

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ

CURRENT RESEARCH METHODS OF BENTHIC COMMUNITIES

ИЛЮШИН Д.Г.

Заместитель руководителя Управления морских исследований
ЗАО «Институт экологического проектирования и изысканий»,
к.б.н., г. Москва, denis.ilyushin@marine-rc.ru, info@acmsu.ru

ИСАЧЕНКО А.И.

Научный сотрудник Беломорской биологической станции
им. Н.А. Перцова биологического факультета МГУ
им. М.В. Ломоносова, к.б.н., г. Москва

ШАБАЛИН Н.В.

Руководитель Управления морских исследований ЗАО «Институт
экологического проектирования и изысканий», г. Москва,
brund@yandex.ru, info@acmsu.ru

МОКИЕВСКИЙ В.О.

Руководитель лаборатории экологии прибрежных донных
сообществ Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова,
руководитель научной группы Управления морских исследований
ЗАО «Институт экологического проектирования и изысканий»,
д.б.н., г. Москва

ILYUSHIN D.G.

Deputy head of the Marine Research Department of the «Ecological
Design and Survey Institute» CJSC, PhD (candidate of science
in Biology), Moscow

ISACHENKO A.I.

Researcher of the Pertsov White Sea Biological Station
of the biology faculty of Lomonosov Moscow
State University, PhD (candidate of science in Biology), Moscow

SHABALIN N.V.

Head of the Marine Research Department
of the «Ecological Design and Survey Institute»
CJSC, Moscow, brund@yandex.ru

MOKIEVSKIY V.O.

Head of the Laboratory of Coastal Bottom Benthic
Communities Ecology of the Shirshov Oceanology Institute
of the RAS, head of the Research Group of the Marine Research
Department of the «Ecological Design and Survey Institute» CJSC,
DSc (doctor of science in Biology), Moscow

Ключевые слова: экологический мониторинг; инженерно-экологические изыскания на море; подводная фотосъемка; подводная видеосъемка; подводный управляемый аппарат.

Аннотация: при планировании дампинга грунта, дноуглубительных работ, добычи полезных ископаемых, строительства портовых сооружений и дамб, а также многих других работ в морских акваториях требуется проводить описание донных сообществ живых организмов, а затем контролировать происходящие в них изменения. Согласно российским нормативным документам при выполнении инженерно-экологических изысканий в море необходимо составлять тематические картосхемы, содержащие информацию о распределении морской биоты (в частности, макробентоса) и ее уязвимости к основным видам антропогенных воздействий. Особенно важны исследования бентоса в связи с неизбежными нарушениями структуры и переотложением донных осадков при прокладке трубопроводов. В настоящей статье приведен обзор методов, применяющихся для оценки состояния донных сообществ живых организмов. Также описаны результаты идентификации элементов пространственной мозаики (картирования) в нескольких бухтах в заливе Петра Великого (Японское море), обнаруженных с использованием гидролокации бокового обзора. Отдельно акцентируется внимание на необходимости составления комплексных карт уязвимости природных экосистем и на использовании дистанционных методов исследований (подводной видеосъемки) участков дна, на которых ожидается наиболее существенное воздействие на макробентос.

Key words: ecological monitoring; engineering-ecological surveys in the sea; underwater photography; underwater video filming; controlled underwater vehicle.

Abstract: planning of soil dumping, dredging, mining, construction of port facilities and dams and other marine engineering works requires description and subsequent monitoring of benthic communities. According to Russian normative documents when carrying out marine engineering-ecological surveys it is necessary to construct theme maps containing information on distribution of marine biota (in particular macrobenthos) and its vulnerability to the main kinds of anthropogenic factors. Benthos research is especially important in connection with inevitable structural damage and redeposition of bottom sediments during pipeline laying. This article reviews current estimation methods of the state of benthic communities (methods of benthic habitat mapping). It also describes research results of benthic community mapping i.e. identification of spatial mosaic elements in several bays in the Peter the Great Bay (the Sea of Japan) revealed by a side-scanning sonar. Especial attention is paid to the necessity of construction of integrated maps of natural ecosystems sensitivity and to application of remote sensing methods (underwater video filming) for investigation of the bottom areas where the most significant influence on the macrobenthos is expected.

Введение

Для оценки структуры донных сообществ и происходящих в них изменений необходимо получить информацию о таких параметрах, как:

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

Основным методом изучения состава и структуры донных сообществ является количественная съемка, проводимая с помощью дночерпателей различных конструкций. Коробчатый или ковшовый дночерпатель позволяет вырезать и поднять со дна неповрежденный кусок осадка известной площади. Также для проведения количественной съемки могут использоваться мультикореры и гравитационные геологические трубки. На каждой точке (станции) отбирается от 3 до 10 проб. Определение плана размещения станций на исследуемой акватории и необходимого количества проб на каждой из них — достаточно сложная задача, так как точность оценки плотности и биомассы бентоса зависит от количества собранных проб и характера распределения видов в пространстве (регулярного, случайного, агрегированного).

Дополнительным методом для выявления видового разнообразия является качественная съемка с применением тралов и драг. Такие съемки могут быть стандартизированы по продолжительности их проведения и пройденному расстоянию, что позволяет сравнивать относительное обилие видов в разных районах.

Полнота изученности видового состава обычно рассчитывается при помощи кривой накопления видов, отражающей скорость приращения количества видов относительно изученной площади, или с использованием функций, описывающих соотношение «число видов — площадь — ошибка метода».

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 (характера пространственной структуры бентоса в сходных природных районах, ре-

зультатов предыдущих исследований и пр.) и корректировать схему отбора проб по результатам пилотных исследований.

Мозаичность распределения донных сообществ связана с такими факторами, как:

- неоднородность донных осадков;
- рельеф;
- гидрологический режим отдельных участков акватории;
- биотические взаимодействия.

Характерные размеры элементов пространственной мозаики (локальных сообществ) составляют в верхних отделах шельфа от 10^3 до 10^6 м² (то есть от одного до сотен гектаров) [8]. Если характер распределения сообществ заранее неизвестен, то при планировании сетки станций для отбора проб приходится, как и в случае с оценкой численности видов в однородном контуре, планировать заведомо больший объем работы, чем это необходимо для получения достоверных оценок всех параметров. В то же время для выяснения принадлежности сообщества на участке станции к тому или иному типу необходимо намного меньшее число проб (обычно трех-четыре дночерпательных проб оказывается достаточно). Значительно упрощают задачу знания о характере распределения осадков и однородностей подводных ландшафтов [9].

К современным методам изучения структуры донных сообществ относятся аэрофото- и спутниковая съемка, геофизические (сейсмоакустические) методы, а также подводные наблюдения с использованием фото- и видеосъемки. Получения наилучших результатов можно ожидать при совместном применении стандартизованных методов отбора проб и нескольких взаимодополняющих методов дистанционного исследования дна [10].

Аэрофото- и спутниковая съемка

Среди дистанционных методов в наземных исследованиях и исследованиях поверхности морей наиболее широко используется фотографирование в различных частях видимой и инфракрасной областей спектра. На протяжении десятилетий этот метод применяется для изучения и донных сообществ, и экосистем прибрежной зоны [11, 35, 36]. Аэрофото- и спутниковая съемка позволяют получать изображения поверхности Земли с различной разрешающей способностью в зависимости от характеристик аппаратуры. Использование спутниковых сним-

ков существенно облегчает исследование приливно-отливной зоны и верхних отделов сублиторали, позволяет определить общий характер ландшафта и даже пространственное распределение сообществ макрозообентоса [7].

Геофизические методы

Построение карт, основанных на геофизических характеристиках, — эффективный способ изучения структуры донных сообществ и их распределения в пространстве. Такие карты показывают интегрированные характеристики дна — комплекс «исторической» геологии, современных процессов осадконакопления, воздействия биотических факторов.

Применение геофизических методов для картографирования и изучения структуры донных сообществ началось в 1940-х годах [23]. Первые гидролокаторы бокового обзора (ГЛБО) производили сонограммы очень низкого разрешения, что позволяло выделять только большие и контрастные объекты, такие как затонувшие корабли.

В 1970–1980-х годах с развитием геофизических методов стало возможным получать сонограммы практически фотографического качества. Первые работы по практическому применению ГЛБО в бентосных исследованиях были начаты в середине 1990-х годов [23, 30, 33, 38, 40]. В нашей стране первые работы в этой области начались еще в конце 1970-х годов, но были приостановлены из-за технического несовершенства систем позиционирования суден и техники для записи акустических сигналов [15].

Появление систем спутникового позиционирования и цифровой записи акустических сигналов с последующей компьютерной обработкой данных открыли широкие возможности для использования гидролокатора бокового обзора для картирования донных сообществ.

В настоящее время для картографирования в биологических целях используются и многолучевые эхолоты [19, 21, 24, 26, 28, 31, 33], а также высокоразрешающие сейсмические системы, дающие представление о структуре вертикального разреза (до глубины 50 м в мягких осадках). Такие системы могут использоваться для картографирования сообществ инфавны. Однако их редко применяют исключительно в биологических целях, так как для биологов наибольший интерес обычно представляют верхние 15–20 см осадка, а эта информация может быть получена из данных гидролокации.

Гидролокация бокового обзора

В настоящее время гидролокаторы бокового обзора начали применяться для поиска и изучения различных биологических объектов — от отдельных отчетливых совокупностей организмов (мидиевых и устричных банок, коралловых рифов и пр.) [41] до полного картографирования «живого покрова» дна [25]. Используются они и в целях мониторинга изменений ландшафтов и биоты дна под влиянием хозяйственной деятельности [30]. Среди биологических объектов картографированию с помощью гидролокатора бокового обзора легче всего поддаются наиболее контрастные объекты.

Методология картографирования донных сообществ с применением ГЛБО основывается на следующих принципах:

- существует достаточно прочная связь между типом грунта и составом донного населения (на тип грунта влияют макрорельеф, течения, глубина);
- могут быть надежно привязаны контуры донных осадков, различающиеся по гранулометрическому составу;
- получаемый отраженный акустический сигнал характеризует не только тип грунта, но и состав донного населения, поскольку различные виды донных организмов и результаты их жизнедеятельности существенно влияют на микрорельеф поверхности осадка, меняя его акустические характеристики.

Таким образом, использование ГЛБО для картографирования донных сообществ представляется весьма перспективным. В настоящее время картографирование ненарушенных донных сообществ с помощью этого метода широко используется в мировой научной практике. Получение карт распределения отраженного акустического сигнала позволяет выявлять контуры с разной отражающей способностью поверхности. Планирование сетки станций для заправки выделенных контуров помогает намного сократить объем дночерпательных съемок. На следующем этапе составляют алгоритм биологического дешифрирования акустического сигнала. Точность и надежность его интерпретации определяется на основании количества обработанных ключевых участков, используемых для дешифрирования [4, 5].

Гидролокатор бокового обзора состоит из погружаемого в воду антенно-го комплекса, блока приема-передачи,

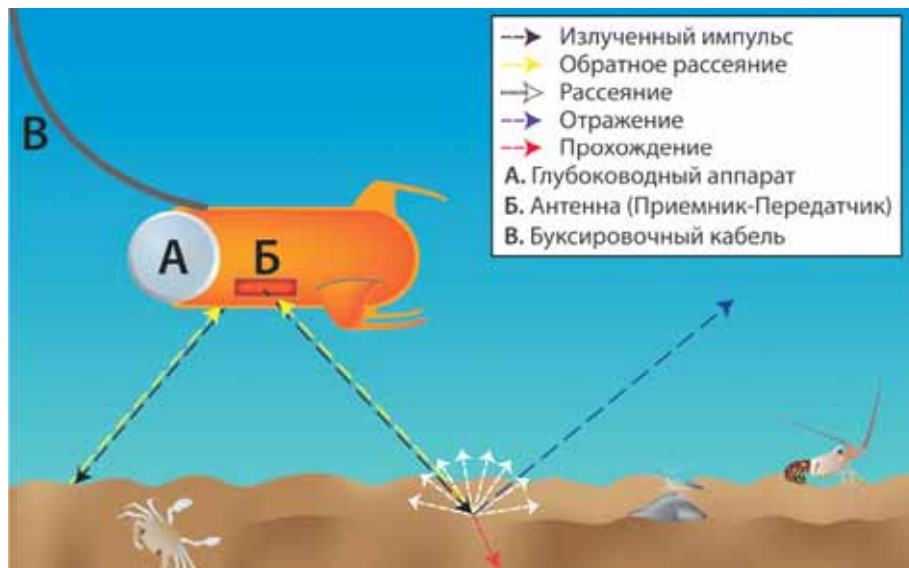


Рис. 1. Схема излучения и приема акустического сигнала

блока питания и компьютера, с помощью которого осуществляется регистрация данных [13]. Антенна гидролокатора состоит из источника упругих волн и приемника. В зависимости от модели антенна может быть одна (тогда в нее входят два комплекта источника-приемника для изучения дна как слева, так и справа по курсу) или две, причем каждая устанавливается на соответствующий борт корабля. Исследование дна акватории производится на ходу судна.

Акустическое изображение дна, или карта величин обратного рассеяния, формируется следующим образом. Под водой акустический импульс подобно лучу прожектора или радара посылается в сторону дна, приемник регистрирует величину обратного рассеяния, то есть энергию импульса, который отразился в сторону излучателя (источника) (рис. 1). Расстояние до объекта определяется как произведение скорости звука в воде на половину временного интервала между испусканием импульса и прибытием его эха.

Коэффициент рассеяния, то есть интенсивность принимаемого сигнала, зависит от типа объекта (грунта, предметов). Например, сигнал от заиленной поверхности будет слабее, чем от отмывтого песка. Рельеф дна также влияет на интенсивность обратного рассеяния: участки, ориентированные в сторону приемника, будут представлены на сонограмме более сильным сигналом. Количество энергии, вернувшейся к приемнику, зависит от угла падения луча: чем он ближе к вертикальному, тем выше величина обратного рассеяния.

Плотность донных осадков, шероховатость микрорельефа и угол паде-

ния — основные причины возникновения темных и светлых участков на сонограммах. По взаимному расположению тени и яркого отражения на сонограмме можно определить знак неоднородности рельефа, а по величине акустической тени — высоту лежащего на дне объекта или положительной неоднородности рельефа.

Поскольку основной задачей гидролокации является обнаружение биологических, геологических и геоморфологических объектов на морском дне, необходимо ввести понятие разрешающей способности — возможности отдельно воспринимать два близко находящихся объекта. Поперечная разрешающая способность зависит от ширины «озвучиваемой» вдоль движения судна области. Разрешение поперек профиля снижается по мере удаления от трека. Разрешение вдоль профиля зависит от ширины луча и скорости буксирования аппарата.

Подводная фото- и видеосъемка

Использование фото- и видеосъемки при исследованиях бентосных сообществ шельфовой зоны началось в 1950-х годах [2, 32, 34, 42, 43]. С усовершенствованием техники с 1990-х годов методы учета бентосных организмов с применением современной фото- и видеоаппаратуры [16, 22, 27, 37] стали приобретать все большую популярность в мировой практике гидробиологических исследований. Причины внедрения таких методик понятны и бесспорны:

- возможность работы на твердых субстратах;
- сохранение целостности учитываемых сообществ;

- охват больших площадей учета;
- значительное сокращение, а часто и исключение, весьма трудоемких водолазных работ, что особенно важно при работе на больших глубинах или в районах со сложной топографией дна и повышенной гидродинамикой.

Фото- и видеосъемка используются для решения нескольких задач:

- быстрого получения визуальной информации о характере дна, размерах и расположении отдельных фаций, оценке мезо- и микрорельефа, а также характере грунта изучаемого полигона;
- описания мелкомасштабной мозаики распределения отдельных видов и выявления характера распределения сообществ;
- проведения количественного учета крупных организмов, не улавливаемых количественными орудиями, такими как дночерпатель или бокс-корер;
- исследования сообщества твердых субстратов, на которых большинство гидробиологических орудий неприменимо или дает неудовлетворительные результаты [18, 39].

Применение методов фото- и видеосъемки наиболее эффективно при проведении качественного учета представителей макрозообентоса в глубоководных районах во время долгосрочного мониторинга изменений состояния сообществ и роста прикрепленных форм [20].

В зависимости от используемой методики фотосъемка может являться как качественным, так и количественным методом описания. В случае изучения количественных показателей фоточет чаще всего используется для изучения коралловых рифов и при подсчете покрытия площади водорослями.

В настоящее время разработано множество методов анализа фотографий с целью количественного учета донной фауны [3, 14, 17, 22].

Подводная фото- и видеосъемка может проводиться с рук во время водолазных погружений, а также для нее могут использоваться опускаемые рамы, погружаемые платформы, дистанционно и автоматически управляемые аппараты.

Съемка с рук во время водолазных погружений дает максимум степеней свободы: оператор по своему усмотрению может менять планы, переходя от макро-съемки к панорамной и обратно. Но это может являться и недостатком, так как постоянное изменение размера кад-

ра и угла съемки затрудняет формализацию данных для количественного учета. Данный метод наиболее пригоден для получения общей информации о распределении фаций и крупных форм бентоса на небольших (десятки — сотни квадратных метров) участках дна. Выполнение ландшафтной фотосъемки при помощи профессиональных водолазов в легком водолажном снаряжении является самым дорогим способом исследований.

Система из камеры в герметичном подводном боксе вместе с внешним освещением может быть прикреплена на *опускаемую под воду раму*. Когда рама опускается на дно, она сдвигается вместе с судном. Камера может неподвижно крепиться к раме или быть управляемой, что позволяет менять угол съемки. Фото- или видеокамера может быть прикреплена также к *дночерпателям или мультикорерам*. Это делается для прицельного пробоотбора, например при работе на метановых сипах и в местах разгрузки углеводородов, когда принципиален отбор образцов с небольшой площади. *Стационарные рамы или штативы, установленные на дне*, позволяют проводить долгосрочные наблюдения за одним и тем же участком дна, изучать динамику отдельных организмов или их групп, изменение конфигурации агрегаций животных или растений на протяжении длительного времени [4].

Погружаемые платформы (буксируемые сани) с бортовой 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. Недостаток метода состоит в том, что съемка производится «вслепую»: невозможно предсказать появление в кадре интересного объекта и вернуться к нему для более детального осмотра.

Дистанционно управляемые подводные аппараты (ДУПА) лишены этого недостатка. Они позволяют проходить трансекты разной длины и конфигурации и менять режимы съемок от макро- до панорамных. Ограничения по глубине и протяженности трансект определяются техническими характеристиками аппаратов. В последние годы именно этот тип аппаратов все шире применяется в гидробиологических исследованиях на самых разных глубинах. ДУПА 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 — 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. Достаточно крупные аппараты могут нести несколько камер с различными углами обзора и дополнительные СТД-датчики (СТД — conductivity, temperature, depth — электропроводность, температура, глубина) или физико-химические сенсоры.

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 СТД-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.

Подытоживая вышесказанное, следует отметить, что использование современных дистанционных методов для изучения структуры донных сообществ имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами исследования — оперативность получения информации, точность получае-

мой батиметрической карты и контуров однородностей (по результатам исследований с применением гидролокатора) и др.

Применение комплексного подхода к изучению донных сообществ, представляющего собой совокупность традиционных и дистанционных методов исследования, позволяет получать более точные результаты с более высоким уровнем достоверности, чем при водолазных и дночерпательных сборах по сетке станций.

Применение дистанционных методов дает возможность эффективно осуществлять мониторинг состояния донных сообществ.

При исследовании прибрежной зоны до глубины в десятки или первые сотни метров наиболее продуктивным кажется сочетание всех методов дистанционных исследований:

- спутниковой фотографии литорали и самых верхних отделов сублиторали до глубины 5–10 м, возможно 15 м;
- картирования с помощью ГЛБО для глубин от 5–7 м;
- видеосъемки и фотографирования отдельных участков дна.

Использование традиционных методик исследования донных экосистем при этом остается необходимым этапом для калибровки дистанционных данных и проверки гипотез, создаваемых на основе дистанционных исследований.

Практическое применение гидролокации бокового обзора и подводной фото- и видеосъемки при исследовании донных ландшафтов в заливе Петра Великого

Примером совмещения нескольких видов дистанционных методов может служить выполненное в 2014 году обследование прибрежной части акватории в Южном Приморье. Основной целью этой работы являлась идентификация элементов пространственной мозаики в нескольких бухтах в заливе Петра Великого (Японское море), выявленных по результатам исследований при помощи ГЛБО. Такая задача может рассматриваться как традиционная при первичном обследовании акватории до проведения подробной бентосной съемки.

Идентификация целей, выявленных по результатам обследования ГЛБО, производилась с использованием телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) в соответствии с

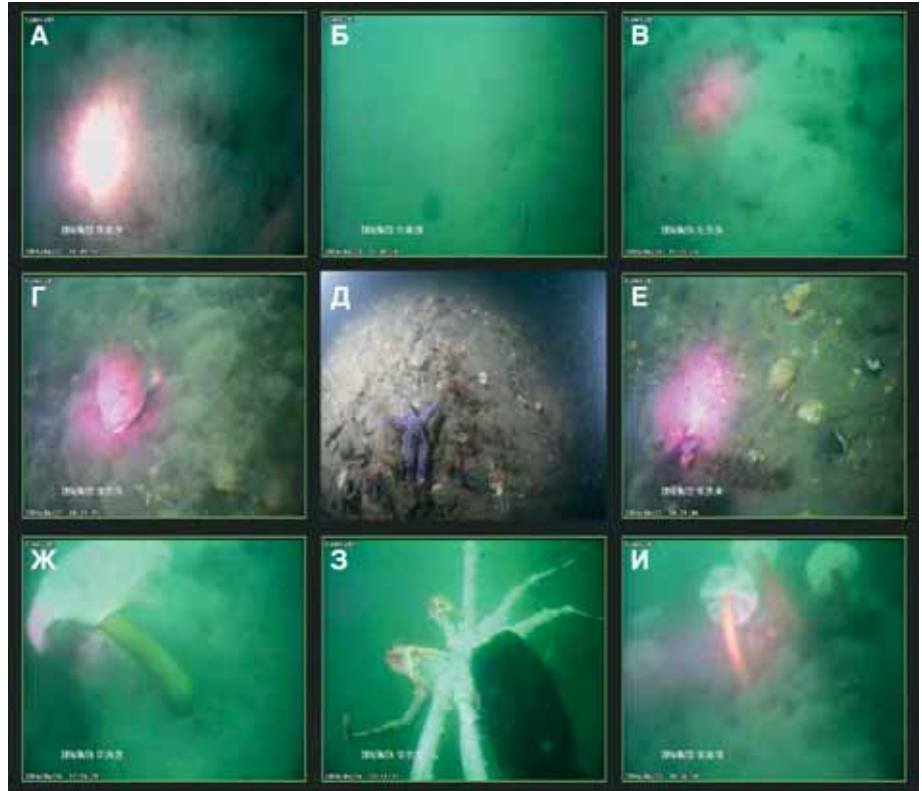


Рис. 2. Снимки участков дна на станциях обследования: А — общий вид ретины на глубине 34 м (в луче света хорошо видны офиуры и трубки полихет); Б — метагаст с редкими отверстиями на глубине 35 м (видны тонкие трубки полихет диаметром 2–5 мм); В — общий вид веррукоида на глубине 35 м (видны отдельные асцидии, на дне — офиуры); Г — скатебра на глубине 17 м (видна лежка бычка); Д — конхий на глубине 15 м (видна заиленная ракуша, покрывающая дно); Е — песчано-илистая скатебра на глубине 17 м (виден дальневосточный трепанг); Ж — актиния *Metridium* на дне на глубине 34 м; З — камчатский краб, вынутый из крабовой ловушки на глубине 29 м; И — группа актиний *Metridium* в иле на глубине 34 м

требованиями СП 47.1330.2012 или водолазного обследования.

Первичный осмотр проводился с использованием ТНПА микрокласса или (в большинстве случаев) во время водолазных погружений. В ходе всех осмотров (водолазных и с использованием ТНПА) осуществлялась видеосъемка. В ходе исследований были проведены осмотры на глубинах от 0 до 35 м.

При описании донных ландшафтов применялся набор методов и подходов, разработанный Б.В. Преображенским с соавторами [12]. Для обозначения пространственных единиц подводных комплексов (донных ландшафтов в понимании Б.В. Преображенского) были использованы классификация и терминология, предложенные в атласе [1].

На глубине от 15 до 35 м был обнаружен ландшафт, описанный как *рети́на* (рис. 2, А), представляющий собой илистую равнину с минимальными следами биотурбации, редкими полыми всхолмлениями амплитудой в несколько сантиметров. Дно здесь сложено пластичным алеврито-пелитовым илом зеленовато-серого, серого или

темно-серого цвета и покрыто наилком, представляющим собой подвижный сильно гидратированный илистый осадок. На поверхности осадка часто отмечаются тонкие трубочки полихет, образующие щетки высотой до 5 см. Макробентос не разнообразен и представлен отдельными асцидиями, крупными морскими звездами, крупными актиниями *Metridium*. Доминирующим по плотности поселения видом являются офиуры. Данный тип подводного ландшафта является преобладающим на площадке исследований.

На глубине от 15 до 20 м встречен ландшафт переходного типа, описанный как *метагаст* (рис. 2, Б). Для него характерна умеренная степень биотурбации в виде различных курганчиков, отверстий в грунте (норок) и биоглифов. Грунт представлен мелкопесчаным алеврито-пелитом. Практически отсутствуют (или присутствуют фрагментарно) раковинная дресва и целые створки моллюсков. Зообентос представлен морскими звездами, отдельными кукумариями и трепангами, отдельными друзьями мидий, крабами. Количество макрофитов незначительно,

присутствуют приносимые течениями обрывки водорослей и морских трав (зостеры). На грунте периодически встречаются лежки камбал, бычков. Наилкок выражен в меньшей степени (его слой тоньше и менее рыхлый), чем в предыдущем типе ландшафта.

В единичных случаях обнаружен тип ландшафта *веррукоид* (рис. 2, В) в чистом виде. Для него характерны равномерно распределенные друзы пурпурной асцидии и ее одиночные экземпляры. Данный тип ландшафта также является переходным и оконтуривает ретину при переходе к более мелководным зонам.

На глубине от 7 до 20 м наиболее часто встречается ландшафт, описанный как *скатебра* (рис. 2, Г). Характерный для него рельеф является плоским, осложненным многочисленными следами жизнедеятельности животных. Он приурочен к песчано-алевритово-илистым грунтам с большим содержанием раковинного детрита и зачастую является переходящим в другой тип ландшафта — конхий. Зачастую присутствуют скопления анфельции, также встречаются друзы мидий с прикрепленными к ним асцидиями, встречаются одиночные трепанги, кукумарии, крабы, раки-отшельники. Наилкок выражен слабо.

На глубине от 8 до 16 м (в отдельных случаях глубже) дно сложено ракушей и ракушей со щебнем. Данный тип ландшафта описан как *конхий* (рис. 2, Д). В промежутках между фрагментами обломочного материала может залегать более мягкий осадок — ил или заиленный песок. Встречаются отдельные друзы мидий, иногда к створкам раковин прикреплены пурпурные и булгорчатые асцидии. В наиболее мелководных участках на отдельных створках зафиксированы бурые и багряные водоросли.

Более мелководные типы ландшафта, ассоциированные с твердыми грунтами (валунный пояс, обломки скальных пород), в мористой части полигона исследования авторами отмечены не были. В объектив телеуправляемого

подводного аппарата попадались отдельные представители местной фауны (рис. 2, Е–И).

Полученные результаты позволяют составить представление о распределении донных подводных комплексов, степени их пространственной неоднородности и ожидаемом разнообразии донной фауны. На основании этих материалов в дальнейшем может быть разработан более детальный план комплексного исследования донных сообществ, включающий в себя схему расположения станций отбора проб.

Заключение

Современные подходы к изучению донных сообществ должны базироваться на совмещении традиционных методов отбора донных проб для качественных и количественных исследований и арсенала дистанционных методов, позволяющих, с одной стороны, существенно ускорить и облегчить процесс картографирования протяженных площадей, а с другой — повысить точность пространственной привязки данных [9, 10]. Совмещение прямых и дистанционных методов позволяет, таким образом, снизить трудозатраты и одновременно увеличить точность описания донных сообществ, их пространственного размещения и внутренней неоднородности.

Оптимальным является совмещение нескольких групп методов — традиционного пробоотбора, акустического исследования, видеосъемки по трансектам и фотографирования отдельных объектов или участков дна.

Использование гидролокатора бокового обзора дает возможность точного оконтуривания площадей отдельных выделов, их увязки друг с другом и определения пространственной неоднородности исследуемого полигона. Непрерывная фото- или видеосъемка позволяет изучать пространственную неоднородность более детально, с выявлением особенностей пространственного размещения характерных элементов подводных ландшафтов и даже отдельных объектов животного мира (мегабентоса). Фотосъемка помогает на-

глядно документировать основные элементы неоднородности донных фаций, а также может быть использована для анализа микромасштабного (в пределах 1 м² и менее) распределения отдельных организмов или их групп. Последовательная фотосъемка одного и того же участка дна с использованием стационарного подводного штатива обеспечивает получение дополнительной информации об изменениях объекта во времени (изменений численности, пространственного размещения вида, скорости роста отдельных особей и др.).

Хотя применение спутниковых методов и аэрофотосъемки ограничено глубиной (особенно в высоких широтах), они позволяют получать пространственно распределенную и точно привязанную информацию об объектах, находящихся на очень малых глубинах и из-за этого недоступных для гидролокационных методов. В пределах приливно-отливной зоны и выше по профилю спутниковые и аэрофотографии могут выступать в качестве основного источника информации о пространственном размещении фаций прибрежного ландшафта.

Задача количественных и качественных исследований проб, отобранных традиционными методами с помощью соответствующих орудий сбора, — это заверка полученной дистанционной информации. Кроме того, именно эти исследования являются основным источником данных о точном видовом составе донных комплексов, видовом разнообразии и количественных характеристиках биоты. Данные о полном видовом разнообразии донного ландшафта в целом или его отдельных выделов могут быть получены только путем отбора проб.

Совмещение разных методов [9, 10] позволяет достаточно полно охарактеризовать донные подводные комплексы в любом заданном диапазоне глубин и представить полученные данные в наиболее удобном формате — в виде карты или набора карт.

Статья принята к публикации 12 мая 2014 г.

Список литературы

1. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. М.: Наука, 1990. 223 с.
2. Зенкевич Н.Л. Фотокамеры для съемки дна на больших глубинах // Труды Института океанологии АН СССР. 1960. № 44. С. 66–80.
3. Исаченко А.И., Горин С.А., Цетлин А.Б., Мокиевский В.О. Применение фотосъемки для изучения структуры донных сообществ // Труды Беломорской биостанции МГУ. Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов. М.: КМК, 2012. С. 74–87.
4. Исаченко А.И., Мокиевский В.О. Моллюск-долгожитель // Природа. 2013. № 2. С. 84–86.
5. Исаченко А.И., Цетлин А.Б., Мокиевский В.О. Структура поселения *Arctica islandica* в акватории губы Ругозерская (Белое море) и ее многолетняя динамика // Зоологический журнал. 2013. Т. 92. № 2. С. 1–11.

6. Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов // Труды Беломорской биостанции МГУ. М.: КМК, 2012. 173 с.
7. Макаров А.В., Спиридонов В.А. Морские травы: взгляд из космоса // Природа. 2013. № 2. С. 91–94.
8. Мокиевский В.О. Морские резерваты — теоретические предпосылки к созданию и функционированию // Биология моря. 2009. Т. 35. № 6. С. 350–459.
9. Мокиевский В.О., Будаева Н.Е., Цетлин А.Б. Сообщества бентоса на модельном полигоне по данным дночерпательных съемок // Труды Беломорской биостанции МГУ. Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов. М.: КМК, 2012. С. 41–63.
10. Мокиевский В.О., Спиридонов В.А., Токарев М.Ю., Добрынин Д.В. Современные дистанционные методы в изучении морских донных сообществ и ландшафтов прибрежной зоны // Труды Беломорской биостанции МГУ. Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов. М.: КМК, 2012. С. 6–21.
11. Петров К.М. Подводные ландшафты: теория, методы исследования. Л.: Наука, 1989. 128 с.
12. Преображенский Б.В., Жариков В.В., Дубейковский Л.В. Основы подводного ландшафтоведения. Владивосток: Дальнаука, 2000. 351 с.
13. Скняря А.В. Гидролокация. М.: Изд-во МГУ, 2010. 119 с.
14. Ткаченко К.С. Использование видео- и фотометодов в гидробиологических исследованиях // Биология моря. 2005. № 31 (2). С. 142–147.
15. Токарев М.Ю., Мокиевский В.О., Цетлин А.Б., Спиридонов В.А., Сафонов М.В. Междисциплинарные съемки донных ландшафтов // Наука и промышленность. 2002. № 9. С. 9–12.
16. Шапков А.Л., Оленин С.Н. Применение дистанционной подводной видеосъемки для количественного анализа признаков донных биотопов и их идентификации // Труды Беломорской биостанции МГУ. Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов. М.: КМК, 2012. С. 64–73.
17. Bernhardt S.P., Griffing L.R. An evaluation of image analysis at benthic sites based on color segmentation // Bulletin of Marine Science. 2001. № 69 (2). P. 639–653.
18. Bohnsack J.A. Photographic quantitative sampling of hardbottom benthic communities // Bulletin of Marine Science. 1979. № 29 (2). P. 242–252.
19. Burns D., Queen C.B., Chivers R.C. An ultrasonic signal processor for use in underwater acoustics // Ultrasonics. 1985. № 23. P. 189–191.
20. Carleton J.H., Done T.J. Quantitative video sampling of coral reef benthos: large-scale application // Coral Reefs. 1995. № 14 (1). P. 35–46.
21. Chivers R.C., Emerson N., Burns D. New acoustic processing for underwater surveying // Hydrographic Journal. 1990. № 42. P. 8–17.
22. Dumas P., Bertaud A., Peignon C., Leopold M., Pelletier D. A «quick and clean» photographic method for the description of coral reef habitats // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2009. № 368 (2). P. 161–168.
23. Fish J.P., Carr A.H. Sound underwater images: a guide to the generation and interpretation of side-scan sonar data. Orleans, MA, USA: American Underwater Search and Surveys Ltd, Lower Cape Publishing Co, 1990. 189 p.
24. Foster-Smith R., Gilliland P. Mapping the seabed // CoastNET. 1997. № 2. P. 1.
25. Freitas R., Silva S., Quintino V., Rodrigues A.M., Rhynas K., Collins W.T. Acoustic seabed classification of marine habitats: studies in the western coastal-shelf area of Portugal // ICES Journal of Marine Science. 2003. № 60 (3). P. 599–608.
26. Greenstreet S.P.R., Tuck I.D., Grewar N.G., Armstrong E., Reid D.G., Wright P.J. An assessment of the acoustic survey technique, RoxAnn, as a means of mapping sea-bed habitat // ICES Journal of Marine Science. 1996. № 54. P. 939–959.
27. Hill J., Wilkinson C. Methods for ecological monitoring of coral reefs. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science, 2004. 117 p.
28. Hughes Clarke J.E. Detecting small seabed targets using high-frequency multibeam sonar // Sea Technology. 1998. № 6. P. 87–90.
29. Kendrick G.A., Marbá N., Duarte C.M. Modelling formation of complex topography by the seagrass *Posidonia oceanica* // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2005. № 65. P. 717–725.
30. Kenny A.J. A biological and habitat assessment of the sea-bed off Hastings, southern England / ICES Council Meeting Papers, CM. 1998. E. 5. P. 63–83.
31. Loncarevic B.D., Courtney R.C., Fader G.B.J., Piper D.J.W., Costello G., Hughes Clarke J.E., Stea R.R. Sonography of a glaciated continental shelf // Geology. 1994. № 22. P. 747–750.
32. Lundalv T. Quantitative studies on rocky-bottom biocoenoses by underwater photogrammetry. A methodical study // Thalassia Jugoslavica. 1971. № 7 (1). P. 201–208.
33. Magorrian B.H., Service M., Clarke W. An acoustic bottom classification survey of Strangford Lough, Northern Ireland // Journal of The Marine Biological Association of The United Kingdom. 1995. № 75. P. 987–992.
34. McIntyre A.D., Eleftheriou A. Methods for the study of marine benthos / Ed. by A. Eleftheriou. Blackwell, Oxford, UK: Blackwell Science, 2005. 418 p.
35. Mumby P.J., Green E.P., Edwards A.J., Clark C.D. Coral reef habitat mapping: how much detail can remote sensing provide? // Marine Biology. 1997. № 130. P. 193–202.
36. Myers M.R., Hardy J.T., Mazel H., Dustan P. Optical spectra and pigmentation of Caribbean reef corals and macroalgae // Coral Reefs. 1999. № 18 (2). P. 179–186.
37. Pech D., Condal A.R., Bourget E., Ardisson P.-L. Abundance estimation of rocky shore invertebrates at small spatial scale by high-resolution digital photography and digital image analysis // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2004. № 299 (2). P. 185–199.
38. Powell E.N., Song J., Ellis M.S., Wilson-Ormond E.A. The status and long-term trends of oyster reefs in Galveston Bay, Texas // Journal of Shellfish Research. 1995. № 14. P. 439–457.
39. Reed S.A. Sampling and transecting techniques on tropical reef substrates / Environmental Survey Techniques for Coastal Water Assessment: Conference Proceedings. Cooperative report UNIHI-SEA-GRANT-CR-80-01. Honolulu, Hawai'i: University of Hawaii Sea Grant College Program, 1980. P. 71–89.
40. Rhoads D.C., Muramoto J.A., Ward R. A review of sensors appropriate for assessment of submerged coastal habitats and biological resources: technical report EL-96-10. Washington, DC, USA: The United States Army Corps of Engineers (USACE), 1996.
41. Smith G.F., Bruce D.G., Roach E.B. Remote acoustic habitat assessment techniques used to characterize the quality and extent of oyster bottom in the Chesapeake Bay // Marine Geodesy. 2001. № 24. P. 171–189.
42. Vevers H.G. A photographic survey of certain areas of sea floor near Plymouth // J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 1952. № 31. P. 215–221.
43. Vevers H.G. Photography of the sea floor // Journal of The Marine Biological Association of The United Kingdom. 1951. № 30. P. 10–112.