

ЛИТЕРАТУРА

1. Криволапов Г.И., Криволапов Т.Г., Малашенко А.Е. Способ определения дистанции в гидроакустической сети: Пат. 2248586 Российская Федерация, МПК G01S 15/80. №2003119994/09; заявл. 01.07.2003; опубл. 20.03.2005, Бюл. № 8.

2. Перунов В.В., Малашенко А.Е., Филимонов В.И., Рожков В.С. Автономная донная сейсмическая станция: Пат. 49286 Российская Федерация, МПК G01V 1/38. №20035111413/22; заявл. 18.04.2005; опубл. 10.11.2005, Бюл. № 31.

3. Малашенко А.Е., Филимонов В.И., Перунов В.В., Рожков В.С. Многофункциональная гидрофизическая автономная станция: Пат. 50299 Российская Федерация, МПК G01F 1/100. №200119704/22; заявл. 24.06.2005; опубл. 27.12.2005, Бюл. № 36.

4. Малашенко А.Е., Филимонов В.И., Перунов В.В., Рожков В.С. Автономная позиционная гидрофизическая станция: Пат. 61430 Российская федерация, МПК G01N 33/00. № 2005138528/22; заявл. 09.12.2005; опубл. 27.02.2007, Бюл. № 6.

5. Малашенко А.Е., Малашенко А.А., Деревнин В.А., Леоненков Р.В., Сохатюк М.Ю. Аппаратура передачи данных гидрофизической информации с помощью системы спутниковой связи: Пат. 75117 Российская Федерация, МПК H04B 1/00. № 2007109628/22; заявл. 15.03.2007; опубл. 20.07.2008, Бюл. № 20.

УДК 574.58 - 574.5.08

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДОННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ И СООБЩЕСТВ ЖИВОТНЫХ ПО ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯМ С ПОДВОДНОГО АППАРАТА

В.И. Дулепов, Н.Н. Лелюх,
О.А. Кочеткова, А.Н. Кравченко

Институт проблем морских
технологий ДВО РАН, Владивосток¹

Обсуждаются вопросы мониторинга донных экологических систем с использованием подводных аппаратов. На примере конкретных исследований предлагаются методы сбора, обработки и анализа информации. Разработана информационная система для первичной обработки фотоизображений, формирования базы данных, статистической обработки и представления полученной информации.

■ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время экологическим исследованиям морских экосистем уделяется большое внимание. Они, как правило, связаны с мониторингом экологического состояния экосистем и установлением биологических закономерностей их функционирования, а также с исследованием антропогенного влияния на эти процессы. При исследовании экосистем в первую очередь изучаются такие количественные показатели, как динамика численности, биомассы, продукции массовых видов гидробионтов, а также основных гидрохимических, гидрофизических факторов. Эти данные получают в течение годовых и сезонных наблюдений, используя традиционные методы гидробиологических исследований, которые обычно трудоемки, а сбор и обработка собранного материала занимает много времени. Ряд определенных задач в этом процессе можно решить, исполь-

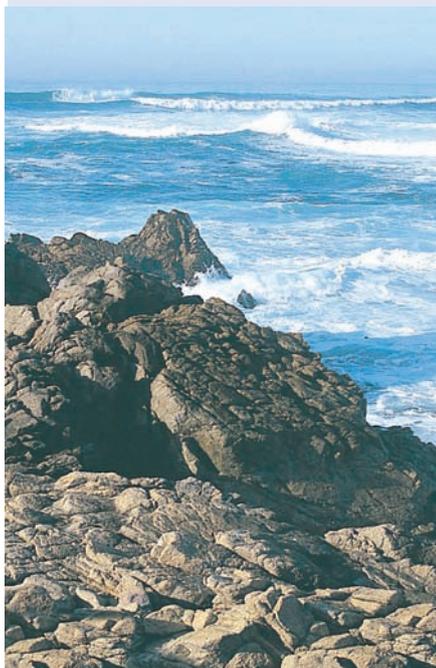
зуя современные методы сбора информации с помощью подводных технических средств и методов автоматизированной обработки этих данных. Одним из таких методов является использование цветных фото снимков донных сообществ, сделанных с помощью подводных роботов, для анализа их экологического состояния. Как правило, исследуются наиболее массовые и хорошо различимые на фотоизображениях виды гидробионтов.

■ МЕТОДЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

*Методика оценки
количественных
характеристик популяций
и сообществ гидробионтов*

Для оценки количественных характеристик популяций гидробионтов (экосистем),

¹ 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а, тел.: (4232)433059, e-mail:dulepov@marine.febras.ru



таких как численность, биомасса видов на определенной площади, их распределение и запасы, применяются эмпирические методы, связанные с различными вариантами сбора гидробионтов, а также расчетные методы с учетом определенных экологических параметров конкретных популяций. Использование для оценки плотности поселения и численности бентоса данных, полученных в результате анализа фотоизображений с подводного аппарата, позволяет ограничиться двумя подходами, основанными на предположении относительно равномерного распределения животных по исследуемой акватории и агрегированного распределения, связанного с различными типами биотопов или особенностями экологии видов.

Для использования второго способа необходимы предварительные исследования с целью выделения характерных биотопов или однородных участков и оценка их площадей, что не всегда возможно при бонитировочных исследованиях и, наоборот, целесообразно при регулярных сезонных съемках. Поэтому часто при разовых бонитировочных гидробиологических исследованиях на карту водоема накладывают равномерную сетку станций и обрабатывают данные как единую выборку. Имея такие предварительные данные, можно планировать исследование сезонной динамики гидробиологических показателей на характерных участках. В статистических исследованиях такие подходы при сборе проб характеризуются как равномерный и рандомизированный. При рандомизированном способе определения численности и биомассы видов на изучаемом участке акватории при наименьших затратах усилий (меньшем количестве проб) достигается большая точность в определении анализируемых показателей. Иссле-

дования и расчеты проводятся для каждого биотопа отдельно, а средние величины для всей акватории определяются как средневзвешенные площадью биотопов.

При исследовании донных сообществ с помощью подводного аппарата равномерная сетка наблюдений достигается при движении аппарата галсами с постоянной скоростью и фотосъемкой через определенное время. Полученные фотоизображения характеризуются координатами, глубиной, высотой аппарата над дном и масштабной линейкой для определения места, площади фотосъемки, количества и размеров каждой особи. Для последующего статистического анализа количество особей, как принято в гидробиологии, пересчитывается на 1 м^2 с учетом площади фотосъемки. Нормированные таким образом данные используются для определения средней плотности поселения вида на 1 м^2 . Данные всех фотосъемок в определенный период времени рассматриваются как единая выборка и применяются соответствующие статистические методы. Как правило, статистические распределения количества особей на единицу площади хорошо описываются нормальным распределением или логарифмически нормальным распределением, реже некоторым другим распределением. После проверки на вид распределения определяются их статистики: средняя, дисперсия, стандартное отклонение, ошибка к средней и т.д.

Если обозначить x_i как количество особей на 1 м^2 какого-либо вида в i -м кадре, то статистика распределения определяется по известным формулам:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i; S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1};$$

$$\sigma = \sqrt{S^2},$$

где \bar{x} - среднее значение количества особей на 1 м^2 , рассчитанное по всем i кадрам; S^2 - дисперсия; σ - среднее квадратическое отклонение; N - объем выборки (количество кадров).

Стандартная ошибка к среднему значению равна $m = \sigma / \sqrt{N}$. Она зависит от объема выборки и для уровня значимости 95% приблизительно равна $m \approx 2\sigma / \sqrt{N}$. Если в результате предварительных исследований есть оценка σ , то можно по предыдущему уравнению определить количество фотосъемок N , необходимых для определения с заданной точностью значений \bar{x} :

$$N = \sqrt{2\sigma / m}.$$

Здесь мы можем задавать точность определения x в процентах. Если, например, точность v равна 10% от среднего значения: $v\% = m / \bar{x} \cdot 100\% = 10\%$, то тогда $m = \bar{x} \cdot 0,1$.

Но все эти формулы хорошо работают только для нормального распределения или близкого к нормальному. Если выборки хорошо описываются логарифмически нормальным распределением, то исходные данные необходимо прологарифмировать, а при наличии нулевых выборок - сдвинуть их на единицу вправо.

Если мы имеем предварительные наблюдения по исследуемой акватории, то можно провести расслоенный отбор. Он обеспечивает более высокую точность результатов выборочного обследования, чем простой случайный или равномерный отбор, при одинаковом объеме выборки N . Таким образом, цель заключается в том, чтобы расслоить совокупность (в нашем случае дно акватории), чтобы получить большую точность оценки средней плотности поселения вида по сравнению с простым случайным отбором.

При изучении распределения бентосных животных, как правило, основным фактором, влияющим на количественную характеристику животных, за исключением глубины, является тип грунта: илистый, песчаный, галечный, валунный и т.п. или их комбинации. Поэтому всю акваторию целесообразно разбить на зоны j со сравнительно однородным типом грунта и соответствующей площадью S_j . Тогда все предыдущие выкладки применяются для каждой зоны отдельно и определяются статистики и необходимые объемы выборок (количество фотоизображений) с одинаковой точностью, например, 5 % или 10 %.

Среднее значение плотности поселения для всего водоема будет равно:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^K \bar{x}_j \cdot S_j}{\sum_{j=1}^K S_j},$$

где \bar{x}_j - среднее значение плотности поселения вида для зоны j ; S_j - площадь зоны j ; K - количество зон; $\sum_{j=1}^K S_j$ - площадь дна акватории. Общий объем выборки будет равен $N = \sum_{j=1}^K n_j$, где n_j - объем выборки (количество фотоизображений) в зоне j .

Дисперсию к среднему значению \bar{x} для всей акватории можно определить напрямую по всем данным:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{(N - 1)},$$

где x_i - плотность поселения по данным i -го фотоизображения; \bar{x} - среднее значение плотности поселения вида для всей акватории; N - общее количество всех наблюдений по всем зонам ($\sum_{j=1}^K N_j$).

Эту же величину можно определить другим способом, если имеются средние значения плотности поселения вида \bar{x}_j для каждой зоны j , их дисперсии σ_j^2 и соответственно объемы выборок n_j .

В данном случае общая дисперсия будет равна сумме дисперсий внутри зон и между зонами и определяется как $\sigma^2 = \bar{\sigma}^2 + D^2$. Здесь

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{\sum_{j=1}^K \sigma_j^2 \cdot n_j}{N}, \quad D^2 = \frac{\sum (\bar{x}_j - \bar{x})^2}{N},$$

где K - количество зон; σ_j^2 - дисперсия плотности поселения вида в зоне j ; n_j - объем выборки в зоне j ; N - общий объем выборки (фотоизображений) в акватории; \bar{x}_j - среднее значение плотности поселения вида в зоне j .

Рассчитав общую дисперсию плотности поселения вида для всей акватории, можно определить ошибку к среднему значению плотности поселения \bar{x} :

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}.$$

Для вероятности 95% доверительные интервалы для среднего значения плотности поселения вида при достаточном объеме выборки ($N > 50$) будут приблизительно равны $\bar{x} \pm 1,96 \cdot m$, или округленно $\bar{x} \pm 2 \cdot m$.

Биомасса каждого вида из исследуемых животных определяется расчетным способом. По имеющейся в кадре специальной световой масштабной линейке (сетке) измеряется размер каждой особи, а затем по известной зависимости между размерами и массой тела, которая хорошо описывается степенной зависимостью, определяется масса животного:

$$W_2 = a \cdot L_{см}^b,$$

где a, b - параметры; W_2 - масса тела в граммах; $L_{см}$ - размер тела в см.

Затем по сумме массы всех особей для фотокадра и пересчете на 1м^2 определяется биомасса конкретного вида. При расчете средней биомассы и дисперсии для всей акватории статистики определяются по выше изложенному методу - как и для плотности поселения.

Оценка продукции для исследуемого периода, а также возможная годовая продукция вида проводятся с использованием методик с учетом имеющихся конкретных данных по плотности поселения и биомассе. Если изучаемый вид имеет многовозрастную структуру, то логично предположить, что его численность в динамике колеблется вокруг определенного значения и возрастает в период размножения, а затем снижается за счет естественной убыли. Биомасса же многовозрастной популяции имеет более стабильную динамику, и по ее оценке можно приблизительно определить годовую продукцию:

$$P = C \cdot B \cdot 365,$$

где C - суточная удельная продукция; B - средняя биомасса на 1м^2 .

Обработка и анализ фотоизображений

Визуальный анализ фотоснимков является достаточно трудоемким процессом. Для удобства обработки фотоизображений, систематизации большого объема информации и наполнения базы данных разработан специальный пользовательский интерфейс IMReader.

Программа IMReader позволяет прежде всего извлекать информацию из файлов, полученных с подводного аппарата, и заносить их в специализированную базу данных. Предусмотрены как ручное внесение информации из отдельных файлов в базу, так и

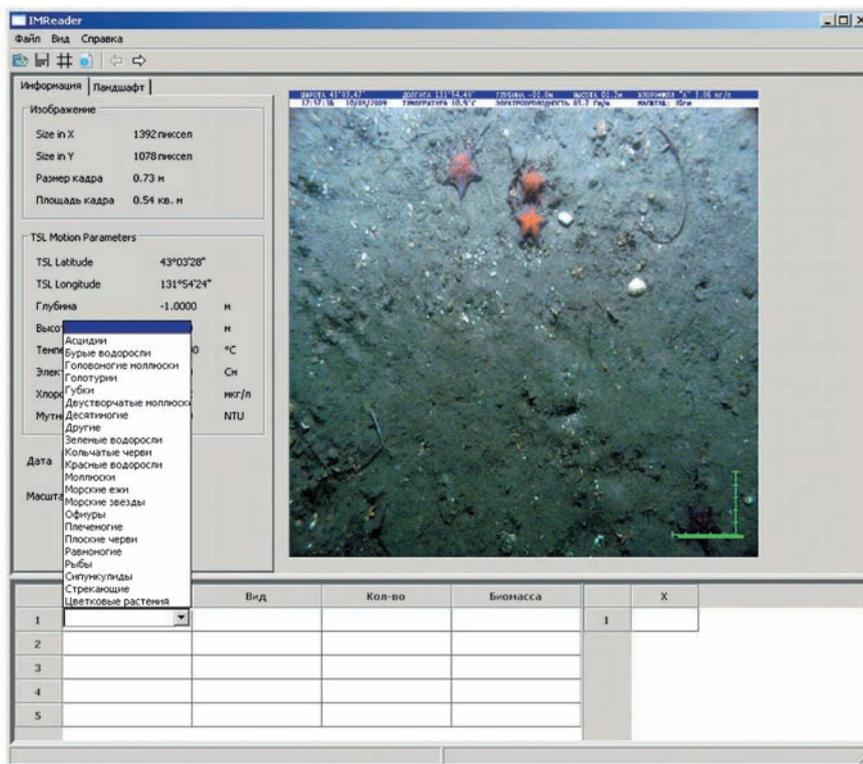


Рис. 1. Главное окно программы

автоматическая обработка каталогов. Полученные данные отображаются на экране (рис.1) и включают в себя:

- фотоизображения морского дна,
- параметры съемки (время съемки; размеры снимка в пикселах; площадь, охваченную снимком; координаты места съемки; глубину; высоту зависания аппарата над грунтом),
- показания датчиков (температуру; электропроводность; концентрацию хлорофилла «а»; мутность);
- меню для внесения в базу данных качественной и количественной информации по макробентосу и донным ландшафтам.
- База данных содержит следующие таблицы:
 - таблица для хранения данных о координатах, времени съемки и т.д., полученных из входного файла;
 - таблица данных о количестве особей определенного вида на снимке;

- таблица данных о размерах особей;
- таблица, содержащая перечень групп видов;
- таблица перечня видов;
- таблица типов ландшафтов.

На начальном этапе исследователь выбирает из имеющегося в программе списка видов и групп обнаруженный объект и определяет его линейный размер. Для этого в программе предусмотрено наложение на кадр специальной световой масштабной сетки (линейки), рисующейся поверх снимка и позволяющей определять размер обнаруженного в кадре гидробионта. Если в кадре находятся организмы, не включенные в список, то имеется возможность добавить их в таблицу данных, введя характеристики вручную. Пользователь вводит данные по бентосу (класс, вид, размеры) в таблицу в нижней части окна.

После определения всех биообъектов, встреченных в кадре, и определения их раз-

меров данные для каждого изображения сохраняются в базе данных. При повторном просмотре проанализированных изображений на экран вместе с изображениями выводятся ранее определенные параметры. Это дает возможность контролировать качество обработки изображений и вносить дополнительную информацию.

Информация о количестве и размерах объектов в кадре позволяет рассчитать не только плотность распределения гидробионтов, но и их биомассу на основе вычисленных зависимостей между размером и массой. Для этих целей имеется таблица параметров степенного уравнения для исследуемых видов или систематических групп. Значение биомассы рассчитывается после сохранения данных в базу.

В программе присутствует

- возможность выборки данных:
- за указанный период времени,
 - по координатам,
 - по глубинам.

Выборку можно осуществлять как по одному из параметров, так и по всем сразу.

Программа IMReader формирует базу данных в формате Microsoft Access, что делает ее доступной для использования в пакете программ ArcGIS или статистических пакетах для отображения точек съемки на географической карте, а также рассчитываемых популяционных характеристик.

■ НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мониторинг водных экологических систем в условиях антропогенного воздействия на прибрежные территории, и в частности при строительстве мостов и других коммуникаций, проходящих через водные объекты, имеет важное

значение для сохранения и восстановления биоразнообразия, оценки влияния на экологические характеристики гидробионтов. Как известно, в 2012 году во Владивостоке планируется проведение международного саммита стран АТР, в связи с чем создается соответствующая инфраструктура для его проведения. В частности, проводятся работы по строительству моста через пролив Босфор Восточный на о-в Русский. В проливе Босфор Восточный в 2009 году были проведены работы по отсыпке грунта и установке опор для моста на о-в Русский. В рамках договорной работы с ВНИИ охраны природы Институтом проблем морских технологий ДВО РАН в местах проведения строительных работ в проливе Босфор Восточный была проведена фотосъемка морского дна с использованием телеуправляемого подводного аппарата TSL (рис.2).

Подводный аппарат TSL представляет собой самоходный объект, оснащенный информационно-командной связью с обеспечивающим судном по оптоволоконному кабелю и предназначен для выполнения обзорно-поисковых и других работ на глубине до 200 метров [3]. Для проведения фотосъемки аппарат оснащен цветной фотокамерой высокого разрешения.

Съемка донных сообществ проходила по трансектам 1-7 (рис. 3) 10 сентября 2009 г. Во время движения аппарата фотографии, данные по координатам, глубине погружения, высоте над дном, температуре, содержанию хлорофилла «а», электропроводности и мутности в местах съемки записывались в бортовой компьютер. Так, глубина в местах съемки изменялась от 1,3 м до 29,2 м; температура воды изменялась в зависимости от глубины от 11,3°С до 16,9°С; электропроводность – от

3,5 до 4,1 См/м; концентрация хлорофилла «а» – от 1,45 до 4,3 мг/л. Значение мутности изменялось в пределах 0,5-1 NTU. Всего для анализа было использовано 1424 фотокадра.

При первичном анализе снимков было установлено, что в местах фотосъемки преобладающим являлся илистопесчаный грунт с наличием ракушки, камней и обрастаний, из водорослей присутствовала в небольших количествах ламинария цикоревидная *Laminaria cichorioides*. Из макрозообен-

тоса были обнаружены звезды: гребешковая патирия *Asterina (Patiria) pectinifera*, морская звезда амурская *Asterias amurensis*, афеластерия японская *Aphelasterias japonica* и дистоластерия колкая *Distolasterias nipon*, офиуры амфифолис Коха *Amphipholis kochii*, ежи: невооруженный шаровидный морской еж *Strongylocentrotus nudus* и промежуточный шаровидный морской еж *Srongylocentrotus intermedius*, брюхоногий моллюск тугалия гигантская

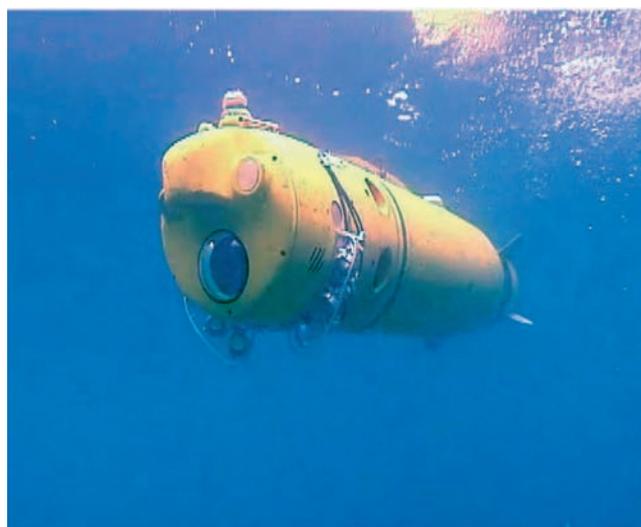


Рис. 2. Автономно-привязной подводный аппарат TSL [2]



Рис. 3. Карта-схема проведения работ в проливе Босфор Восточный

Tugali gigas; реже встречались асцидии - халоцинтя пурпурная *Halocynthia aurantium* и стиела булавидная *Styela clava*, актинии метридиум старческий *Metridium senile fimbriatum*, гребешок приморский *Mizuhopecten yessoensis*. Из рыб наблюдались: дальневосточный окунь *Pleurogrammus azonus*, камбала *Pleuronectes (Limanda) punctatissimus*.

Визуальный анализ грунтов по рассматриваемым трансектам показал относительное их сходство. Так, по трансекте №1 грунт илисто-песчаный с ракушей и остатками от панцирей морских ежей; по трансекте №2 грунт илисто-песчаный, плотный, с камнями, воронками полихет, перемежающимися с водорослями и ракушей; по трансекте №3 грунт илисто-песчаный с камнями и ракушей, встречаются валуны; по трансекте №4 грунт илисто-песчаный, много морских водорослей (ульва и др.); по трансекте №5 наблюдаются ил,

песок; по трансекте №6 грунт илисто-песчаный, с обломками ракушки, встречаются водоросли, а по трансекте №7 грунт песчано-илистый, с навалом каменистых глыб с острыми выступами.

Встречаемость наиболее массовых видов макробентоса оценена по всем трансектам №6 и №7 с южной стороны полуострова Назимова и №1-№5 в районе о-ва Русский. Анализ встречаемости на фотоснимках наиболее массовых видов по трансектам позволяет выделить преобладающие виды, такие как гребешковая патирия, амурская звезда, офиура амфифолис и, в меньшей степени, тугалия гигантская (табл.1). В целом можно отметить, что растительный и животный мир исследуемого района сравнительно небогат и однороден.

Как видно из табл. 1, наиболее богатый животный мир (по количеству присутствия видов «+ + +») наблюдался при движении подводного аппарата и

съемке по трансекте №1. Поэтому по данным этой съемки с помощью программного интерфейса Imreader была сделана более подробная оценка плотности поселения и биомассы наиболее массовых видов макробентоса, встречающихся в кадре. Также была проведена оценка годовой продукции на основе использования разработанной методики и определенной ранее удельной продукции для разных видов и групп гидробионтов [1, 3].

В табл. 2 приведены параметры степенного уравнения $W = aL^{b \pm m}$, которое описывает связь массы с длиной тела у некоторых видов гидробионтов, обнаруженных на снимках по трансекте №1 в проливе Босфор Восточный. По этому уравнению на основе измеренных размеров тела и данных табл. 2 расчетным путем определена масса каждого животного, отраженного на фотоснимке, и биомасса в кадре, пересчитанная затем на единицу площади.

Таблица 1. Качественный состав массовых видов макробентоса в проливе Босфор Восточный

| Макрозообентос | Номера трансект (количество фотоснимков) | | | | | | |
|---|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 1 (331) | 2 (207) | 3 (112) | 4 (143) | 5 (116) | 6 (350) | 7 (165) |
| Гребешковая патирия <i>Asterina (Patiria) pectinifera</i> | +++ | +++ | +++ | ++ | +++ | +++ | + |
| Морская звезда амурская <i>Asterias amurensis</i> | ++ | ++ | | ++ | +++ | +++ | +++ |
| Афеластерия японская <i>Aphelasterias japonica</i> | +++ | ++ | | | | | |
| Дистоластерия колкая <i>Distolasterias nipon</i> | ++ | | | + | | ++ | + |
| Невооруженный шаровидный морской еж <i>Strongylocentrotus nudus</i> | ++ | | + | | | | |
| Промежуточный шаровидный морской еж <i>Strongylocentrotus intermedius</i> | + | | + | | | | |
| Офиура амфифолис <i>Koха Amphipholis kochii</i> | | ++ | ++ | | +++ | ++ | +++ |
| Брюхоногий моллюск тугалия гигантская <i>Tugali gigas</i> | ++ | | + | + | ++ | ++ | |
| Асцидии: халоцинтя пурпурная <i>Halocynthia aurantium</i> , стиела булавидная <i>Styela clava</i> | +++ | | | | | ++ | |
| Гребешок приморский <i>Mizuhopecten yessoensis</i> | + | | + | | + | + | |

Примечание. +++ - часто встречается; ++ - встречается; + - единичные экземпляры

Таблица 2. Параметры степенного уравнения ($a, b \pm m$), описывающего у гидробионтов связь массы тела (W , г) с линейным размером особи (L , см у звезд, мм у ежей)

| | Вид | a | $b \pm m$ |
|----|--|---------|-------------|
| 1. | <i>Patiria pectinifera</i> (Гребешковая патирия) | 2,446 | 1,106±0,260 |
| 2. | <i>Asterias amurensis</i> (Амурская обыкновенная морская звезда) | 0,346 | 1,604±1,041 |
| 3. | <i>Strongylocentrotus intermedius</i> (Промежуточный шаровидный морской еж) | 0,01135 | 2,202±0,125 |
| 4. | <i>Strongylocentrotus nudus</i> (Невооруженный шаровидный морской еж) | 0,0057 | 2,384±0,160 |

Анализ фотоизображений с подводного аппарата по трансекте №1 (рис. 4) с использованием программы ImReader показал, что на исследуемом участке акватории из макробентоса преобладают морские звезды, такие как гребешковая патирия (встречаемость 94 %), афеластерия японская (встречаемость 6 %). У остальных видов макробентоса встречаемость менее 1%. Плотность поселения гребешковой патирии по данным фотоснимков составила $5,2 \pm 0,1$ экз./м², а биомас-

са $83,2 \pm 3$ г/м². Оценка годовой продукции данного вида лежит в пределах $330 \pm 6,2$ г/м². Для афеластерии японской эти величины соответственно равны: $7,8 \pm 0,8$ экз./м²; биомасса – $9,7 \pm 1,7$ г/м²; годовая продукция – $55,5 \pm 7,5$ г/м². Плотность поселения амурской звезды, серого и черного ежа сравнительно небольшая и соответственно равна 0,8; 0,2; 0,6 экз./м², а биомасса - 8,4; 0,01; 0,02 г/м² соответственно. Для асцидии, приморского гребешка и окуняя эти величины также сравни-

тельно небольшие: плотность поселения менее 0,02 экз./м², а средняя биомасса менее 3 г/м².

В качестве еще одного примера применения методики оценки количественных характеристик макробентоса на основе использования информации, полученной с НПА TSL, рассмотрим результаты анализа снимков, сделанных подводным аппаратом в проливе Босфор Восточный в районе бухты Парис по трансекту №8 (рис. 3) летом 2008 г. [4]. В этом районе преобладающим являлся илисто-песчаный грунт, из водорослей присутствовали в небольших количествах энтероморфа, ульва. Анализ фотоизображений проведен также с использованием специализированного программного интерфейса ImReader. Он показал, что в исследуемом районе из макрозообентоса преобладают морские звезды гребешковая патирия *Patiria pectinifera* (встречаемость 87 %), амурская обыкновенная морская звезда

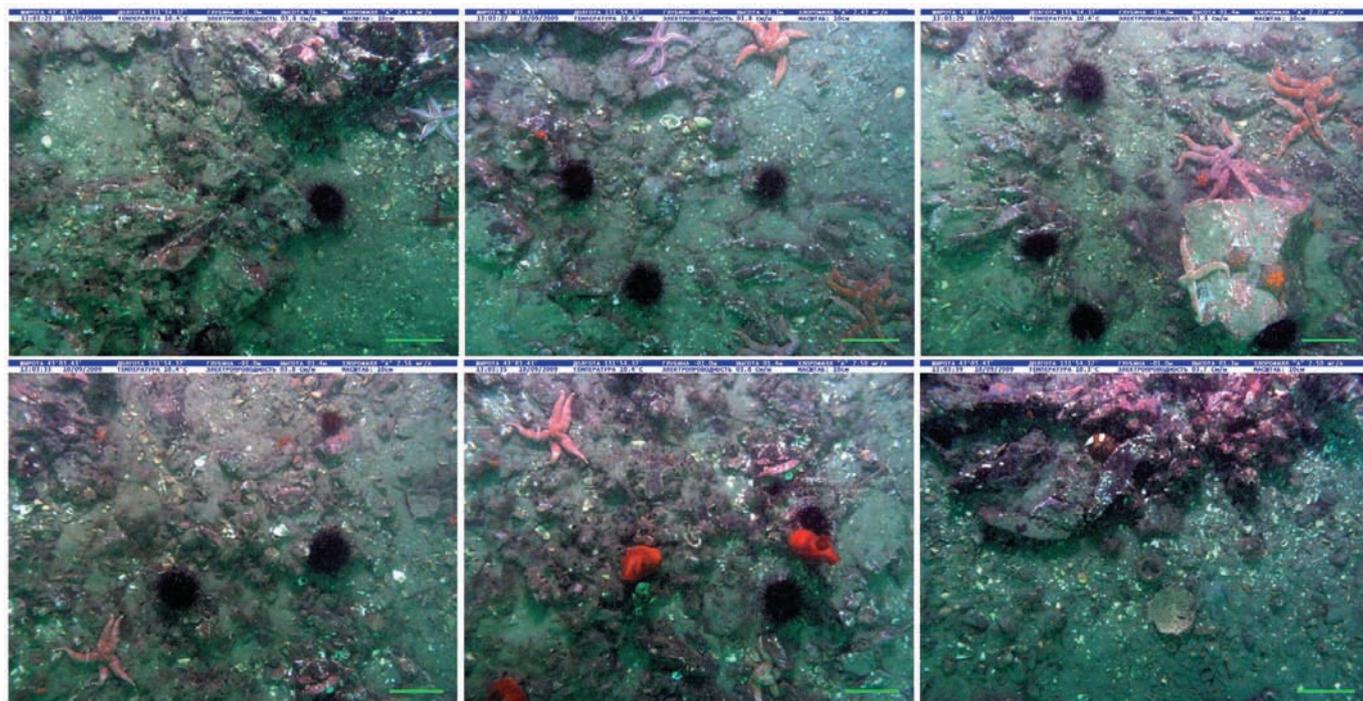


Рис. 4. Последовательность фотоизображений морского дна по трансекте №1. На кадрах видны асцидии (халоцинтия пурпурная), морские звезды (скопления гребешковой патирии, афеластерии японской и единичные экземпляры амурской), невооруженные шаровидные морские ежи

Таблица 3. Экологические характеристики преобладающих видов макробентоса в проливе Босфор Восточный и в бух. Парис (трансекты № 1 и № 8)

| | Вид | Встречаемость, % | | Плотность поселения, экз./м ² | | Биомасса, г/м ² | |
|----|--|------------------|----|--|------|----------------------------|------|
| | | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 |
| 1. | <i>Patiria pectinifera</i> (Гребешковая патирия) | 94 | 87 | 5,2 | 8,41 | 83,2 | 123 |
| 2. | <i>Asterias amurensis</i> (Амурская обыкновенная морская звезда) | >1 | 9 | 0,8 | 0,26 | 8,4 | 3,65 |
| 3. | <i>Aphelasterias japonica</i> (афеластерия японская) | 6 | - | 7,8 | - | 9,7 | - |
| 4. | <i>Strongylocentrotus intermedius</i> (промежуточный шаровидный морской еж) | >1 | 22 | 0,2 | 0,61 | 0,01 | 62,6 |

Asterias amurensis (встречаемость 9 %) и промежуточный шаровидный морской еж *Strongylocentrotus intermedius* (встречаемость 22%). Расчеты показали, что по трансекте средняя плотность поселения гребешковой патирии составила $8,41 \pm 0,35$ экз./м², биомасса – 123 ± 18 г/м², средняя плотность поселения промежуточного шаровидного морского ежа – $0,61 \pm 0,04$ экз./м², биомасса – $62,6 \pm 8$ г/м², средняя плотность поселения амурской звезды – $0,26 \pm 0,02$ экз./м², биомасса – $3,65 \pm 0,3$ г/м².

Сравнивая экологические характеристики наиболее массовых видов в прол. Босфор Восточный и бух. Парис по наиболее близким трансектам №1 и №8 (табл. 3), можно отметить преобладание по численности и биомассе на единицу площади в бух. Парис гребешковой патирии, амурской обыкновенной морской звезды и промежуточного шаровидного морского ежа. Это, видимо, связано с лучшими экологическими условиями обитания в бух. Парис.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что при оснащении подводного аппарата фотокамерами высокого разрешения можно оценивать важные экологические характеристики донных популяций и сообществ, характеры грунтов и наличия макрофитов. Сюда входят оценка плотности распределения макробентоса по акватории, распределение плотности биомассы массовых видов и оценка их продукции. Кроме того, на основе анализа цветных цифровых фотоизображений, получаемых с НПА, можно проводить оценку запасов бентосных беспозвоночных на больших площадях и глубинах, причем без ущерба для донных экосистем, что важно для научных и промысловых исследований. Разработанная система записи, хранения и анализа информации позволяет создавать базу данных по исследуемому району, постоянно ее пополнять и разрабатывать новые методы экологических исследований, использовать накопленную ин-

формацию для разработки тематических моделей морских экосистем.

Кроме того, в результате применения рассмотренных методов исследования и оценки состояния донных сообществ с использованием информации, поступающей с подводного аппарата, появляется возможность изучать динамику численности популяций в годовом и межгодовом аспектах, а также оценивать их биомассу и продукционные свойства. Сочетание традиционных гидробиологических методов и методов, основанных на использовании данных, полученных с подводного робота, позволяет адекватно оценивать состояние бентосных сообществ в рамках проведения долговременного мониторинга морских экосистем.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института проблем морских технологий ДВО РАН Борейко А.А., Ваулину Ю.В., Кушнерику А.А., проводившим съемку в проливе Босфор Восточный с помощью подводного аппарата TSL.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дулепов В.И. Продукционные процессы в популяциях водных животных. Владивосток: Дальнаука, 1995. 246 с.
2. Дулепов В.И., Лелюх Н.Н., Бабак Л.Н., Ваулин Ю.В., Щербатюк А.Ф.. О применении необитаемых подводных аппаратов для исследования водных экосистем // Подводные технологии. 2005. №1. С. 59-67.
3. Дулепов В.И., Щербатюк А.Ф. Современные технические средства в подводных экологических исследованиях. Владивосток: Дальнаука, 2008. 164 с.
4. Лелюх Н.Н., Дулепов В.И., Щербатюк А.Ф., Борейко А.А., Ваулин Ю.В., Мальцева С.В. Результаты экологических исследований с использованием подводного аппарата в бухте Парис // Материалы 3-й Всерос. науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана». Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 287-291.