

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**УДК 574.6:626.02****А.А. Дуленин***

Хабаровский филиал Тихоокеанского научно-исследовательского
рыбохозяйственного центра,
682800, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а

**НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОЛАЗНЫХ
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ УЧЕТНЫХ СЪЕМОК
И ПУТИ ИХ РАЗРЕШЕНИЯ**

Проанализированы методы водолазных ресурсных съемок, показаны типичные ошибки и трудности при их проведении. Регулярный отбор и единообразный учет приводят к избыточным трудозатратам. Инструменты и методы должны варьироваться в соответствии с объектами и условиями съемки. Работы следует планировать на основании анализа закономерностей распределения учитываемых организмов; количество и расположение разрезов, станций и проб определять с возможностью корректировки на месте, по принципу достаточности для получения репрезентативных данных. Разрезы следует выполнять с учетом типизации побережий, станции — в соответствии с естественной стратификацией биоты. Применение эхолокации и видеонаблюдения позволяет уменьшить объемы водолажных работ или в некоторых случаях обойтись без них. Рациональное планирование и проведение съемоккратно повышают их эффективность.

Ключевые слова: водолазные гидробиологические исследования, планирование, методы, ошибки, оптимизация.

DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-231-244.

Dulenin A.A. Some methodical problems of SCUBA hydrobiological accounting surveys and the ways of their resolution // *Izv. TINRO.* — 2017. — Vol. 190. — P. 231–244.

Methods of SCUBA hydrobiological surveys are discussed on the base of the author's 18-year experience in the western Tatar Strait (Japan Sea) and in the Okhotsk Sea. Typical errors of the assessments are analyzed. So far as the methods of underwater researches develop actively, there are no universal one in this field. Regular sampling and uniform assessment methods do not guarantee to avoid the errors but usually cause excessive volume of samples and man-hours. Optimal planning of the sampling should be based on statistical analysis of preliminary information about distribution of the assessed objects in the area of survey. Planned number and location of the sections, stations and samples should be adjusted on the spot, if necessary, following the principle of sufficiency for obtaining representative data. The sections should be performed taking into account types of the coast, the stations — in accordance with natural biotic stratification. Sampling tools and methods should be chosen in dependence on nature, size, density, and distribution patterns of the assessed objects and specific conditions of survey. Modern technical means of underwater video surveillance, echolocation and satellite navigation must be involved into practice of SCUBA surveys. Some original sampling tools developed by the author are presented. Their use can significantly reduce the SCUBA man-

* Дуленин Александр Алексеевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: dulenin@mail.ru.

Dulenin Alexander A., Ph.D., leading researcher, e-mail: dulenin@mail.ru.

hours, and in some cases allows to manage without diving. Rational planning and competent conducting multiply effectiveness of SCUBA survey, allowing to reduce its labor and time costs.

Key words: SCUBA survey, survey planning, assessment method, error of assessment, optimization of survey.

Введение

Без водолазных работ немыслимы гидробиологические и биоресурсные исследования сублиторали. Однако само по себе использование легководолазной техники — это еще не метод, а лишь только способ проникновения под воду (Денисов, 1979). Существует значительный арсенал методов и подходов к сбору биологических данных под водой (Аверинцев и др., 1982; Heine, 1999; Блинова и др., 2005; и др.). При этом водолазные исследования сопряжены с рядом трудностей как общего характера, так и специфических, связанных с работой в конкретных условиях и с учетом различных объектов. Свою специфику имеют биоресурсные учетные съемки, проводимые на протяженных акваториях, ограниченные по времени и направленные на получение конкретных хозяйственных результатов. Это диктует требования, которым они должны соответствовать — быстрота проведения, унификация методов, применение наиболее простых инструментов, надежность получаемых данных. Повышение эффективности водолазных съемок, возможности сокращения затрат труда и времени при их проведении приобретают особую актуальность в настоящее время, в условиях сокращения государственного финансирования НИР. В связи с этим настоящая статья посвящена некоторым организационным и техническим способам оптимизации водолажных съемок.

Материалы и методы

Использованы материалы водолажных учетных съемок ХфТИНРО у морских побережий Хабаровского края в период с 1999 по 2016 г. За это время выполнено более 2 тыс. водолажных станций в северо-западной части Татарского пролива, не менее 4,5 тыс. станций в северо-западной части Охотского моря, 62 станции в лимане р. Амур. Не менее 600 погружений автор совершил лично. Данные икорных водолажных съемок в Охотском море любезно предоставлены автору заведующим охотской лабораторией ХфТИНРО С.Д. Пономаревым. Все водолажные станции в лимане р. Амур и не менее 500 станций в Татарском проливе выполнены инженером советско-гаванской лаборатории ХфТИНРО М.В. Дергачевым. За предоставленные материалы и помощь в работе автор выражает коллегам искреннюю благодарность.

Съемки проводили с борта специализированных НИС и маломерных судов. Гидробиологические разрезы выполняли перпендикулярно берегу на расстоянии от 0,5 до 6,0 мили друг от друга. На каждом разрезе делали от 2 до 10 станций на глубине от 2 до 16–22 м на расстоянии от 10 до 500 м. В лимане р. Амур станции съемки выполняли по регулярной сетке на расстоянии около 10 миль друг от друга с отбором проб на глубинах от 1 до 6 м.

Координаты и расстояния определяли при помощи спутниковых навигаторов, для рекогносцировки использовали эхолоты и средства подводного видеонаблюдения. Количественный учет вели по большей части с площадок по 0,25 м² («квадратного локтя»), использовали рамки площадью 0,25 и 1,0 м² и полурамки площадью 0,50 м². При низкой плотности поселений крупных эпибионтов их обилие оценивали вдоль трансект длиной от 10 до 100 м в полосе шириной 2 м. Использовали мерные фалы длиной до 20 м, утяжеленные свинцовой нитью. Учет крупных моллюсков-эндобионтов выполняли при помощи перекопки учетной площади. Для количественного учета мелких инфавунных организмов использовали модифицированный рычажный водолажный дночерпатель (Аверинцев и др., 1982) площадью 0,05 м². Отбор проб выполняли в одной либо в нескольких повторностях. Подробные пояснения по поводу использования перечисленных инструментов и методов приведены в тексте статьи.

Статистическая обработка выполнена с использованием процедур регрессионного и кластерного анализов, сравнение выборок — при помощи непараметрического теста Манна-Уитни в свободно распространяемой программе PAST 3.11 (Hammer, 2015).

Результаты и их обсуждение

Организация съемки. Практика показывает, что для адекватного планирования съемки целесообразно проанализировать уже имеющиеся сведения о донной биоте района исследований. По возможности следует выполнить статистическую обработку этих данных (Дуленин, 2015, 2016а; Дуленин, Гусарова, 2016). Исходя из полученной картины распределения учитываемых объектов нужно определить необходимое и достаточное количество разрезов, станций и проб, потребных для репрезентативного описания каждого из учитываемых видов и их ориентировочное расположение. Нет необходимости стремиться к выполнению как можно большего объема работ — при их планировании следует руководствоваться принципом разумной достаточности. Количество и расположение разрезов, станций и проб необходимо оперативно корректировать на месте исходя из реального характера распределения биоты. Игнорирование этих правил, нередкое в практике съемок, приводит к значительному снижению их эффективности и качества. Например, в 1999 г. в Татарском проливе водолазная съемка была проведена без учета полученных ранее данных (съемки ИБМ в 1979 и 1980 гг. и ТИНРО в 1986 и 1988 гг.). В результате было обследовано всего около 1/5 протяженности прибрежной зоны пролива в пределах Хабаровского края (Дуленин, 2003). Напротив, учет ранее полученных данных позволил в разы более эффективно провести съемку в 2010 г., обследовав все побережье (Дуленин, 2012). В свою очередь учет данных 2010 г. дал возможность обойтись для учета промысловых запасов сахарины японской *Saccharina japonica* в 2015–2016 гг. вовсе без проведения водолажных работ (Дуленин, 2016б).

Расположение разрезов. При неравномерном распределении биоты целесообразен типический принцип расположения разрезов (Фадеев, Лукин, 1982), в соответствии с которым разрезы закладываются редко вдоль открытых побережий и часто — на отрезках с неоднородной биотой, т.е. в бухтах, заливах, у подножий и оконечностей мысов и т.п. В реальной практике этот принцип часто игнорируется. При проведении ресурсных съемок разрезы обычно выполняют через равные интервалы (Суховеева, 1969; Дуленин, 2003; и др.), что может вести как к избыточным трудозатратам при слишком частом, так и к недоучету ресурсов при редком их расположении.

В качестве положительного примера следует привести практику икорных водолажных съемок на нерестилищах сельди в северо-западной части Охотского моря, когда разрезы выполняются на основных нерестилищах сельди, а другие участки, где нет регулярного нереста (протяженностью в десятки и сотни километров), не обследуются (Пономарев, 2012; Дуленин, 2015). В результате грамотного планирования икорные съемки ежегодно удается делать на протяжении около 1000 км прибрежной зоны в сжатые сроки (около 2 нед).

Результативность работы при регулярном и типическом расположении разрезов легко сравнить на примере двух водолажных съемок, выполненных в западной части Татарского пролива при участии автора (Дуленин, 2003, 2012). При сопоставимых сроках проведение разрезов по типическому принципу позволило обследовать побережье в 4 раза большей протяженности и выполнить в 2 раза больше станций по сравнению с регулярным (рис. 1).

Регулярное редкое расположение разрезов оправдано на протяженных участках с заведомо однородным распределением учитываемых объектов (рис. 2). Например, показано, что состав доминантов и структура растительности в западной части Охотского моря однородны (Дуленин, 2015). Угол наклона линии регрессии для зависимости удельной биомассы макрофитов (УБМ) от географической широты статистически незначим ($p < 0,0001$). Это означает, что для сбора репрезентативных данных об обилии макрофитов достаточно съемки с регулярным расположением разрезов, а сам объем материала может быть относительно небольшим: вполне достаточно 3 десятков разрезов



Рис. 1. Примеры разной результативности гидробиологических водолазных съемок в одном и том же районе (западная часть Татарского пролива в границах Хабаровского края) в зависимости от планирования съемки и расположения разрезов

Fig. 1. Examples of different efficiency of hydrobiological SCUBA surveys in the same area (western Tatar Strait) depending on the survey planning and the sections location

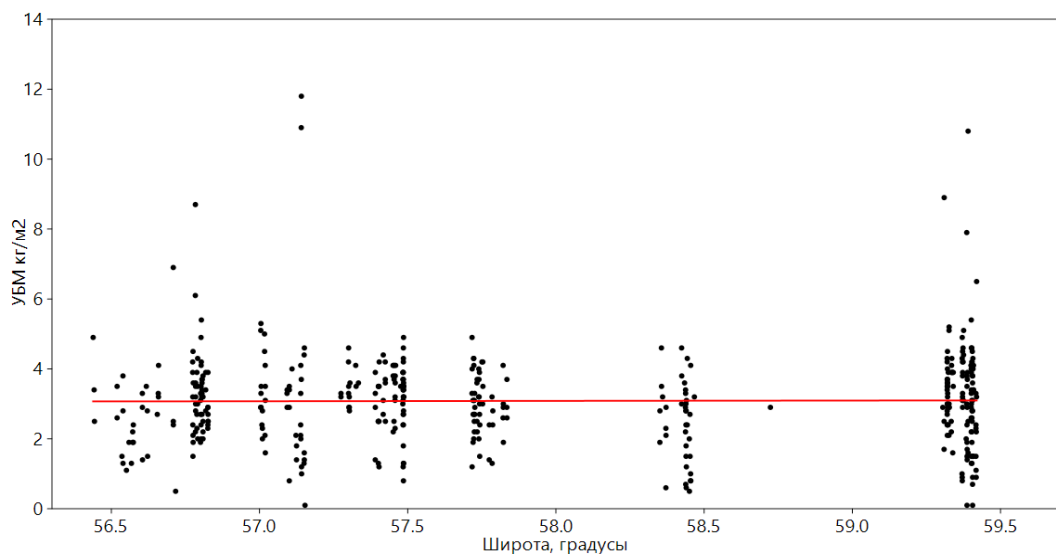


Рис. 2. Распределение растительности в северо-западной части Охотского моря по данным икорной водолазной съемки 2015 г. Показана линия тренда зависимости УБМ от широты. N = 478

Fig. 2. Distribution of vegetation in the northwestern Okhotsk Sea according to the data of SCUBA survey in 2015 (478 samples). Linear regression of the relative biomass in dependence on latitude is shown.

вдоль открытых побережий и дополнительно до 2 десятков разрезов в основных заливах. В этом случае расстояние между разрезами у открытых берегов можно обоснованно увеличивать до 5–10 миль, снижая таким образом трудозатраты на проведение съемки. Это подтверждается практикой: данные по этому району в 2015 г. собраны более чем со 150 разрезов, тогда как, например, в 2002 и 2005 гг. разрезов было всего около трех десятков, что не помешало собрать репрезентативный количественный материал.

Рекогносцировка и оконтуривание. Вероятность нахождения учитываемых объектов следует оценивать на месте по результатам оперативной рекогносцировки (учет характера берегов, рельефа, грунтов и т.п.). В случае обнаружения плотных поселений промысловых организмов на участках неоднородной биоты следует выполнять их оконтуривание независимо от расположения разрезов. Это связано с тем, что в условиях высокой дискретности прибрежной биоты границы поселений хорошо выражены. Условное проведение границ поселений между разрезами (Блинова и др., 2005) может существенно искажать картину распределения организмов и оценки запаса. Методы картирования и расчета обилия путем сглаживания данных, такие как сплайн-аппроксимация, кригинг, линейная интерполяция и т.п., в таких условиях непригодны. Их использование оправдано для описания биотических континуумов, однако приводит к игнорированию объективно существующих биотических границ (Жирков, 2010). Применение этих методов для анализа данных водолазных съемок часто приводит к неадекватным результатам (Галышева, Яковлева, 2007; Галышева, Коженкова, 2009).

Тем не менее, по соображениям экономии времени, оконтуривание промысловых поселений выполняют редко. Почти единственным примером регулярных работ такого рода могут служить икорные водолазные съемки на нерестилищах сельди в западной части Охотского моря, когда тщательно оконтуриваются основные нерестилища (Фархутдинов, 2005).

Между тем сокращение трудозатрат за счет грамотного планирования вполне позволяет выделять время на рекогносцировку и оконтуривание. С широким внедрением портативных средств спутниковой навигации, эхолокации и подводного видеонаблюдения (Гаврилов, Пестриков, 1992; Osborne, Oxley, 1997; и др.) эта работа перестала требовать значительных затрат времени. Использование подвесной видеокамеры или подводного робота позволяет проводить как сплошной осмотр дна на малой скорости (до 2 км/ч), так и точечные наблюдения с быстрым перемещением между станциями. Манипуляции со спуском и подъемом камеры и осмотр дна на одной станции видеонаблюдения требуют от нескольких десятков секунд до 5 мин, т.е. в разы меньше, чем на выполнение водолазной станции. По результатам осмотра оперативно принимается решение, необходим ли в точке осмотра спуск водолаза, или полученной информации достаточно. В целом такая организация съемки позволяет избежать непроизводительных водолазных спусков, доля которых при традиционной организации съемки может составлять 20–50 % и более. Кроме того, возможность непосредственного наблюдения с борта судна позволяет избавиться от описаний «с чужих слов» и оперативно корректировать работу водолаза.

Съемка на таких принципах была успешно проведена в 2008 г. на одном из участков западной части Татарского пролива. Она позволила картировать и описать сообщества эпибентоса (Дуленин и др., 2010) и оконтурить скопления приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Дуленина, Дуленин, 2012). Плотность и площадь поселений определяли посредством видеонаблюдения, а водолазные сборы выполняли точно, на скоплениях, с целью сбора материалов для биоанализа. В результате за 3 дня было обследовано около 80 км протяженности прибрежной зоны. Работа на том же участке во время водолажной съемки 1999 г., без рекогносцировки и оконтуривания, но при регулярном расположении разрезов, заняла 9 дней (по: Дуленин, 2003). Итак, оперативная рекогносцировка и оконтуривание с применением современных технических средств позволяют в разы повысить эффективность съемки.

Оценка запаса по частоте встречаемости (ЧВ). В случаях, когда съемка относительно равномерно охватывает район исследования, число станций достаточно велико (порядка 100 и более), а промысловые поселения встречаются довольно часто, чтобы не было необходимости их оконтуривать, хорошие результаты дает расчет площади поселений и запаса по ЧВ промысловых поселений. Для этого показатель (%) встречаемости промысловых поселений учитываемого вида достаточно умножить на их среднюю УБМ. Такой расчет также способен давать более точные оценки запаса, чем при условном определении границ поселений между соседними разрезами (Бли-

нова и др., 2005). Этот метод пригоден для малоэксплуатируемых стабильных единиц запаса. Корректное сравнение многолетних данных в этом случае возможно, только если съемки проводились из года в год по единообразной методике на одних и тех же участках (Дуленин, 2016б).

Планирование расположения станций. В практике водолазных съемок в большинстве случаев оправдан стратифицированный отбор проб (Лукин, Фадеев, 1982), когда сборы осуществляются на наиболее типичных участках объективно существующих биотических поясов. На деле станции, как правило, выполняют через равные расстояния либо через равные диапазоны глубин. Применение эхолокации и подводного видеонаблюдения позволяет отказаться от регулярного выполнения станций, корректируя их закладку в соответствии с естественной поясностью биоты. Это дает возможность избежать выполнения избыточного числа станций на однородных участках.

Стратификация не требуется, если заранее известно, что распределение биоты по глубине (многие поселения морских трав и водорослей) относительно однородно. Например, отмечено, что в западной части Охотского моря показатели обилия водорослей и состав доминантов остаются постоянными от мелководий до нижней границы водорослевого пояса (Дуленин, 2015). Угол наклона линии регрессии зависимости УБМ от глубины (рис. 3) статистически незначим ($p = 0,11$). Отбор проб в этом случае целесообразно проводить на наиболее доступных для работы мелководьях, где, однако, уже слабо сказывается прибой, т.е. на глубинах 4–5 м. Погружения на глубину менее 4 и более 5 м в таких случаях можно исключить, ограничившись фиксацией границ обследуемых биотических поясов с помощью средств видеонаблюдения, что приведет к значительному снижению затрат времени.

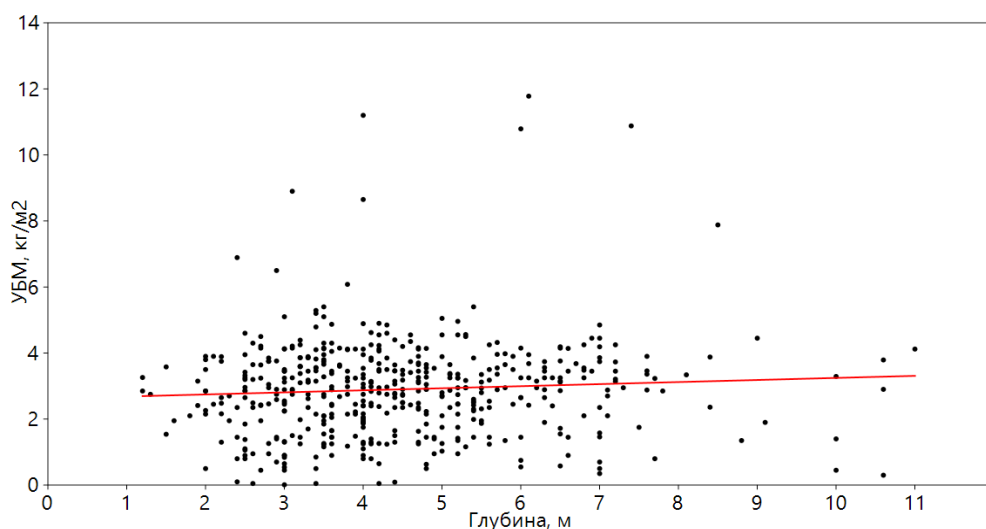


Рис. 3. Зависимость УБМ пояса растительности северо-западной части Охотского моря от глубины по данным икорной водолазной съемки 2015 г. Показана линия тренда зависимости УБМ от глубины. $N = 478$

Fig. 3. Dependence of the relative algae biomass in the vegetation belt on the depth in the northwestern Okhotsk Sea (data of SCUBA survey in 2015, 478 samples). Linear trend is shown

Планирование необходимого количества проб и их кратности. Для сбора репрезентативного количества проб (30–50) станции, расположенные на однородных участках, следует объединять в один выдел (Розенберг, Миркин, 2008). Это имеет смысл, даже если они расположены на известном удалении друг от друга. В таком случае объем материала будет достаточен для стандартной статистической обработки. При выполнении одной повторности это достижимо только при проведении больших съемок с выполнением многих сотен станций. Поэтому при проведении больших съемок нередко собирают избыточное количество проб. Если съемки проводятся редко, нерегулярно или

во вновь обследуемых районах, это оправданно и неизбежно. Однако при регулярном проведении исследований количество проб следует сокращать до разумного минимума, обеспечивающего репрезентативные результаты. Например, в Охотском море в 2015 г. собрано 264 пробы сахарины Гурьяновой *Saccharina gurjanovae*. Случайный отбор из этой совокупности каждой пятой пробы и сравнение полученных выборок из 211 и 53 проб (рис. 4) показывает сходство их показателей (соответственно $2,60 \pm 0,10$ (0,4–8,9) и $2,40 \pm 0,16$ (0,3–5,1) кг/м²) и отсутствие между ними статистически значимых различий (критерий Манна-Уитни, $p = 0,44$). Иными словами, пятикратное уменьшение объема материала в этом случае не сказывается отрицательно на его качестве.

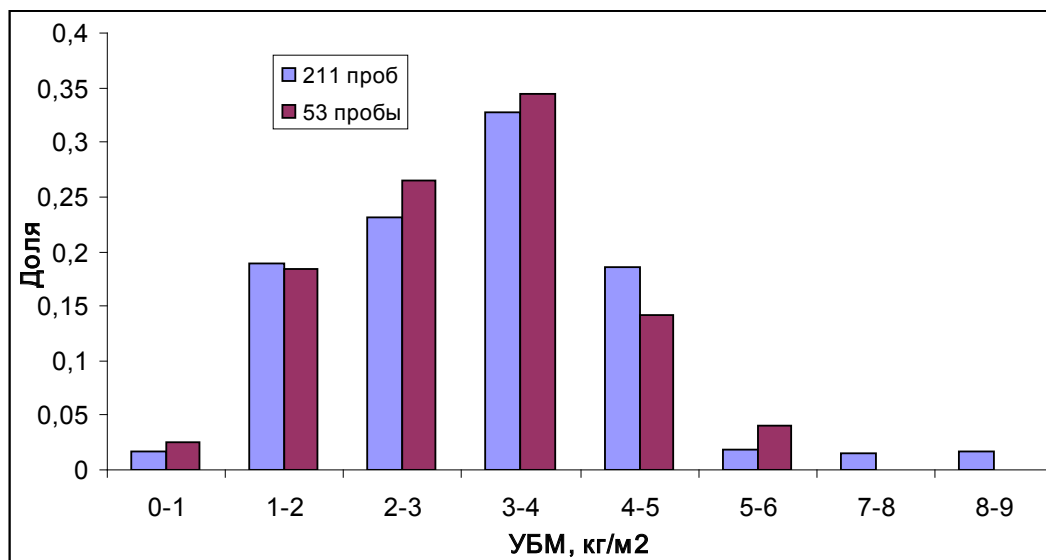


Рис. 4. Распределение обилия сахарины Гурьяновой при разном количестве проб по данным икорной водолазной съемки 2015 г. в северо-западной части Охотского моря

Fig. 4. *Saccharina gurjanovae* abundance in the northwestern Okhotsk Sea assessed on different number of samples (data of SCUBA survey, 2015)

Определим количество проб, необходимое для получения репрезентативного объема данных об обилии сахарины Гурьяновой в северо-западной части Охотского моря (~50 проб, содержащих учитываемый вид) при равномерном распределении станций по району. При среднемноголетней ЧВ вида 42 % (Дуленин, 2015) для получения репрезентативных данных необходимо выполнить около 120 проб.

Если выполняется учет сразу нескольких объектов, совместно обитающих в пределах одного биотопа, необходимое количество проб следует определять по частоте встречаемости «слабого звена» — наиболее редкого из учитываемых видов. Исходя из этого определим для примера необходимое количество проб для количественного описания пояса растительности северо-западной части Охотского моря. Среди доминантов пояса растительности района наиболее редко встречается псевдолессония ламинариевидная *Pseudolessonia laminarioides*. Ее среднемноголетняя ЧВ 14 %. Следовательно, для получения репрезентативного объема данных по району необходимо отобрать около 360 проб. При отборе в 3 повторности это можно сделать на 120 станциях. Если время съемки ограничено, можно обойтись отбором 30 проб для каждого объекта. Тогда общее количество проб будет несколько более 210, их можно отобрать на 70 станциях. Итак, планирование необходимого и достаточного объема данных позволяет заранее определить потребное количество проб и избежать отбора их избыточного количества.

Отбирать пробы в трех повторностях следует на участках с высокой степенью неоднородности биоты (Фадеев, Лукин, 1982), таких как водорослевый пояс. Однако на деле это правило почти никогда не соблюдают, считая выполнение повторностей непозволительной тратой времени. В итоге даже большие съемки порой не дают ре-

презентативного материала об учитываемых объектах. Например, во время съемки 2010 г. в Татарском проливе было выполнено 710 станций, но об обилии некоторых видов автор судил по 11–24 пробам, что существенно снизило качество анализа их распределения в пространстве (по: Дуленин, Гусарова, 2016, табл. 3–4).

Между тем грамотная организация работ позволяет делать отбор проб в несколько повторностей за одно погружение (что важно для обеспечения безопасности труда водолазов) с минимальными дополнительными трудозатратами. Для этого необходимое количество (3–5) орудий отбора проб (ручные дночерпатели, питомзы* и т.п.) крепят карабинами к веревке на расстоянии друг от друга (2–5 м для дночерпателей, 5–10 м или более для питомз). Вербку можно опускать на карабине по якорному канату. Водолаз, перемещаясь вдоль веревки, последовательно отбирает пробы, после чего дает сигнал о ее подъеме. Процедура требует минимального времени. Если необходимо продолжать работу, водолаз подает соответствующий сигнал, ожидает у якоря следующей веревки с инструментами и, не всплывая, отбирает необходимое число проб. Наша практика показывает, что такая организация работы позволяет проводить сбор в несколько повторностей даже во время ресурсных съемок. Для отбора проб в разных условиях целесообразно иметь на боте не менее 2 веревок, на одной из которых закреплены питомзы для сбора эпибентоса, а на другой — ручные дночерпатели или иные пробоотборники для сбора эндобентоса. Следует помнить о рекогносцировке, когда по ее результатам научный сотрудник принимает решение об отборе нужного количества проб на участке.

В то же время нет необходимости брать пробы в несколько повторностей, если достаточное количество станций распределено по площади однородных участков. Например, следует признать избыточным отбор проб в трех повторностях во время бентосной съемки в лимане р. Амур в 2010 г. (Дуленина, Дуленин, 2011). Взяв данные первой повторности каждой станции и сравнив их с результатами осреднения данных трех повторностей, легко выяснить, что статистически значимые различия между ними отсутствуют (рис. 5). Следовательно, взятие 3 повторностей было излишним. Исключение дублирования проб могло бы в данном случае существенно сократить время проведения съемки.

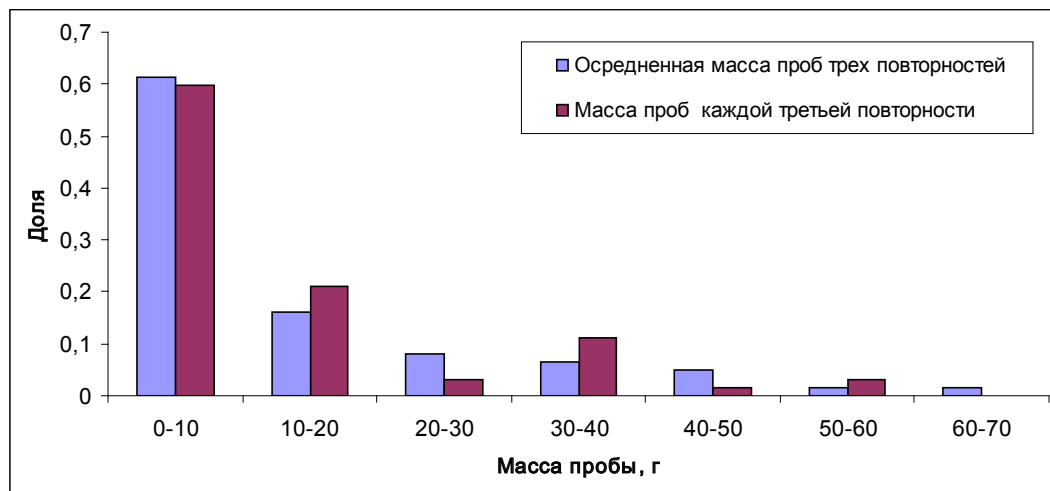


Рис. 5. Распределение биомассы бентоса в дночерпательных пробах по результатам водолазной съемки в лимане Амура в 2010 г. при выполнении одной и трех повторностей (тест Манна-Уитни, $p = 0,58$, $N = 62$)

Fig. 5. Distribution of the benthos biomass in the Amur estuary (one replica of the SCUBA survey, 2010). Mann-Whitney test parameters: $p = 0.58$, $N = 62$

* Специальный сетной мешок для сбора гидробионтов, используемый водолазами.

С другой стороны, в условиях значительного видового богатства содержимое проб может значительно различаться, даже если они взяты в пределах одного биотопа в непосредственной близости друг от друга. Например, при проведении съемки в зал. Чихачева при помощи водолазного дночерпателя на одной из станций было взято 9 повторностей. Как видно на рис. 6, видовой состав в отдельных пробах весьма несхожен. В таких случаях необходимое для репрезентативного описания число проб следует равномерно распределять по всей площади выдела (Розенберг, Миркин, 2008).

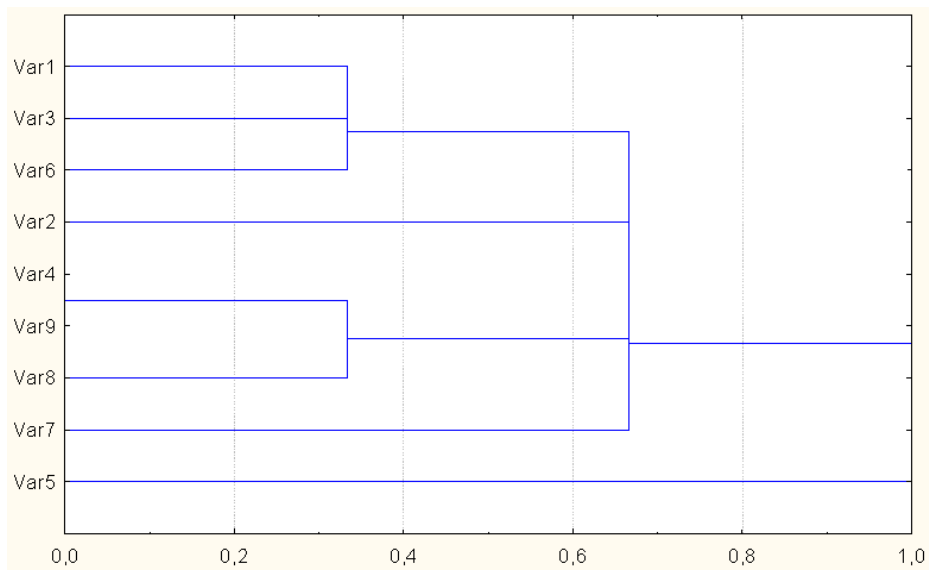


Рис. 6. Уровень различия состава девяти проб, собранных на одной станции. Зал. Чихачева, 2011 г.

Fig. 6. Dissimilarity levels of species composition for 9 samples collected at one station in the Chikhachev Bay (western Tatar Strait) in 2011

Инструменты отбора проб. В осложненных условиях (течения, волнение, отсутствие видимости, перепады рельефа) отбор проб с традиционных рамок затруднен или невозможен. Кроме того, в плотных поселениях крупных бурых водорослей рамка ложится поверх их слоя. При этом нельзя понять, какие слоевища прикреплены к грунту внутри рамки, а какие — за ее пределами. Продеть рамку вниз, к ризоидам, и корректно взять пробу почти невозможно. Сами рамки, особенно большой площади, громоздки и неудобны. Поэтому на практике пробы отбирают с выделяемых «на глаз» квадратов со стороной в локоть водолаза. «Квадратный локоть» приблизительно равен $0,25 \text{ м}^2$, т.е. площади стандартной рамки.

Действительно, сборы плотно расположенных животных и небольших растений с «квадратного локтя» дают хорошие результаты. Например, в 2016 г. в зал. Советская Гавань было собрано по 30 проб zostеры морской с рамки и с «квадратного локтя». Выборки оказались сходны по УБМ (соответственно $0,70 \pm 0,05$ (0,3–1,6) и $0,70 \pm 0,04$ (0,3–1,2) кг/м^2) и не имели статистически значимых различий (тест Манна-Уитни, $p = 0,51$). Поскольку сбор с «квадратного локтя» весьма удобен, его можно применять в неосложненных условиях. Однако во всех иных случаях сбор с «квадратного локтя» не обеспечивает даже минимальной точности и неприемлем.

На плотных поселениях для обозначения учетной площади вместо традиционных рамок более удобно применение других инструментов. Так, целесообразно использовать металлический угол в 90° — «полурамку». Смонтировав стороны угла на шарнире, инструмент можно сделать складным. На одном конце полурамки закрепляют отрезок фала с карабином, который застегивается на другом свободном конце. Угол, в отличие от рамки, легко продеть под слоем талломов к ризоидам, обеспечив точный учет крупных

водорослей. Разместив угол на грунте, фал протягивают от одного конца полурамки к другому и пристегивают карабином. Такой инструмент при длине сторон в 1 м образует треугольную площадку в $0,50 \text{ м}^2$, а при длине сторон 0,7 м, что более удобно, — $0,25 \text{ м}^2$. Кроме того, треугольная учетная площадка удобна для использования на сложном рельефе: полурамку можно легко повесить на ризоидах на склоне или глыбе, освободив руки для отбора пробы. Американские специалисты используют так называемый «трехсторонний квадрат» — «3 sided quadrat» — обычную рамку, лишенную одной стороны (Heine, 1999). Однако такое приспособление довольно громоздко.

Возможно применение еще более удобных инструментов. Гибкая линейка, изготовленная из пластика или пружинной стали с закрепленным на конце отрезком фала с карабином, непосредственно на грунте, под черешками водорослей, легко изгибается в полукруг. Получившаяся дуга фиксируется от разгибания при помощи фала, карабин которого защелкивается на противоположном конце линейки. Линейка длиной 250 см образует полукруг площадью 1 м^2 . Сделав отверстие на отметке 157 см, легко изогнуть часть линейки в полукруг площадью $0,50 \text{ м}^2$, а на отметке 125 см — в полукруг площадью $0,25 \text{ м}^2$. Оставшаяся часть линейки при этом остается прямой и может служить дополнительным измерительным инструментом. В распрямленном виде линейку удобно использовать при прохождении трансект, мерных фалов и т.п. В зависимости от задач, для удобства, можно использовать линейки разной длины. Полукруговые рамки постоянной площади легко изготовить из пластиковых труб. Весьма удобным может быть также использование стального троса диаметром около 1 см. Трос сгибается в круг, образующий учетную площадь. Концы троса соединяются посредством металлических петли и крюка, закрепленных на его разных концах. Поскольку трос гибок и при большой длине не будет держать форму круга, то его длину следует ограничить 177 см, тогда площадь круга, образуемого тросом, составит $0,25 \text{ м}^2$. Все подобные инструменты позволяют вслепую собирать объекты внутри учетной площадки, исключив влияние субъективизма сборщика, неизбежного при использовании «квадратного локтя» и мерной рейки. Для удобства перемещений все инструменты должны быть снабжены петлей для надевания на руку.

Учет крупных редко расположенных растений и животных (крупные фукусковые водоросли, гребешки, друзы мидий и т.п.) с плотностью $\ll 10$ экз. на рамку необходимо вести при помощи мерных фалов, которые при необходимости крепятся карабином к якорю (по: Фадеев, Лукин, 1982). Однако это удобно только в условиях неосложненного рельефа и при небольшой длине фала. Работу можно выполнять даже в условиях отсутствия видимости, осязью, когда глазомерные оценки обилия невозможны.

Для учета кормового бентоса и промысловых клэмов на плотных поселениях хорошо подходит водолазный ручной дночерпатель (Аверинцев и др., 1982). Автор не встречал в литературе примеров его применения в течение последних десятилетий. Между тем его использование весьма эффективно за счет того, что сборщик находится непосредственно на грунте, самостоятельно отбирая пробу и полностью контролируя процесс. В частности, его успешно использовали в водолазных съемках лимана Амура и Татарского пролива с 2010 по 2013 г. (Дуленина, Дуленин, 2011, 2012; Дуленина, 2013). Мы использовали несколько модифицированный вариант дночерпателя (рис. 7) площадью $0,05 \text{ м}^2$ с размером ячеек кутца 3 мм. В отличие от классической конструкции, рабочие кромки дночерпателя были выполнены не зубчатыми, а сплошными, заточенными в виде полукруглых ножей. Это позволило упростить изготовление орудия, улучшить его захватывающие свойства и уменьшить вероятность повреждения раковин моллюсков.

Точность взвешивания. Для определения УБМ пробы обычно взвешивают до граммов. Однако метод пробных площадок применительно, например, к водорослевому поясу обеспечивает точность отбора обычно не более чем до килограммов на квадратный метр. Это естественно, поскольку облик растительности дальневосточных морей определяют прежде всего крупные бурые водоросли (Phaeophyceae: Laminariales, Fucales) с индивидуальной массой взрослых слоевищ от сотен граммов до килограм-



Рис. 7. Водолазный ручной модифицированный дночерпатель (Аверинцев и др., 1982) в сложенном (слева) и в рабочем положении перед взятием пробы (справа)

Fig. 7. Modified diver hand bottom sampler in folded (left) and working position before the sampling (right) (from: Аверинцев и др., 1982)

мов. Действительно, сравнение случайно взятых выборок с УБМ, оцененной с разной точностью, показывает, что их результаты практически одинаковы (см. таблицу) и статистически значимо не различаются (тест Манна-Уитни, $p = 0,73$).

Сравнение результатов учета УБМ сахарины Гурьяновой в западной части Охотского моря по данным икорной водолазной съемки 2015 г. с различной точностью
Comparison of *Saccharina gurjanovae* relative biomass in the western Okhotsk Sea in 2015 assessed by SCUBA surveys with different accuracy

УБМ	N	Минимум	Максимум	Средняя	Ст. ошибка	Ст. откл.	Медиана	Коэф. вар.
Г/м ²	50	500	4960	2194	155,0	1093	2120	50
Кг/м ²		0	5	2	0,1	1	2	48

Точность и единицы учета при проведении ресурсных съемок должны соответствовать индивидуальной массе и плотности организмов (порядка килограммов на квадратный метр для крупных водорослей, десятых долей килограмма для двусторчатых моллюсков, иглокожих и т.д.). Оценивать промысловые запасы организмов с заведомо низкими УБМ не следует — это не только нецелесообразно, но и зачастую невозможно средствами водолазной съемки. Таким образом, принятие во внимание индивидуальной массы и плотности поселений донных организмов позволяет избавиться от ложной точности в оценках обилия и упростить процедуры учета промысловых объектов.

Определение проективного покрытия (ПП). В качестве показателя обилия макрофитов часто используют ПП, определяемое визуально в точке взятия пробы. Инструментальные методы определения ПП, например метод линейного пересечения Кенфилда (Денисов, 1979), при ресурсных съемках не применяют из-за их большой трудоемкости. Вместе с тем визуальное определение ПП донной растительности связано с большими погрешностями (Шмаков, Шулипенко, 1981; Кулепанов, Жильцова, 2004).

Использование ПП хорошо подходит для рекогносцировки и грубой оценки мощности зарослей (Дуленин, 2003; Кулепанов, Жильцова, 2004). Однако определяемое «на глаз» ПП широко используется в хозяйственных расчетах в качестве понижающего коэффициента при оценке УБМ и плотности растительности. Вместе с тем необходимость для этой цели определения ПП в точке отбора пробы свидетельствует о том, что выбранная учетная площадь мала и несообразна реальной плотности расположения

растений (например, $0,25 \text{ м}^2$ вместо $1,0 \text{ м}^2$) либо отбор происходит на высокодискретном участке, где следует брать несколько повторностей (см. выше). Такое использование ПП ведет к занижению УБМ — тем большему, чем меньше ПП (рис. 8). Погрешности в его определении могут вести к многократному увеличению ошибок в конечных расчетах.

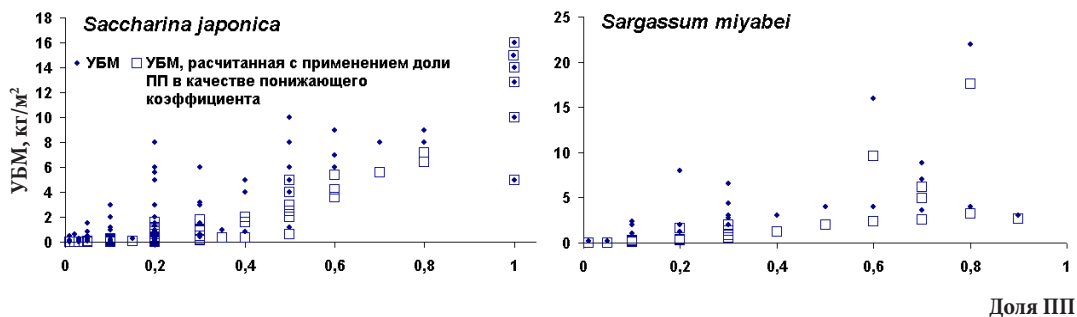


Рис. 8. Результаты расчета УБМ по данным водолазной съемки в северо-западной части Татарского пролива в 2010 г.

Fig. 8. Relative algae biomass (kg/m^2) in the northwestern Tatar Strait in 2010 assessed by SCUBA survey in dependence on the projecting cover

Коэффициенты детерминации для зависимостей между ПП и УБМ различаются в зависимости от характера поселений, размеров и морфологических типов растений. Для некоторых видов, например сахарины японской и зостеры азиатской *Zostera asiatica*, они могут быть довольно высоки ($0,78\text{--}0,81$), что позволяет напрямую ставить в соответствии с ПП известные значения УБМ и оценивать ресурсы макрофитов по наблюдениям с поверхности, даже без проведения водолажных работ (Дуленин, 2016а). Однако для большинства других видов коэффициенты детерминации ПП и УБМ невелики, что затрудняет использование ПП для пересчета в УБМ и определения запасов.

Определение общего ПП (ОПП) растительности необходимо только на участках, где пустые площади дна перемежаются с пятнами зарослей макрофитов. Их следует модифицировать применительно к реальным условиям ресурсной съемки. Так, в ходе рекогносцировки участка при необходимости можно выполнить несколько галсов на боте, осматривая дно при помощи подводной видеокамеры или водяного фонаря и записывая участки пересечения с растительностью в виде треков на спутниковом навигаторе. Кроме того, при движении бота с постоянной скоростью можно применять хронометраж. Для этого требуется секундомер, который включают при пересечении каждого пятна растительности и выключают при его прохождении. Отношение суммы времени, показанного секундомером, к общему времени движения бота будет характеризовать долю (%) ОПП на участке. Применение хронометража в некоторых случаях позволяет совместить определение ОПП с выделением типичных участков. При движении со скоростью 2 или 3 км/ч прохождение пяти галсов по 100 м каждый займет 12 или 18 мин, что сопоставимо со временем выполнения 2–3 водолажных станций и в разы меньше времени выполнения такой работы под водой.

Выводы

Планирование сбора материала следует строить на основании статистического анализа ранее полученных сведений о закономерностях распределения учитываемых организмов в районе съемки. Количество и расположение разрезов, станций и проб необходимо планировать заранее исходя из принципа достаточности для получения репрезентативных данных, предусматривая возможность их корректировки на месте.

Инструменты и методы отбора проб не могут быть единообразными. Они должны соответствовать размерам, плотности, характеру распределения учитываемых организмов и критериям применимости в конкретных условиях съемки. Применение регуляр-

ного отбора и единообразных способов учета приводит к возникновению ошибок в оценках обилия и избыточным трудозатратам при проведении съемок.

Водолазные съемки необходимо проводить в сочетании с использованием средств подводного видеонаблюдения, эхолотации и спутниковой навигации. Их применение позволяет значительно уменьшить объемы водолазных работ, а в некоторых случаях и обойтись без их использования.

Рациональное планирование и грамотное проведение съемок может кратно повысить их эффективность, уменьшить трудозатраты и стоимость их проведения.

Список литературы

Аверинцев В.Г., Голиков А.Н., Сиренко Б.И., Шереметевский А.М. Количественный водолазный метод гидробиологических исследований // Подводные гидробиологические исследования. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1982. — С. 48–58.

Блинова Е.И., Вилкова О.Ю., Милютин Д.М. и др. Методические рекомендации по учету запасов промысловых гидробионтов в прибрежной зоне. — М. : ВНИРО, 2005. — 80 с.

Гаврилов Е.Н., Пестриков В.В. Оптимальные режимы работы малогабаритных эхолотов при поиске ламинариевых водорослей // Современные методы исследования морских макрофитов. — Мурманск : ПИНРО, 1992. — С. 28–39.

Галышева Ю.А., Коженкова С.И. Макробентос залива Находка Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 156. — С. 135–158.

Галышева Ю.А., Яковлева А.Н. Оценка количественных показателей некоторых промысловых беспозвоночных в основных местах локализации в заливах Восток и Находка (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 149. — С. 191–204.

Денисов Н.Е. Методика обследования, количественных сборов и картографирования бентоса шельфа с применением водолазной техники // Подводные методы в морских биологических исследованиях. — Апатиты : Кол. фил. АН СССР, 1979. — С. 85–104.

Дуленин А.А. Оценка промысловых ресурсов и возможностей эксплуатации водорослевого пояса у материкового побережья Охотского моря в пределах Хабаровского края // Вестн. КамчатГТУ. — 2016а. — № 37. — С. 39–49.

Дуленин А.А. О применимости визуальных наблюдений для оценки обилия макрофитов на примере сахарины японской северо-западной части Татарского пролива // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : мат-лы 7-й Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием. — Петропавловск-Камчатский, 2016б. — С. 80–84.

Дуленин А.А. Промысловые макрофиты западной части Татарского пролива (по результатам исследований 1999 г.) // Методические аспекты рыбохозяйственных исследований на Дальнем Востоке. — Хабаровск : Хабаровск. кн. изд-во, 2003. — С. 174–185.

Дуленин А.А. Распределение сублиторальной растительности материкового побережья Охотского моря (в пределах Хабаровского края) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 180. — С. 107–127.

Дуленин А.А. Ресурсы и распределение промысловых макрофитов западной части Татарского пролива (в пределах Хабаровского края) // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 170. — С. 17–29.

Дуленин А.А., Гусарова И.С. Широтные изменения состава и структуры растительности в северо-западной части Татарского пролива // Биол. моря. — 2016. — Т. 42, № 4. — С. 272–279.

Дуленин А.А., Сидяков Ю.В., Черниченко И.С. Сообщества макробентоса сублиторали северо-западной части Татарского пролива и Охотского моря (в границах Хабаровского края) // Сб. науч. тр. Хабаровского филиала ТИНРО-центра. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — С. 115–137.

Дуленина П.А. Видовой состав двустворчатых моллюсков западной части Татарского пролива Японского моря (в пределах Хабаровского края) // Биол. Дальневост. малакол. о-ва. — 2013. — Вып. 17. — С. 27–78.

Дуленина П.А., Дуленин А.А. Обоснование вывода корбикулы японской (*Corbicula japonica* Prime, 1864) из Красной книги Хабаровского края // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 165. — С. 65–73.

Дуленина П.А., Дуленин А.А. Распределение, размерный, возрастной состав и рост приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1856) (Bivalvia: Pectinidae) в северо-западной части Татарского пролива // Биол. моря. — 2012. — Т. 38, № 4. — С. 290–297.

Жирков И.А. Жизнь на дне. Био-экология и био-география бентоса : моногр. — М. : Т-во науч. изданий КМК, 2010. — 427 с.

Кулепанов В.Н., Жильцова Л.В. Динамика ресурсов *Phyllospadix iwatensis* Makino на побережье Японского моря (Приморье) // Растит. ресурсы. — 2004. — Вып. 9. — С. 29–35.

Лукин В.И., Фадеев В.И. Особенности планирования гидробиологических работ на акваториях большой протяженности // Подводные гидробиологические исследования. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1982. — С. 13–20.

Пономарев С.Д. Развитие и выживаемость охотской сельди в период эмбриогенеза // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 171. — С. 85–96.

Розенберг Г.С., Миркин Б.М. Организация наблюдений за фитоценоотическими сообществами: основные задачи, методологические проблемы и способы их разрешения // Проблемы экологического эксперимента (планирование и анализ наблюдений). — Тольятти : Кассандра, 2008.

Суховеева М.В. Состояние запасов, распределение ламинарии и некоторых других водорослей у берегов Приморья. — Владивосток : Дальневост. кн. изд-во, 1969. — 23 с.

Фадеев В.И., Лукин В.И. К методике подводных гидробиологических исследований верхней сублиторали в условиях подвижных морских экспедиций // Подводные гидробиологические исследования. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1982. — С. 21–34.

Фархутдинов Р.К. Экология воспроизводства, динамика численности и состояние запасов охотской сельди : дис. ... канд. биол. наук. — Хабаровск : ХфТИНРО, 2005. — 220 с.

Шмаков В.М., Шулипенко Т.Ф. Определение величины проективного покрытия в зарослях воздушно-водных растений // Гидробиол. журн. — 1981. — Т. 17, № 2. — С. 103–105.

Hammer Ø. PAST: Paleontological statistics. Version 3.11. Reference manual. — Oslo : Natural History Museum. Univ. of Oslo, 2015. — 228 p.

Heine J.N. Scientific Diving Techniques: a Practical guide for the research diver. — Flagstaff, AZ : Best Publishing Co., 1999. — 225 p.

Osborne K., Oxley W.G. Sampling benthic communities using video transects // Survey manual for tropical marine researches. — Townsville : Australian Inst. of Marine Science, 1997. — P. 363–376.

Поступила в редакцию 10.05.17 г.

Принята в печать 12.07.17 г.