

*Ю.А. Зуев, Н.В. Зуева*

## ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА КАМЕНИСТОЙ ЛИТОРАЛИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

*Yu.A. Zuyev, N.V. Zuyeva*

## RESEARCH EXPERIENCE OF MACROZOOBENTHOS ROCKY LITTORAL ZONE OF LAKE LADOGA

*Предложена стратегия исследования видового состава и обилия макрозообентоса каменистой литорали Ладожского озера водолазным методом. При проведении пробных исследований донные сообщества охарактеризованы как имеющие высокое видовое богатство и обилие макрозообентоса. Продемонстрирована возможность использования данного метода на мелководьях Ладожского озера и других водоемов.*

*Ключевые слова: макрозообентос, каменистая литораль, донные сообщества, кормовая база рыб-бентофагов, Ладожское озеро, Валаамский архипелаг.*

*The research strategy of the species composition and abundance macrozoobenthos of rocky littoral zone of Lake Ladoga by divers has been developed. In conducting the pilot studies the bottom communities have been characterized as communities with high species richness and abundance of macrozoobenthos. The possibility of using this method in the coastal shallow waters of Lake Ladoga and other water bodies has been showed.*

*Key words: macrozoobenthos, Ladoga Lake, rocky littoral zone, bottom communities, fish forage base.*

### **Введение**

Прибрежные мелководья — это наиболее продуктивная область любого водоема. В Ладожском озере на литорали отмечается до 85 % общего числа видов макрозообентоса [14]. Здесь происходит нерест и нагул молоди подавляющего большинства рыб, обитающих в Ладожском озере, в том числе ценных видов: хариуса, ладожского лосося и нескольких видов сигов. В питании молоди и взрослых рыб существенную роль играет уникальная фауна ракообразных обитающих на литорали [16, 17].

Значительная часть площади прибрежных мелководий в северной части Ладожского озера занята скальными и валунными грунтами. При этом каменистая литораль в северной Ладоге является одной из наименее биологически изученных зон этого водоема. Причина слабой изученности донных сообществ каменистой литорали

Ладожского озера — нерепрезентативность стандартных гидробиологических методов количественного учёта макрозообентоса на твёрдых грунтах. Детальные исследования на каменистой литорали в настоящее время ограничены глубиной 1 м [2].

Дефицит знаний о количественных характеристиках и пространственном распределении зообентоса на каменистой литорали Ладожского озера вызывает сложности при оценках состояния донных сообществ, кормовой базы рыб-бентофагов и трофического статуса данной зоны и водоема в целом. Необходимость исследований мелководий Ладожского озера обусловлена тем, что донная фауна здесь активно изменяется вследствие антропогенного воздействия, а возможно, и климатических изменений [1, 8, 13, 15]. Дополнительная трансформация сообществ макрозообентоса связана с тем, что с середины 2000-х гг. зафиксировано проникновение многих чужеродных видов в Ладожское озеро [7].

Таким образом, цель работы — разработка стратегии исследования, которая позволяет оптимизировать изучение видового состава и обилия макрозообентоса в наиболее сложных для стандартных методов биотопах — каменистых мелководьях, как правило, характеризующихся значительным уклоном и сложным рельефом.

Задачи работы:

- исследовать условия обитания донных сообществ на каменистой литорали;
- разработать оборудование для количественных сборов макрозообентоса на твердых грунтах;
- определить наиболее лаконичную стратегию исследований донных сообществ на участке каменистой литорали;
- провести апробацию предложенной стратегии;
- дать предварительную оценку обилия макрозообентоса и кормовой базы рыб бентофагов в исследованном районе.

### *Материалы и методы*

Полевые работы проводились на базе Учебно-научной станции Российского государственного гидрометеорологического университета на о. Валаам в июле—августе 2011 и 2012 гг. В качестве района исследований была выбрана бухта, служащая составной частью акватории залива Крестовый Валаамского архипелага. Она расположена у основания мыса Красный, неподалеку от метеостанции (рис. 1). Выбор бухты обусловлен тем, что она является типичной полузакрытой бухтой северной части Ладожского озера, около 50 % площади дна которой занято твердыми грунтами. Изменчивость рельефа и состава грунтов литорали бухты позволяет оценить видовой состав и обилие бентоса в различных условиях.

Сбор материала проводился водолазным методом [12]. В отличие от традиционных сборов с помощью дночерпателей, скребков и драг он дает исследователю уникальную возможность непосредственно наблюдать условия обитания и контролировать процесс отбора проб бентоса.

При исследовании донных беспозвоночных в качестве основного использовался метод трансект Голикова-Скарлато (1965) с модификацией [4, 5]. Суть метода заключается в следующем. По дну пролагается размеченный через каждый метр

трос — трансекта. Водолаз движется по ней вдоль дна и при этом выполняет описание рельефа и грунтов, фиксирует глубину и температуру, а также производит отбор биологических проб. Кроме того, параллельно производится подводная фото- и видеосъемка. Всего в процессе исследования бухты было выполнено 18 таких разрезов (рис. 2).

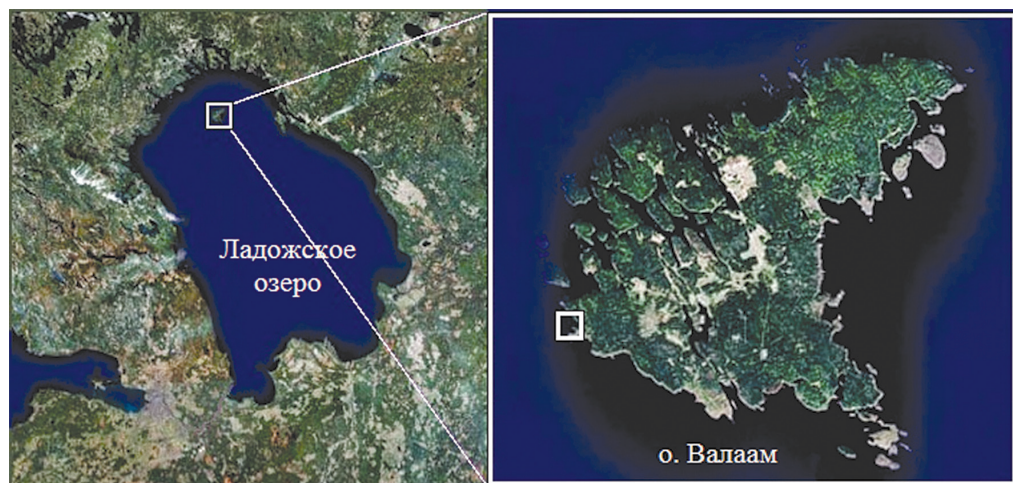


Рис. 1. Район проведения полевых исследований

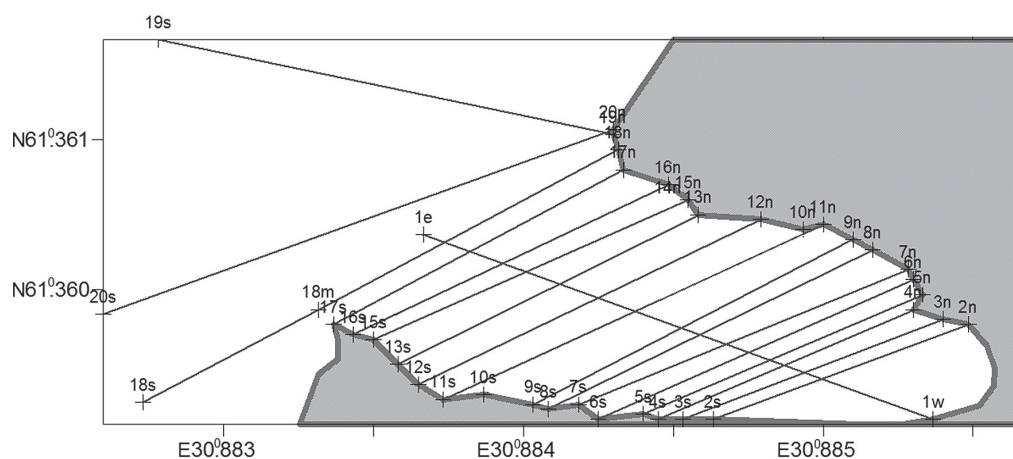




Рис. 3. Обеспечение водолазных работ

Географические координаты начала и конца трансект отмечались на поверхности GPS-приемником Garmin ETrex Legend. Глубина и температура воды записывались с ручных водолазных компьютеров. Записи под водой велись на специальном планшете, они включали в себя данные по длине пройденного пути, глубине, рельефу и форме грунта, температуре и основным обитателях. Зная глубину, начальные и конечные координаты разреза, выполнялась привязка всех участков вдоль трансекты к географическим координатам.

Вдоль трансект отмечались границы участков с одинаковым рельефом, занятые однотипным грунтом. На основе этих данных составлялись схемы разрезов. На подготовленных схемах намечались станции отбора проб бентоса на участках с определенным типом грунта и рельефом дна.

Сбор проб бентоса осуществлялся 2 способами. С помощью учетной рамки оригинальной конструкции размерами 15×15 см [6]. На твердых грунтах бентос с этой площади просто соскабливался, а на мягких грунтах отбирался со слоем грунта толщиной 5 см.

Второй способ использовался для лучшего учета зообентоса, который хорошо плавает и/или прячется в трещинах между камнями. Была разработана и использована следующая конструкция (рис. 4). Устройство состоит из трубы диаметром 10 см. Внутри неё на длинном рычаге закреплен поршень. Длина хода поршня составляет 51 см. Площадь входного отверстия — 79 см<sup>2</sup> (или 0,8 % квадратного метра). Для отбора пробы на отверстие пробоотборника надевался мешок из газа № 23. При вытягивании поршня, через мешок проходит вода, а на ткани остаются бентосные организмы и частички грунта. Объем профильтрованной таким образом воды составляет 4 л.





Рис. 4. Бентосный пробоотборник оригинальной конструкции

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, между которыми существуют свободные пространства, занятые водой, в которых могут находиться бентосные организмы, учётная площадка была также принята равной площади поперечного сечения пробоотборника. Всего на трансектах учётной рамкой было отобрано 20 проб макрозообентоса и им соответствовало 18 проб собранных пробоотборником.

Отмывка проб от грунта выполнялась непосредственно у уреза воды с использованием сита № 23. Отмытые пробы фиксировались 4 %-м формалином. В лабораторных условиях организмы выбрались из грунта, подсчитывались и взвешивались на торсионных весах с точностью до 0,0001 г. Взвешивание организмов проводилось по основным таксономическим группам. Для определения таксономического состава производилась идентификация организмов до вида (за исключением водных клещей и некоторых олигохет сем. Enchytraeidae).

В качестве основных количественных характеристик обилия представителей зообентоса в работе использовались показатели биомассы и плотности поселения, отнесенные к стандартной площади в 1 м<sup>2</sup>.

### ***Результаты и обсуждение***

#### *Характеристики бухты Крестового залива Валаамского архипелага.*

Бухта вытянута с востока на запад (рис. 5). От открытой Ладоги акватория ограждена двумя мысами и с трех сторон огорожена скалами. Длина бухты — 120 м, наибольшая ширина — 80 м. Средняя глубина в бухте составляет 6 м.

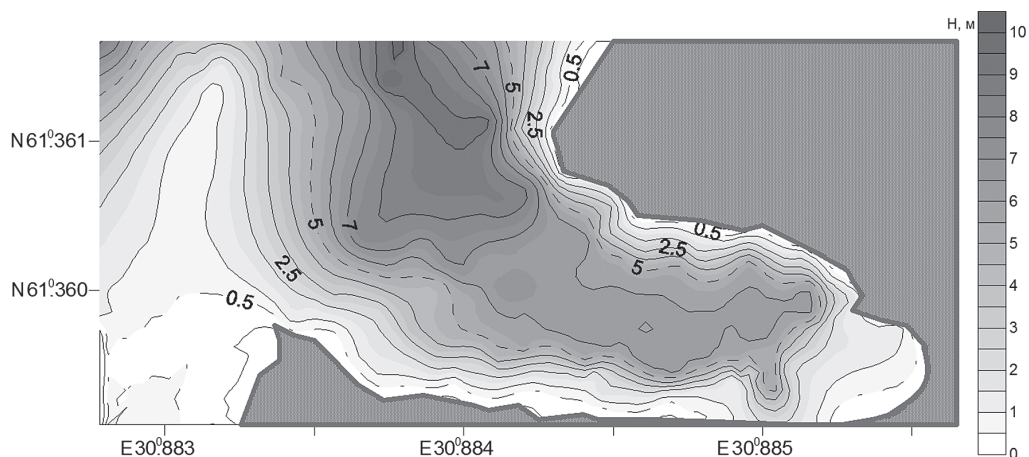


Рис. 5. Карта глубин бухты Крестового залива

Южный берег пологий, с оконечностью в виде мыса, подводная часть которого далеко вдается в Ладожское озеро. Северный берег образован скальными выходами с практически отвесными стенами. Глубины вдоль этого берега варьируют от 2 до 8 м (см. рис. 5). Высшая водная растительность в бухте отсутствует.

Характеристика дна бухты была выполнена на основании данных 18 трансект. Вдоль каждой из них был описан рельеф, характер грунта, а затем построен профиль, пример такого разреза представлен на рис. 6.

В результате сопоставления составленных водолазами описаний и разрезов была получена схема подводных ландшафтов бухты залива Крестового (рис. 7). Большая часть площади склонов и дна бухты сложена валунами различных размеров (рис. 8a). Правый берег бухты высокий, скалистый (рис. 8b), в то время как левый — более пологий, сложенный из камней, которые образовались в результате естественной абразии и обрушения скал (рис. 8a—c).

Песчаный грунт расположен на участке дна с небольшим уклоном в средней части бухты (рис. 8d). Под воздействием волновых колебаний на песке формируются крупные гряды. Ширина гряды на выходе из бухты около 1 м. Илистый грунт в бухте практически отсутствует. Незначительное количество ила наблюдается только на глубине 6 м под прибрежным свалом в кутовой части и в углублениях между песчаными грядами вдоль правого берега бухты.

При увеличении уклона дна вдоль берегов в песке появляются мелкие камни (рис. 8c). Вдоль левого берега располагается полоса грунта, получившего условное название «черепица» за свой внешний вид. Этот грунт занимает нижнюю пологую часть берегового свала. Грунт состоит из небольших плоских камней очень плотно и ровно уложенных, кольматированных галькой или крупным песком. В зоне, приближенной к открытой Ладоге, преобладает галечник.

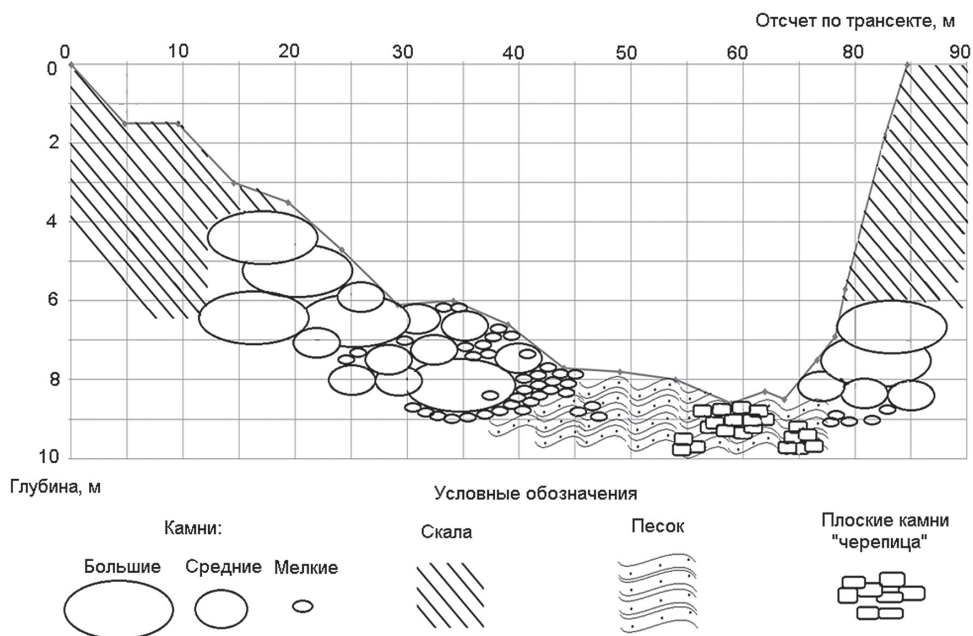
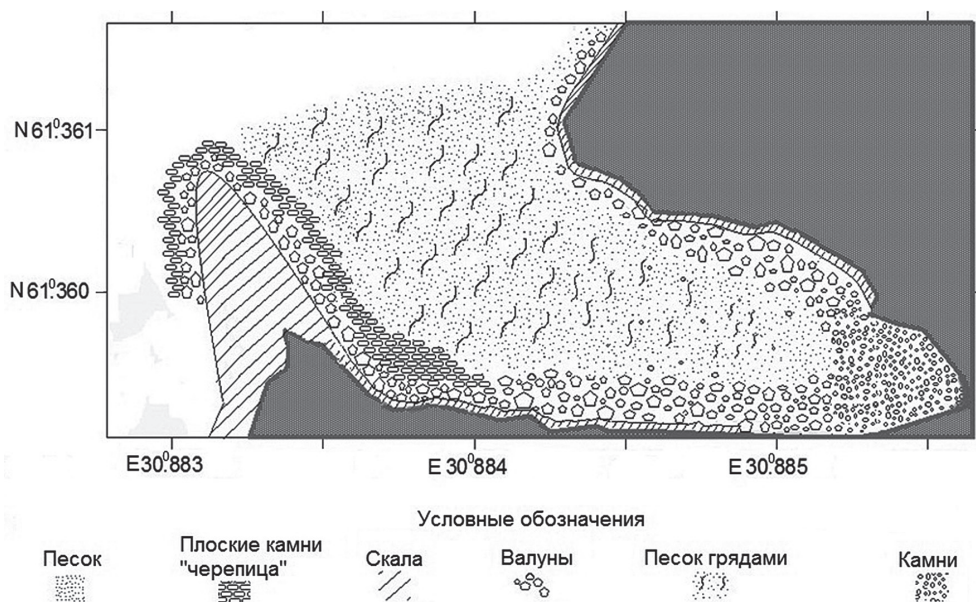


Рис. 6. Схема изменения рельефа и состава грунтов на трансекте № 13



Масштаб: 1:1000.

Рис. 7. Карта грунтов бухты в Крестовом заливе



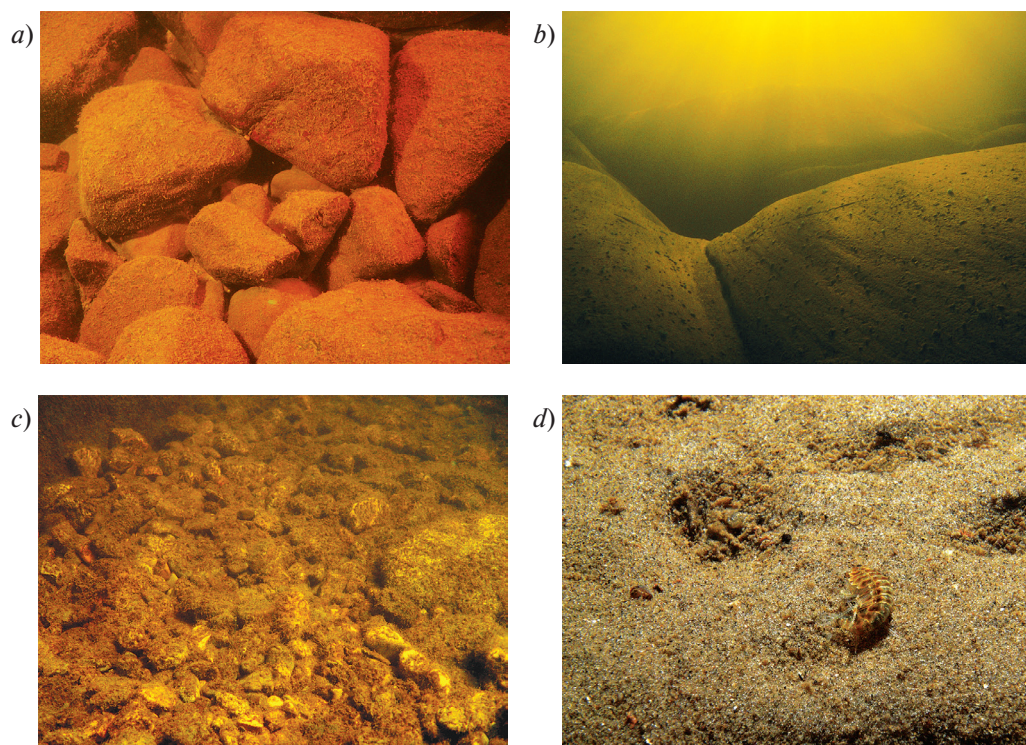


Рис. 8. Различные типы грунта дна бухты

Вдоль скалистых берегов всей бухты на подводном склоне прибрежного свала происходит постепенная смена скалистых стенок на скальные обломки, валуны и камни среднего и мелкого размера. Вдоль левого берега залива скалы разрушены значительно сильнее, а подводная часть бенча занимает большую площадь и имеет меньший уклон. Вдоль правого берега, напротив, процессы естественной эрозии берегов происходят значительно слабее. Здесь, под воздействием активного разрушения берегов, камни имеют угловатую и наименее окатанную форму. Склоны правого берега имеют больший уклон. Граница раздела скала-песок резко выделяется.

От течений и волнения восточного направления акватория частично прикрыта подводной оконечностью мыса (см. рис. 5). При этом бухта открыта для ветров северного направления, что объясняет большую абразию и меньший уклон подводного склона южного берега по сравнению с северным.

Для полноценного отражения реального видового состава и обилия донных сообществ было необходимо исследовать макрозообентос во всем диапазоне условий его обитания в бухте. Станции отбора проб располагались таким образом, чтобы каждая характеризовала бентос, населяющий участок с определенным рельефом и типом грунта.

Полученная карта донных ландшафтов бухты позволила оптимизировать количество запланированных бентосных станций для описания макрозообентоса бухты (рис. 9). Значительные отличия гидрологических условий на подводной части южного



и северного берегов бухты указывают, что целесообразно проводить исследования макрозообентоса на обоих берегах.

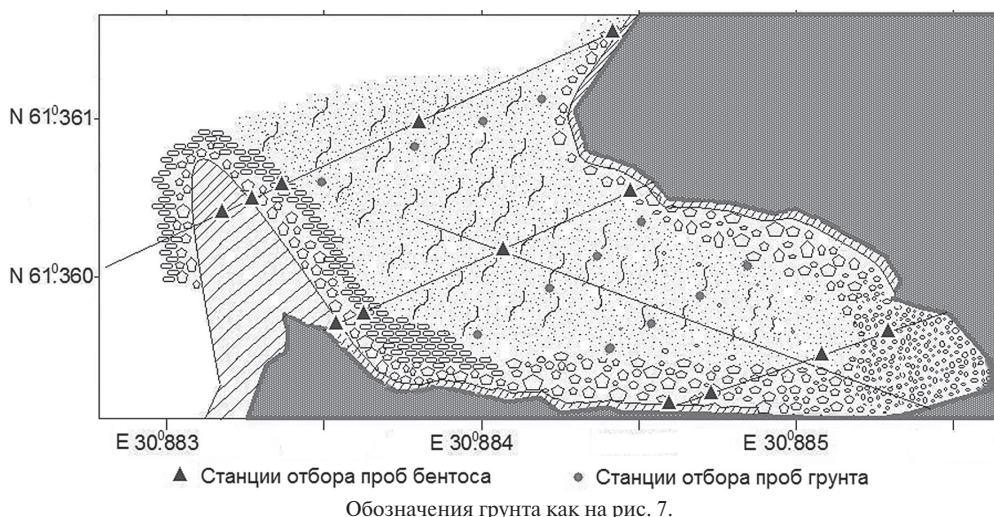


Рис. 9. Схема расположения гидробиологических разрезов и станций отбора бентосных проб в бухте

*Предварительные данные о макрозообентосе бухты Крестового залива Валаамского архипелага.*

В бентосе бухты отражены все группы беспозвоночных характерные для Ладожского озера: двусторчатые (5 видов) и брюхоногие моллюски (6 видов), малощетинковые черви (8 видов), пиявки (2 вида), ракообразные (8 видов), гидроидные (indet.), планарии (indet.) и низшие насекомые (1 вид). Наибольшим количеством таксонов представлены личинки насекомых с водным циклом развития: поденки (2 вида), веснянки (2 вида), мошки (indet.), стрекозы (1 вид), мокрецы (2 вида), комары-хирономиды (25 видов) и ручейники (8 видов). Всего отмечено 68 таксонов. Согласно работе института Озероведения РАН, на литорали Ладожского озера было отмечено 205 таксонов животных [2] из них для северной части было отмечено 119 видов [3]. Эти исследования включали также наиболее богатый биотоп Ладожского озера — прибрежные растительные сообщества, поэтому можно сделать вывод о высокой степени отражения в данной работе реального видового состава.

В классе ракообразных были отмечены: *Asellus aquaticus*, *Gammaracanthus lacustris*, *Gammarus lacustris*, *Gmelinoides fasciatus*, *Neomysis intermedia*, *Monoporeia affinis*, *Pallasea quadrispinosa*, *Mysis relicta*. Из-за малой глубины бухты не был отмечен эндемик Ладожского озера морской таракан — *Saduria (M.) entomon*. На глубине 7 м на подводном склоне левого мыса была поймана крупная самка узкопалого рака (*Pontastacus (A.) leptodactylus*) с икрой.

На песчаных биотопах бухты преобладали амфиподы *G. fasciatus* и олигохеты *Lamprodrilus isoporus* и другие виды олигохет сем. Lumbriculidae и Tubificidae. На каменистых грунтах пробы, взятые с помощью рамки и трубчатым пробоотборником,

часто дополняли друг друга: в рамке доминировали кишечнорастворимые и личинки насекомых; а в трубе – ракообразные и личинки насекомых.

С глубиной видовой состав менялся незначительно. В пределах литорали – верхних 10 м обилие бентоса больше зависело от типа грунта, однако и глубже продолжали встречаться многие виды, традиционно привязанные к небольшим глубинам (рис. 10). Для многих гидробионтов получены фотографии в естественной среде.



Рис. 10. Нимфа поденки рода *Heptagenia* (*sulphurea*?). Глубина 12 м, выход из бухты

Наибольшая плотность поселения макрозообентоса отмечена на станции с глубиной 3–4 м на валунах среднего размера, наименьшая – на глубинах 5–6 м на мелких камнях. Диапазон варьирования составил от 128 до 20222 экз./м<sup>2</sup>.

Наибольшая биомасса бентоса отмечена на станции с глубиной 2,5 м на валунах, а наименьшая – на глубине 5,7 м на грунте состоящем из мелких камней. Диапазон изменений составил от 0,37 до 31,34 г/м<sup>2</sup>.

Доминируют по плотности поселения ракообразные. Их доля в поселениях макрозообентоса составляет 76 %, за счет скоплений бокоплавов *G. fasciatus*. Личинки комаров-хирономид вносят не более 13 % общей биомассы. Наименьшая биомасса приходится на долю олигохет – около 1 %.

Из-за колебаний обилия ракообразных наблюдается высокая вариативность в значениях биомассы даже соседних станций. Максимальные значения биомассы бентоса отмечались на границе твердого и мягкого грунтов или на твердом крупнообломочном грунте, представляющем достаточный объем убежищ для ракообразных. Мягкий грунт, несмотря на высокие плотности поселения молоди ракообразных, характеризуется невысокими значениями биомассы бентоса, в среднем не превышающими 2,0 г/м<sup>2</sup>.



Практически весь бентос на обработанных станциях относится к категории «мягкого» кормового. По классификации М.Л. Пидгайко и других (1968), исследованный район в целом можно охарактеризовать по запасу «мягкого» кормового бентоса выше, чем средnekормный [10]. Отдельные станции, расположенные на глубине 4–5 м на небольших камнях, могут быть охарактеризованы как весьма высококормные.

*Опыт отбора проб макрозообентоса в бухте Крестового залива Валаамского архипелага.*

Отбор проб макрозообентоса на твердых грунтах с помощью учетной рамки — это длительная и трудоемкая процедура. Подвижные беспозвоночные на твердом субстрате избегают находиться на открытой поверхности камней. Они прикрепляются к их теневым сторонам или прячутся в трещинах (рис. 11). Кроме того, многие организмы, населяющие твердые грунты, активно передвигаются и могут легко покинуть учетную площадку при приближении исследователя. Использование пробоотборника (см. рис. 3) позволит собрать этих животных. Таким образом, при расчете количественных характеристик может быть учтен зообентос, обитающий не только строго на поверхности грунта, но также и находящийся под этой площадью.



Рис. 11. Колония гидр на твердом грунте.

Пример организмов, которые не будут отражены по результатам дночерпательной съемки

*На мягком грунте* (крупный песок) различие значений плотности поселения зообентоса (экз./м<sup>2</sup>), отобранного при помощи рамки и пробоотборника на двух площадках не превышало 5 %.

*На твердом грунте* плотность поселения макрозообентоса на квадратный метр дна по результатам сборов трубчатым пробоотборником в два-три раза превышала таковую полученную с помощью учетной рамки (рис. 12).



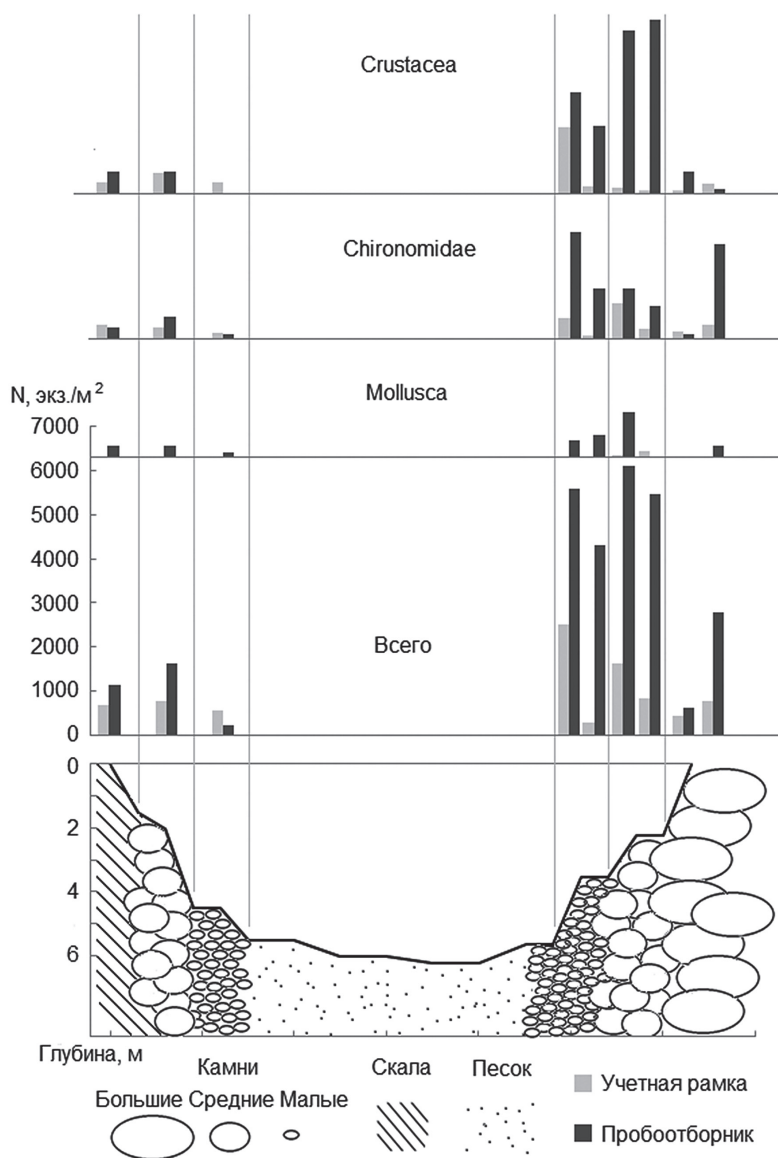


Рис. 12. Плотность поселения макрозообентоса по результатам отбора учетной рамкой и пробоотборником

Наибольший вклад в неучтенную часть оказывали ракообразные и личинки комаров-хирономид (см. рис. 12). Интересно отметить, что обилие моллюсков по результатам отбора пробоотборником также оказалось существенно выше.

Единственная группа макрозообентоса, плотность поселения которой была больше на основании данных по учетной рамке — это олигохеты. Можно предположить,

что олигохеты хорошо закрепляются в обрастаниях на камнях и в пробоотборник не засасываются. Моллюски (особенно мелкие двустворки сем. *Pisidiidae*) вообще не закреплены на дне и легко затягиваются вместе с частью грунта.

### ***Заключение***

Использование традиционных орудий сбора макрозообентоса: дночерпателя Петерсена, пробоотборника Панова-Павлова (1986) и бентосных скребков позволяет в достаточной мере создать представление о донном населении мягких грунтов открытых участков Ладожского озера и узкой прибрежной полосы глубиной до 1 м [2, 9].

Количественные характеристики обилия донных животных, которые прикрепляются к твердому грунту или прячутся в его крупных фрагментах, не могут быть достоверно отражены при помощи дночерпательной съемки. Поэтому район занятый твердыми грунтами, занимающий значительную часть площади литорали в одном из наиболее ценных рыбопромысловых районов Ладожского озера, остается практически неисследованным.

Водолазный метод хорошо зарекомендовал себя для проведения сборов макрозообентоса на твердом субстрате и решения широкого круга гидробиологических задач на водоемах различного типа [4, 11, 18].

Нами была предложена стратегия исследования участка литорали, которая позволяет оптимизировать изучение видового состава и обилия макрозообентоса в наиболее сложных для стандартных методов биотопах — каменистых мелководьях, как правило, характеризующихся значительным уклоном и сложным рельефом.

В общем виде стратегия исследования каменистой литорали должна строиться на следующих этапах. Во-первых, проводится ландшафтная водолазная съемка дна исследованного района. Затем, по результатам этой съемки составляются карты-схемы и по ним выбираются станции для выполнения гидробиологических сборов, приуроченные к однородным участкам дна.

На последнем этапе проводится водолазный отбор материала с использованием подходящих пробоотборников. Предложенные орудия сбора позволяют собирать макрозообентос не только с поверхности субстрата, но и исследовать трещины и объем воды, находящийся между частицами твердого грунта. В частности, это позволяет отразить реальное обилие ракообразных, которые являются основой кормовой базы промысловых рыб-бентофагов Ладожского озера.

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-хирономид, 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.

В статье использованы фотографии Ю.А. Зуева, С.В. Голдина и Д.М. Минасиповой. Авторы искренне благодарят заведующего лабораторией подводных исследований РГГМУ А.В. Коровина, водолазов Р.Ю. Оскардова, О.М. Владимирову, А.П. Яснова, Д.С. Оленёва, А.В. Тимошину, С.В. Голдина за помощь при проведении водолазных работ. Начальника УНС РГГМУ на о. Валаам канд. биол. наук А.Б. Степанову и сотрудников станции: канд. биол. наук Е.Ю. Воякину, А.В. Бабина и С.А. Недошивина за помощь и поддержку при организации полевых работ. Глубокую признательность хочется выразить ведущему научному сотруднику ФГБНУ ГосНИОРХ канд. биол. наук О.И. Мицкевич за ценные советы и замечания к статье.

### Литература

1. Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. Под ред. Н.А. Петровой. — Л.: Наука, 1982. — 304 с.
2. Барбашова М.А., Курашов Е.А. Макрофауна литоральной зоны Ладожского озера. // Литоральная зона Ладожского озера. — СПб.: Наука, 2011, с. 219–252.
3. Барбашова М.А., Слепухина Т.Д. Макрозообентос литоральной зоны заливов шхерного района озера. // Ладожское озеро — прошлое, настоящее, будущее. — СПб.: Наука, 2002, с. 259–264.
4. Голиков А.Н., Скарлато О.А. Гидробиологические исследования в заливе Посьет с применением водолазной техники. // Исследования фауны морей СССР, 1965, № 3(9), с. 5–21.
5. Зуев Ю.А. Мегабентос верхней сублиторали Кольского залива Баренцева моря. // Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 25.00.28. — Мурманск, 2012. — 27 с.
6. Зуев Ю.А. Патент на полезную модель № 123952, МПК G01N1/04. Рамочный водолазный дночерпатель / Зуев Ю.А.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «РГГМУ». — № 2012115485/05; заявл. 18.04.2012. — 3 с.: ил.
7. Курашов Е.А. и др. Виды-вселенцы в литоральной зоне Ладожского озера. // Литоральная зона Ладожского озера. — СПб.: Наука, 2011, с. 279–284.
8. Ладожское озеро — критерии состояния экосистемы. — СПб.: Наука. 1992. — 328 с.
9. Панова В.Е., Павлов А.М. Методика количественного учета водных беспозвоночных в зарослях камыша и тростника. // Гидробиологический журнал, 1986, т. 22, № 6, с. 87–88.
10. Пидгайко М.Л., Александров Б.М., Иоффе Ц.И. и др. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР. // Изв. ГосНИОРХ. 1968, т. 67, с. 205–228.
11. Распопов И.М. О применении водолазной аппаратуры при изучении высшей водной растительности заливов северной Ладоги. // Биология внутренних водоемов Прибалтики. — Петрозаводск: Карельское книжное издательство, 1962, с. 241–244.
12. Слесарев О.М., Рыбников А.В. Водолазное дело. — СПб.: Агентство «Игрек», 1996. — 305 с.
13. Современное состояние экосистемы Ладожского озера. / Под ред. Н.А. Петровой и Г.Ф. Расплетной. — Л.: Наука, 1987. — 213 с.
14. Стальмакова Г.А. Зообентос Ладожского озера. // Биологические ресурсы (зоология) Ладожского озера. — Л.: Наука, 1968, с. 4–70.
15. Тимофеева Л.А., Науменко М.А. Пространственное распределение температуры поверхности Ладожского озера в период открытой воды: средние и аномальные величины. // Ученые записки РГГМУ, 2008, № 7, с. 29–35.
16. Тихомирова Л.П. Питание ладожских сивов. // Рыбохозяйственное изучение внутренних водоемов, 1975, № 16, с.14–20.
17. Тихомирова Л.П., Болотова Т.Т. Питание сига-лудог Ладожского озера. // Известия ГосНИОРХ, т. 116. — Л., 1977, с. 91–98.
18. Tolonen K. Patterns in diversity and assemblages of lake littoral macroinvertebrates in relation to abiotic and biotic factors. — University of Joensuu, 2004. — 108 pp.