшафтоведения: Управление морскими экосистемами. Владивосток: Дальнаука, 2000. с. 352-370
5. Одум Ю., Введение в экологию, 1953. с 58-102.
6. З.Г. Гольд, В.М. Гольд ОБЩАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ, 2013. с. 27-44, с.47-61.
7. Захаров Л.А., Введение в промысловую океанологию, 1998. с. 42-60.
8. Журнал «Инженерные изыскания», №9-10, 2014. Авторы – Денис Илюшин, Николай Шабалин, Управление морских исследований ИЭПИ, и др. с. 98-103
9. URL: <http://www.анероид.рф>; дата обращения 10.07.2017.
10. Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. Под ред. Н.А. Петровой. – Л.: Наука, 1982. – 304 с.
11. URL:<http://www.oceanavt.ru/issledovaniya-v-pribrezhnoj-oblasti-oceanov/1318-biologicheskie-aspekty-pribrezhnoj-oceanologii.html>; дата обращения 08.07.2017.
12. Efron B. Bootstrep methods. Another look at the Jackknife // Ann. Statist. 1979. № 7. P. 1–26.
13. Efron B., Tibshirani R. J. An introduction to the bootstrap. N. Y.: Chapman & Hall, 1993. 436 p
14. Шитиков В. К., Зинченко Т. Д., Абросимова Э. В. Непараметрические методы сравнительной оценки видового разнообразия речных сообществ макрозообентоса // Журнал общей биологии. 2010. Т. 71. № 3. С. 263–274
15. Colwell, R. K., and J. A. Coddington. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B 345: 101-118.
16. Walther, Morand, Estimating marine species richness: an evaluation of six extrapolative techniques 1998; 15-26.

17. Jack-knife [Chao, 1987; Colwell, Coddington, 1994; Walther, Martin, 2001; Foggo et al., 2003]
18. *Chernick M. R.* Bootstrap methods, a practitioner's guide. Wiley Series in Probability and Statistics, 1999. 369 p.
19. *Chao A., Chazdon R. L., Colwell R. K., Shen T. J.* A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data // *Ecol. Letters*. 2005. Vol. 8. P. 148–159
20. *Burnham K.P., Overton W.S.* Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals // *Biometrika*. 1978. V. 65. P. 623-633
21. *Chao A.* Non-parametric estimation of the number of classes in a population // *Scand. J. of Statist.* 1984. V. 11. P. 265-270.
22. *Smith E.P., van Belle G.* Nonparametric estimation of species richness // *Biometrics*. 1984. V. 40. P. 119-129
23. *Chao A.* Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability // *Biometrics*. 1987. V. 43. P. 783-791.
24. *Fisher R.A., Corbet, A.S., Williams C.B.* The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population // *J. Animal Ecol.* 1943. V. 12. P. 42-58.
25. *Степанова А.Б., Бабин А.В., Зуева Н.В., Зуев Ю.А., Воякина Е.Ю., Семадени И.В.* Анализ антропогенного воздействия на водную систему Валаамского архипелага // Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние: Атлас. СПб.: РГГМУ, 2016. С. 32-41
26. *Зуев Ю.А., Зуева Н.В., Лапенков А.Е.* Макрозообентос заливов Валаамского архипелага // *Водные ресурсы: изучение и управление (лимнологическая школа-практика)*. Материалы V Международной конференции 5–7 сентября 2016 г., Перозаводск: Карельский научный центр РАН. 2016 г. Стр. 22–28
27. *Степанова А.Б., Бабин А.В., Зуева Н.В., Зуев Ю.А., Воякина Е.Ю., Семадени И.В.* Анализ антропогенного воздействия на водную систему Валаамского архипелага // Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние: Атлас. СПб.: РГГМУ, 2016. С. 32-41
28. *Барбашова М.А., Курашов Е.А.* Макрофауна литоральной зоны Ладожского озера. // *Литоральная зона Ладожского озера*. – СПб.: Наука, 2011, с. 219–252
29. *Барбашова М.А., Слепухина Т.Д.* Макрозообентос литоральной зоны заливов шхерного района озера. // *Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее*. – СПб: Наука, 2002, с. 259–264.

30. *Rumohr H., Karakassis I., Jensen J.N.* Estimating species richness, abundance and diversity with 70 macrobenthic replicates in the Western Baltic Sea // *Mar. Ecol. Progr. Ser.* — 2001. — 214. — P. 103—110.
31. *Деньгина, Р.С.* О реликтовой мизиде Ладожского озера / Р.С. Деньгина, Г.А. Стальмакова // *Биологические ресурсы Ладожского озера (зоология)*, отв. ред. С.В. Калесник. — Л.: Наука, 1968. — С. 105-116.