

УДК 639.41.265; 551.35.461

## ЛАНДШАФТНЫЙ МОНИТОРИНГ БУХТЫ АЛЕКСЕЕВА ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

**В.В. Жариков,  
Б.В. Преображенский**

Тихоокеанский институт  
географии ДВО РАН<sup>1</sup>

Бухта Алексеева (о-в Попова залива Петра Великого), подвергшаяся трансформации в результате деятельности по разведению марикультуры морского гребешка и мидии, находится под постоянным научным контролем в течение почти 40 лет. Проведенные в 2008-2010 г. подводные ландшафтные исследования позволили сопоставить результаты исследований разных лет с современной пространственной структурой экосистемы. На современной инструментальной базе с использованием данных GPS и подводного видеопрофилирования составлена карта, на которой выделено 8 типов холистических подводных ландшафтов (бенем). Проведено сопоставление пространства бенем с ранее опубликованной картосхемой биоценозов и сделан вывод о прогрессирующей необратимой перестройке пространственной структуры экосистемы бухты.

этого может явиться долго-временная последовательная серия специальных карт, составленных с одинаковой инструментальной точностью по единой методике. Безусловно, производственный процесс картосоставления должен быть максимально автоматизирован, но это требует предварительной разработки методов фиксации и распознавания образов ландшафтов на морском дне, что далеко не так просто.

Исследование морского дна в биологических целях традиционно производится специфическими гидробиологическими методами с применением водолазного обследования, подводного описания сообществ животных и растений на месте или по фотографиям, методом отбора проб различными способами, с дальнейшей длительной лабораторной разборкой и определением биологического материала. Это очень длительный, трудоемкий и дорогостоящий процесс. Совмещение результатов этих работ с экспресс-данными, получаемыми подводными автономными и дистанционно управляемыми аппаратами, весьма затруднительно, поскольку всегда существует большой временной разрыв и отсутствует гарантия точного пространственного совмещения сравниваемых данных. Материалы, полученные автоматическими средствами, в обязательном порядке требуют дополнительного подтверждения их достоверности. Эта проблема хорошо известна геодезистам, геологам и лесникам, уже достаточно давно перешедшим к аэрокосмическим методам исследования соответствующих природных объектов. Требуется отработка какого-то аппаратного модуля или соз-

Успешность разработки научных основ рационального природопользования в прибрежной зоне моря также, как и на суше, зависит в первую очередь от адекватности наших представлений о строении и функционировании природных систем и о состоянии среды и средообразующих факторов.

В результате наших многолетних усилий в сознание пользователей морскими ресурсами России постепенно внедряется мысль о необходимости введения термина «морское угодье», и уже началось долгожданное обсуждение тезиса о кадастре морских угодий. Вместе с тем требуется разработка оперативных методов кадастровых исследований, к чему нами предприняты большие усилия. Одним из трудных методиче-

ских аспектов здесь является выработка оперативных критериев биологической продуктивности больших морских площадей. Основные надежды в этом отношении, естественно, возлагаются на применение автономных подводных аппаратов. Однако вначале вся эта работа должна быть проделана вручную.

Мониторинг состояния экосистем основан на слежении за динамикой различных составных частей экосистемы. Суждение о динамических процессах в экосистемах выносится на основании знания временного изменения их пространственной структуры, и основным инструментом для этого является последовательная серия фиксированных состояний. Наиболее адекватным инструментом для

690041. Владивосток, ул. Радио, 7.  
E-mail: zhar@tig.dvo.ru; prbz@tig.dvo.ru;  
prbz@mail.ru

дание переходного процесса, позволяющего совместить оперативные данные, полученные с помощью автоматики, и разнесенные по пространству и времени разнородные данные предыдущих или сопутствующих натурных тематических исследований.

Таким переходным модулем нам видится отработка методологии подводного ландшафтного картографирования, основанного на водолазном обследовании акватории в сопровождении фото- и видеопрофилирования. Такая работа проведена нами в рамках договора о творческом содружестве трех институтов (ТИГ, ТОИ и ИПМТ ДВО РАН) в легко доступной в течение круглого года бух. Алексеева на о-ве Попова в Японском море, на стационаре ТОИ ДВО РАН.

Бухта Алексеева представляет собой полузакрытую акваторию эстуарного типа, глубоко врезанную в береговую линию о-ва Попова и выходящую в Амурский залив в направлении с юго-востока на северо-запад. Ее физико-географические условия, гидрологические и гидрохимические параметры достаточно подробно описаны [21, 9, 10, 31, 19]. Общая оценка экологической ситуации в бухте по биологическим и биогеохимическим показателям сделана в работе [7].

Цель настоящей работы – построить современную картографическую модель бух. Алексеева на базе ландшафтного подхода. Ландшафтное представление современной структуры экосистемы должно быть максимально точно сопоставлено с опубликованными ранее данными и графическими материалами, относящимися ко времени функционирования в этой бухте плантации марикультуры. Проведя ретроспективный анализ изменений, сопоставимых с марикультурной

деятельностью, следует выделить те характеристики, которые и ранее не могли не иметь явных проявлений в ландшафтах и с наибольшей вероятностью включены в формирование современной ландшафтной структуры бухты.

## ■ Материал и методика

Сбор материалов проведен по принятой в лаборатории морских ландшафтов ТИГ ДВО РАН методике картографирования подводных ландшафтов с использованием легководолазного снаряжения. Ландшафты выделялись в соответствии с системой визуальных картировочных признаков и классифицировались на основе типологии и номенклатуры прибрежных донных ландшафтов Японского моря [2,3,16,26].

Пространственная привязка полевых наблюдений обеспечивалась GPS-навигаторами GARMIN моделей GPS72 и 420s, позволяющими определять координаты точек с ошибкой не более 15 м. Для просмотра, создания и редактирования точек ландшафтных описаний, картировочных маршрутов и траекторий движения использовалось программное обеспечение MapSource 6.15.6. Топографическая основа, загружен-

ная нами в GPS-навигаторы и ПК, имеет масштаб 1:50000, батиметрические данные взяты с карт М 1:25000. В качестве картографической основы ландшафтной карты нами принят основанный на пешеходных GPS-привязках абрис береговой линии бухты (рис. 1), что позволило представить результаты съемки в масштабе 1:5000.

При проведении картографических работ по длинной оси акватории на якорях устанавливались позиционированные буи, от которых прокладывались разрезы в направлениях, выбранных на основе анализа серии карт рельефа дна, распределения типов донных осадков и биоценозов.

Для максимально точного определения положения водолаза под водой и привязки подводных ландшафтных описаний и фото-видеоматериалов служил прибор позиционирования – XIOS EyeSea, состоящий из ультразвукового излучателя, укрепленного на буйрепе (рис. 2), буйрепа и приемника-дисплея на руке водолаза или на палетке, показывающего направление на буй и расстояние до него с точностью до 1 м.

Водолаз-картировщик при прохождении маршрута снабжен палеткой с глубиномером

Рис. 1. Расположение разрезов и точек наблюдения на полигоне. Пешеходный абрис бухты показывает хорошую сходимость с береговой линией (Проекция Google)

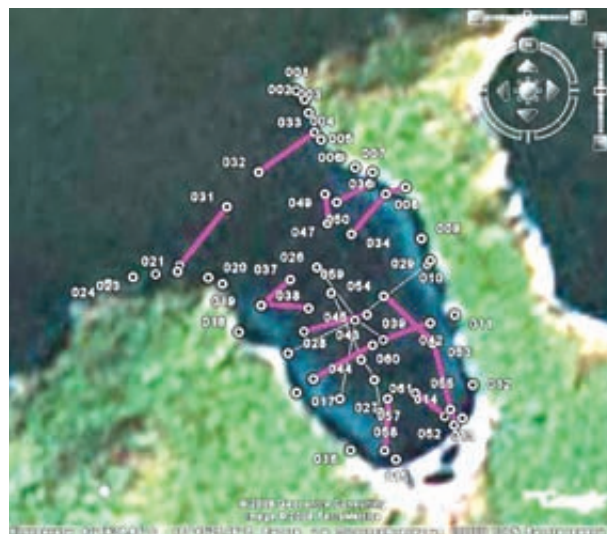




Рис. 2.  
«Пингер» – передатчик  
на буйрепе и приёмник  
на руке водолаза

и компасом (рис. 3) и цифровой фото- и видеокамерой.

Фото- и видеосъемка велась цифровыми фотоаппаратами Olympus C-4000 Zoom (с боксом IKELITE), Sony DSC-T70 (бокс МРК-ТНЕ) и видеокамерой Panasonic NV-VX 500 (подводный бокс сконструирован и изготовлен к.б.н. Н.А. Ивановым). Анализ повторных фото- и видеоматериалов с подводных профилей не только фиксирует динамику ландшафтов и распределения гидробионтов, но и позволяет понять, являются ли эти изменения сезонными флуктуациями или представляют собой направленные трансформации в связи с изменениями природной среды [1,30]. Такой анализ нами запланирован, и уже начата регулярная сезонная съемка стандартных ключевых участков.

Начало подводного маршрута фиксировалось синхронизацией отметок времени на GPS-приемнике и на экране камеры. Точка окончания маршрута и время всплытия фиксировались таким же образом, отсечки при пересечении границ ландшафтов, длина и направление пройденного маршрута регистрировались по данным на дисплее XIOS синхронно со временем в кадре видеокамеры и на GPS-приемнике. Для уточнения пространственного положения границ картируемых полей использовались поплавки, выбрасываемые водолазом при пересечении резких ландшафтных рубежей. При появлении поплавка на поверхности его GPS-координаты фиксировались наблюдателем в лодке сопровождения.



Рис. 3.  
Подводная документация  
с применением  
пластиковой палетки

Основной объем картографической съемки выполнен в июле и сентябре 2007 г., в июле следующего года были проведены маршруты, уточняющие границы ландшафтов. В зимний период 2009-2010 гг. нами проведен детальный видеоконтроль ранее выделенных ландшафтных полей со льда погружением специальной видеокамеры в пробуренную лунку с ее точной GPS-привязкой.

В ходе работ на акватории выполнено 40 точечных описаний и 26 подводных маршрутов (рис. 4).

Составление карты ландшафтов велось традиционным методом интерполяции границ между непрерывными продольными и поперечными маршрутами с нанесением на линию маршрута границ смены подводных ландшафтных полей (бен-тем).

«Бентема» – термин, предложенный для обозначения подводных аналогов наземных ландшафтов, возникающих на границе соприкосновения литосферной оболочки с гидросферой и биосферой. Бентема характеризуется специфическими геоморфологическими характеристиками (уклонами, рельефом), составом грунта, его гранулометрией и литодинамическими характеристиками, микрорельефом, зависящим от специфической волновой динамики, аккумулятивных или деструктивных процессов, активности животных, специфическими следами жизнедеятельности живых существ, постоянным или временным присутствием тех или иных форм живых организмов. Бентемы могут быть опознаны, классифицированы, им могут быть присвоены номенклатурные названия и условные картографические обозначения [26].



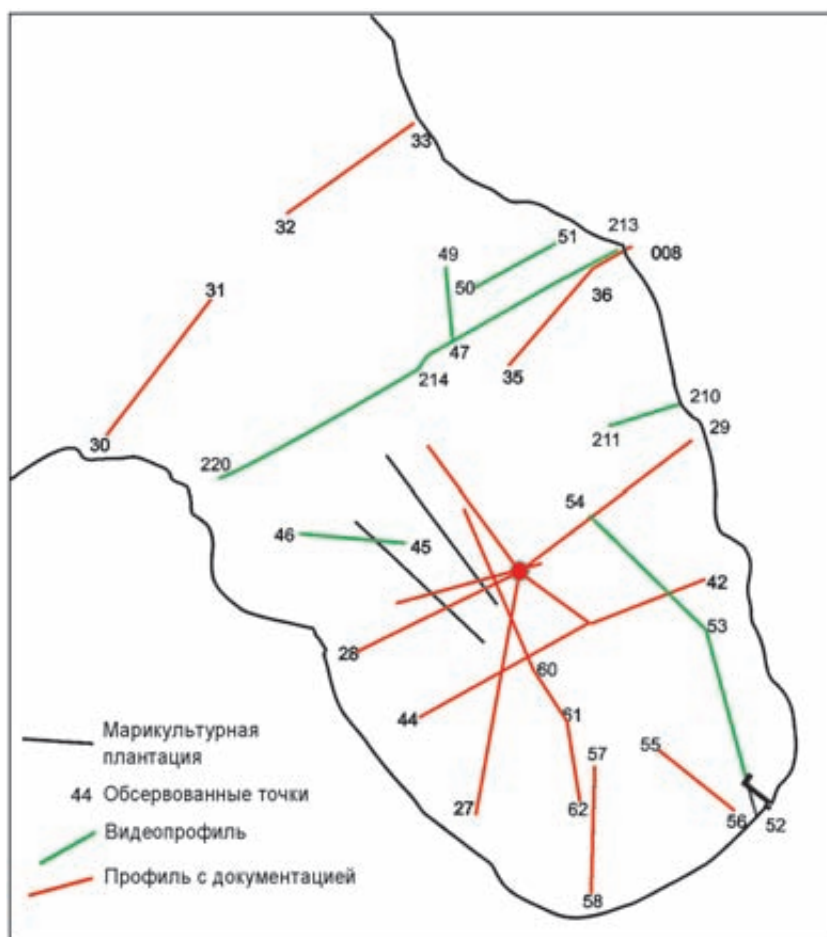


Рис. 4. Карта подводных маршрутов

## ■ Результаты и обсуждение

Ретроспективный анализ трансформаций в экосистеме бух. Алексеева заключался, во-первых, в фиксации структурно-функциональных изменений в экосистеме, связанных с активной марикультурной деятельностью и описанных в ряде работ, специально посвященных этому вопросу. На этой стадии мы акцентировали внимание на тех изменениях, которые в той или иной степени отражались в ландшафтах и могли быть унаследованы современной ландшафтной ситуацией. Во-вторых, анализ основывался на тщательном изучении обстановки, сложившейся в период, предшествовавший размещению в бухте установок марикультуры, и

ее сопоставлении с современной ландшафтной структурой бухты. Такой подход позволяет установить, как менялась экосистема под действием связанных с марикультурой факторов, выделить этапы и периоды изменений, определить, каким образом они проявились в современной ландшафтной структуре бухты, и оценить вероятность возвращения экологической обстановки в исходное состояние.

### ■ Структурно-функциональные изменения в экосистеме, связанные с марикультурной деятельностью

В период активной марикультурной деятельности (1978-1988 гг.) на акватории

бухты функционировала плантация приморского гребешка с общей площадью подвесных конструкций до 6 га, кроме того, на площади около 14 га производился высеv гребешка на грунт. Пищевые потребности моллюсков составляли около 18% органического вещества, взвешенного в водной толще; за сутки объекты культивирования отфильтровывали около пятой части объема воды в бухте и ежегодно выделяли до 17 т продуктов своей жизнедеятельности [27].

Изменения на уровне перестройки микробного сообщества были зафиксированы И.К. Щегловой и Ю.Э. Брегманом (1988), показавшими, что численность бактерий в грунте под плантацией, по сравнению с их количеством в контрольной зоне, повысилась в 5-10 раз. В проведенных здесь в это же время исследованиях планктона отмечались увеличение биомассы диатомовых водорослей – индикаторов эвтрофикации [25], снижение численности личинок приморского гребешка [14] и трепанга [20]. Изучение динамики сообщества усоногих раков позволило сделать вывод о связи изменений видового состава и количества личинок балянусов с функционированием на акватории бухты плантации гребешка [18]. Трансформации затронули и ихтиофауну: исчезли наиболее чувствительные к качеству воды и содержанию кислорода виды рыб, возросла численность эврибионтных видов [13].

Исследования структуры мейобентоса бух. Алексеева показали, что в районе плантации грунт представлен черным тонким илом с примесью битой ракушки. Интенсивное заиление осадков наблюдалось и на остальной части акватории. Среднее содержание органического вещества составляло 4-5%. Под установками с

садками гребешка отмечалась очень высокая плотность мейобентоса с обедненным, по сравнению со свободными от садков участками, таксономическим составом и аномальным количеством нематод, гарпактицид, остракод и фораминифер [10,11,24]. Избыточное поступление органического вещества на дно вызвало развитие анаэробных процессов, дефицит кислорода в летний период, появление сероводорода и как следствие – перестройку донных сообществ и деградацию экосистемы. Через несколько лет после начала культивирования выяснилось, что скорость роста гребешка в бух. Алексеева ниже, чем в других районах, а особи, достигшие товарного размера, подвержены многочисленным заболеваниям [20]. Тогда же были выявлены гистопатологические изменения гонад и нарушения репродуктивных функций у двух видов морских ежей [6,7,40].

Приведенные результаты позволили большинству авторов цитируемых работ рассматривать подвесную культуру гребешка как причину резкого ухудшению экологической ситуации в бухте. Вместе с тем комплексное исследование, проведенное М. А. Ващенко с соавторами, выявило, что одной из дополнительных причин патологических изменений в организме гидробионтов может быть их интоксикация ртутью [8]. Ранее о повышенном содержании тяжелых металлов в тканях обитающих здесь моллюсков сообщалось в работе [31], расценившей этот факт как свидетельство антропогенного воздействия, связанного с близостью бухты к городу и влиянием загрязненных вод Амурского залива. В качестве источника загрязнения рассматривались и подводные выходы грунтовых вод у северо-восточного бере-

га бухты, где выявлена зона с концентрациями ртути, превышающими фоновые в 5-10 раз [19]. Таким образом, загрязнение тяжелыми металлами и его последствия вряд ли связаны с марикультурной деятельностью. Кроме того, результаты, полученные при исследованиях в зал. Восток (зал. Петра Великого), позволяют утверждать, что загрязнение органическими веществами и биогенными элементами при выращивании моллюсков влияет на структурно-функциональные характеристики морских экосистем в гораздо большей степени, чем растворенные и взвешенные формы тяжелых металлов [28].

После ликвидации плантаций тонкие илы в центральной части бухты начали сменяться разноструктурным илом и заиленным песком. Уже через год условия для развития мейобентоса стали более благоприятными, плотность поселения организмов на участках, ранее занимаемых плантациями, снизилась в три раза, а на остальной акватории увеличилась почти вдвое. В мейобентосе возросло биологическое разнообразие на уровне таксономических групп [23,24,29].

#### ■ Ретроспективный анализ изменений ландшафтной структуры бухты

Определяя конечную точку ретроспективного анализа, мы могли полагаться лишь на одно достаточно подробное исследование [9], в котором приведены материалы по видовому составу и количественному распределению бентоса бухты и, главное, представлена карта донных биоценозов.

Характеризуя эти материалы, необходимо начать с того, что в те годы как точная картографическая основа для исследований, так и аккуратная

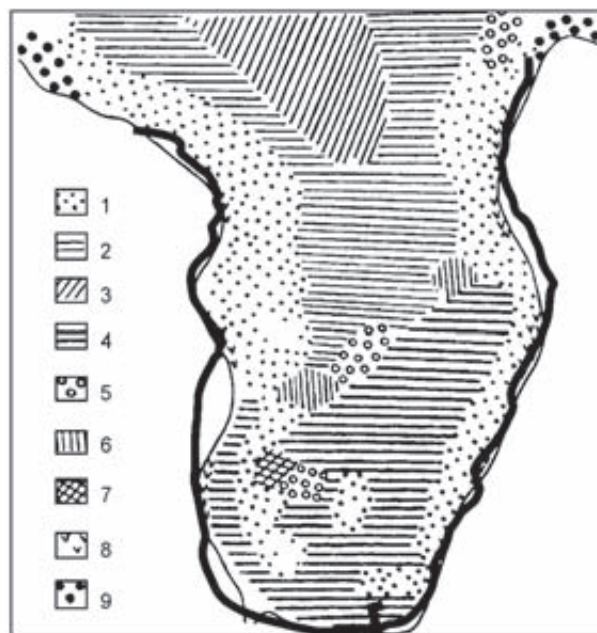
привязка точек обследования были практически недоступны. Большинство топографических и навигационных карт даже среднего масштаба носили гриф «для служебного пользования», не говоря о запрете на их публикацию в открытой печати. Отсутствием детальных карт и хорошо обследованных береговых ориентиров была обусловлена проблема точной привязки местоположения станций даже в тех случаях, когда исследователи использовали размеченные трансектные шнуры под водой, секстан и протрактор или вели определение координат точек опробования навигационными средствами экспедиционного судна. Из-за несовершенства технологии картографирования нередко проба отбиралась «где-то тут», что не позволяет говорить о результатах такой съемки как адекватной картографической модели. Тем не менее мы попытались провести наложение «старой» информации на современную картографическую и ландшафтную основу (рис. 5).

Приведение графических изображений береговой линии к единому масштабу и единым абрисам с применением конформных преобразований программными средствами сегодня не представляет большой трудности. Затем, пытаясь обнаружить тенденции изменений, мы соотнесли общие контуры современной ландшафтной структуры с контурами локализации биоценозов, а выделив при анализе фото- и видеоматериалов визуально доминирующие в ландшафтах комплексы видов, сопоставили их местообитания с былым распределением сообществ и биотопов.

Здесь необходимо пояснить, что с конца 90-х гг. прошлого века за рубежом также ведутся активные работы по картографированию морских местообитаний. Базовыми

понятиями при этом являются местообитания и биотопы, причем в необычно расширенном толковании – сочетание среды и комплекса наиболее характерных, заметных видов [34,35,36,37,38]. Не вступая в дискуссию об оправданности включения биотических признаков в определение биотопа и местообитания и разделяя сомнения в теоретической обоснованности такого шага [17,39], мы в рамках этой статьи согласимся с мнением С.Н. Оленина, считающего, что для нужд практического картирования это «...пожалуй, можно и, даже, нужно» [22]. Ведь часто по наличию или отсутствию визуально опознаваемых организмов можно судить об изменениях физико-географических условий, которые чаще всего невозможно уловить инструментальными методами полевых наблюдений, особенно при одноразовых или нерегулярных съемках. Визуально фиксируемые биотические признаки не только отражают ситуацию в момент наблюдения, но и представляют интегрированную информацию об абиотических условиях за весь период обитания организма в данном месте. Такой подход позволяет нам сравнивать современное распространение биотопов и местообитаний, выделенных по характерным комплексам видам при анализе картографических данных, ландшафтных описаний и фото-видеоматериалов с данными гидробиологического картографирования в конечной точке ретроспективного анализа. И хотя методические различия гидробиологической и ландшафтной съемок не позволяют ожидать полного совпадения картографических результатов даже при условии отсутствия пространственных изменений экосистемы, такое сравнение дает основания для выявления существенных трансформаций

Рис. 5.  
Конформно преобразованная карта биоценозов. Степень искажения первоначальной основы видна по колонке с условными обозначениями



пространственной структуры.

Основным элементом пространственной структуры экосистемы бухты, определенным Г. Н. Воловой с соавторами [9] как биоценозы (комбинации сообществ и биотопов), в настоящее время пространственно соответствуют восемь типов ландшафтов, выделенных на той же площади и отличающихся друг от друга специфическим уклоном и рельефом дна, материалом и гранулометрическими характеристиками грунтов, составом и плотностью поселения растений и животных макробентоса (рис. 5).

#### ■ Современные ландшафты и бывшее распространение биоценозов

Несмотря на различие картографических проекций общий абрис контуров полей в сравниваемых случаях хорошо совпадает. В целом ландшафтная структура бух. Алексева, отражающая градиентное взаимодействие между водной массой, литодинамическими процессами и биотой, оказалась достаточно типичной вообще для приасовых бухт, широко

распространенных в Южном Приморье.

Распределение бентем в порядке следования от глубоководных к самым мелководным выглядит следующим образом.

В выходной и центральной частях бухты на глубинах от 19 до 10 м прослежена пологая впадина, в которой сформирована *ретина* (рис. 6).

Описание этой и всех остальных бентем можно найти в Атласе подводных ландшафтов Японского моря, и поэтому здесь мы его опускаем. Ширина поля ретины достигает двух третей ширины бухты у выходных мысов. По данным, характеризующим исходную ситуацию, предшествовавшую строительству плантаций гребешка и мидии, здесь на заиленных грунтах с примесью обломочного материала был развит биоценоз асцидий *Halocynthia aurantium* и *H. roretzi* (3 на рис. 5), окаймлявшие его илестые грунты были заняты биоценозом с доминированием полихет *Maldane sarsi* (2 на рис. 5). Отметим, что такое расположение грунтов со значительным количеством обломочного материала, обрамленных по направлению к берегу осадками более



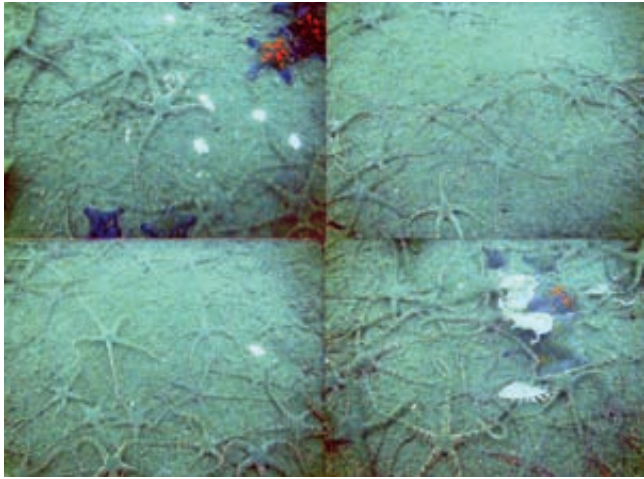


Рис. 6. Ретина

тонких фракций, представляется очевидным нарушением нормальной литогенетической последовательности распределения осадков на подводном береговом склоне. И если это не искажение реальной картины, обусловленное плохой привязкой бентосных станций, мы должны предположить, что либо гидродинамический режим, существовавший в наиболее глубоководной части полузакрытой бухты, не позволял захоронить обломочный материал под слоем илистых отложений, либо обломки представ-

ляют собой свежий, постоянно обновляющийся эрратический материал ледового разноса в весеннее время.

Следующий в порядке следования от глубоководных ландшафтов к мелководным – веррукоид (рис. 7).

Веррукоид, концентрически опоясывая ретину, распространяется полосой шириной от 50 до 200 м на глубинах 8-10 м в устьевой и от 5-10 м в кутовой частях бухты. На схеме Г.Н. Воловой с соавторами эти участки были заняты биоценозом с доминированием *Zostera*

*marina*, *Stychnopus japonicus* (сейчас *Apostistichopus japonicus*), *Patinopecten yessoensis* (= *Mizuchopecten yessoensis*) (4 на рис. 5), располагавшимся на песчано-илистом с примесью гравия и щебня грунте в кутовой и восточной частях, а также вдоль юго-западного берега бухты. На небольших площадях с илистым грунтом и примесью битой ракуши, песка и гравия отмечался биоценоз *Modiolus difficilis* (5 на рис. 5), где заметную роль играли асцидии, иглокожие и различные виды полихет. На глубинах 3-4 м участки, сложенные крупнозернистым песком с примесью мелкообломочного материала, были заняты биоценозом *Ulva fenestrata* + *Chaetopterus variopedatus* (6 на рис. 5).

В приустьевой части бухты со стороны берега к ретине примыкает узкая полоса конхия (рис. 8).

Ширина полосы конхия не превышает 10-20 м. На участках с глубинами 5-6 м, занятых сегодня конхием, полосами располагался биоценоз *Crenomytilus grayanus* (1 на рис. 5), в котором доминирующий вид образовывал отдельные друзды, в состав которых входили асцидии и модиолус.

С прибрежной стороны конхий на глубине от 3-4 до 1 м опоясан полосой сплошных зарослей зеленой водоросли *Ulva fenestrata*, покрывающих полого-наклонные поверхности светлоокрашенных песчано-дресвяных отложений, формирующих мелководные прибрежные откосы бухты по ее внутреннему периметру. В прогалинах между куртинами водорослей встречаются разрозненные друзды мидий, устриц, одиночные звезды *Patiria pectinifera*. Бентема не получила пока никакого терминологического названия и обозначена на карте как «поле *Ulva*» (рис. 9). Ширина поля от 10-25 м в

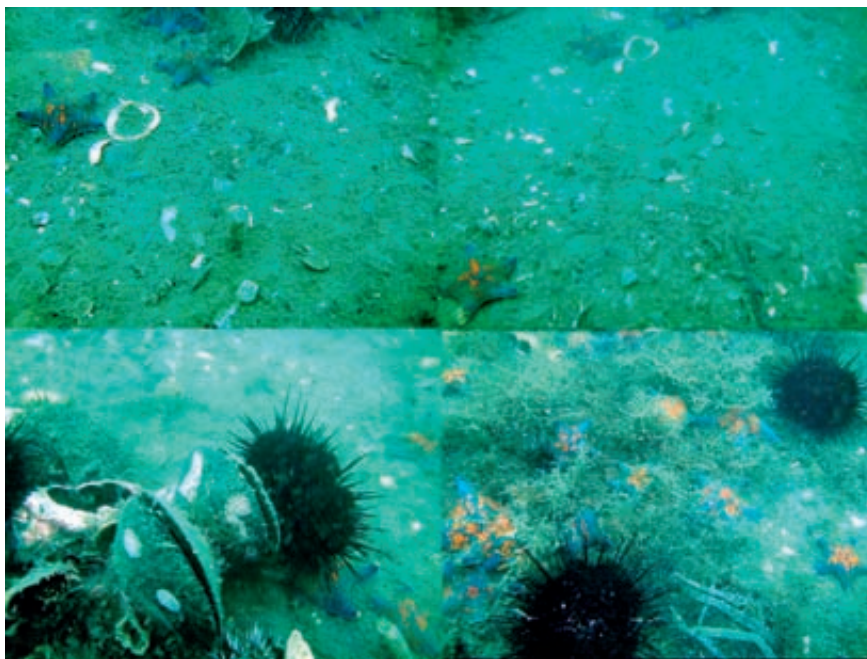


Рис. 7. Веррукоид



приустьевой части бухты и до 50 м в ее кутовой части, где оно переходит на оба борта. Ранее эти районы занимали биоценозы *Z. marina* + *S. japonicus* + *P. yessoensis* (4 на рис. 5) и *C. grayanus* (1 на рис. 5).

В кутовой части бухты, параллельно ее северному берегу, на пологой дресвяной возвышенности, на глубине 1-3 м поле ульвы прерывается четко очерченной локальной полосой зарослей морских трав. Это своеобразный тип бентемы, опознаваемый нами как *сегетий* – куртины и сплошные заросли морских трав. По комплексу биотических признаков ландшафт соотносится с биоценозом *Z. marina* + *S. japonicus* + *P. yessoensis*, однако трепанги и гребешки в этих местообитаниях ныне не только не доминируют, но и отсутствуют вовсе. Ширина поля сегетия в бухте от 15-20 м в северо-восточной части до 200-250 м в кутовой (рис. 9).

Ближе к берегу, снаружи от поля *Ulva* и сегетия, практически по всему периметру бухты прослеживается пояс *фрактура* (рис. 10).

Для этого ландшафта характерны сложный рельеф, представляющий собой пологую увалистую поверхность, сложенную желтовато-серой дресвой и щебнем липаритов, изрытым кратерами, отверстиями, обломки пород обросли корками известковых водорослей, встречаются заросли зеленых и бурых водорослей. На значительных площадях, прилегающих к фрактуру в кутовой части бухты, наблюдается массовое развитие зеленых водорослей (главным образом *U. fenestrata* и *Entheromorpha clathrata*). Вероятно, столь бурный расцвет зеленых водорослей можно объяснить близостью устья ручья и поступлением бытовых стоков. Зимой эти поля сплошь покрыты нит-

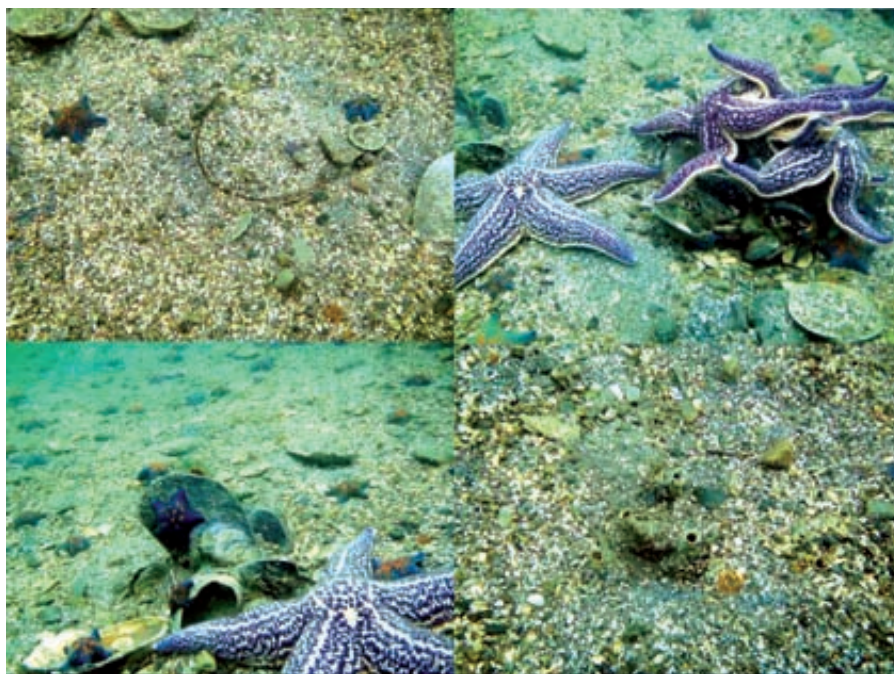


Рис. 8. Конхий на границе с веррукоидом



Рис. 9. Мелководье кутовой части бухты с зарослями зостеры и ульвы

чатыми водорослями, столь же явным показателем высокой эвтрофикации.

Вдоль обрывистых побережий юго-западной и северо-восточной береговой линии бухты развиты поля *концизия* (рис. 11).

Грубообломочные подводные развалы скальных облом-

ков и крупных блоков коренных пород с хорошо развитой эпифитной составляющей соответствуют биотопу биоценоза *Strongylocentrotus nudus* + *Strongylocentrotus* (9 на рис. 5). Сообщество черных и серых морских ежей распространяется на скалисто-валунном грунте и выходах коренных пород в



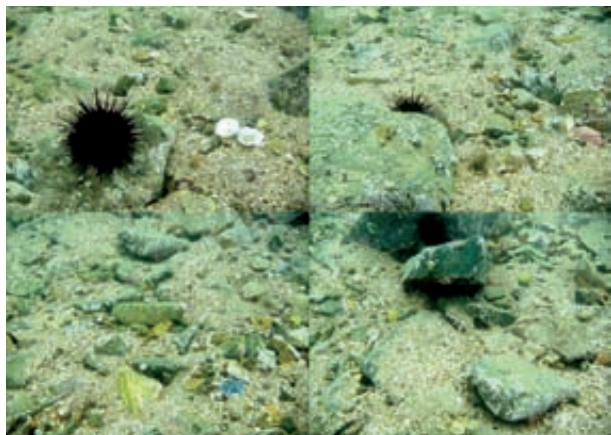


Рис. 10. Фрактум



Рис. 11. Концизий. Хорошо видны крупные черные морские ежи



Рис. 12. Заросли водоросли Sargassum в прибрежном мелководье

открытой части бухты на глубинах 3-10 м. В сообщество входят несколько видов морских звезд, часто встречаются брюхоногие моллюски *Niveotectura pallida* и *Cryptonatica janthostoma*. В фитобентосе кроме известковых водорослей отмечены морская трава *Ph. iwatensis* и бурая водоросль *Desmarestia viridis*.

Вдоль северного обрывистого берега бухты полосой не более 15-20 м в ширину располагается мелководная прибрежная платформа, сложенная липаритовой дресвой, густо поросшей саргассами (рис. 12).

#### ■ Оценка современного распространения биотопов биоценозов, выделявшихся в 1968-1971 гг.

Современное распределение местообитаний *C. grayanus* совпадает с полями концизия и захватывает узкую полосу примыкающего к нему фрактума на скалистых и валунных участках. «Титульный» вид биоценоза сегодня может рассматриваться как доминирующий только на глубинах не менее 3 м. Это диапазон глубин, доступный массовым ныряльщикам, с деятельностью которых мы склонны связывать практически полное исчезновение вида на мелководье вдоль бортов бухты (рис. 13).

Биотопы с доминированием полихет *M. sarsi* в настоящее время занимают гораздо меньшие по сравнению с исходной ситуацией площади. Наблюдаемые изменения позволяют предполагать уменьшение в сообществе доли *M. sarsi* и увеличение этого показателя для офиур *O. sarsi*. Участки доминирования *M. sarsi* приурочены сейчас к границе ретины и веррукоида. Известно, что *M. sarsi* обитает преимущественно в незагрязненных районах, не выносит ухудшения кислород-

ного режима в грунте и часто используется как индикатор чистой среды [4,5].

Биотопы с доминированием асцидий *H. aurantium* и *H. roretzi* по совокупности классификационных признаков в нашей номенклатуре соответствует веррукоиду. Границы бывшего распространения биоценоза *H. aurantium* и *H. roretzi* совпадают по контурам с современным полем ретины, где асцидии сегодня практически полностью отсутствуют, а площади местообитаний этих видов значительно уменьшились. Отсутствие асцидий в центральной глубоководной части бухты в настоящее время отмечалось и в специально проведенном исследовании состояния биотопов асцидий в бухте [15]. По-видимому, обломочный материал, служивший асцидиям субстратом для прикрепления, был погребен под тонкодисперсными осадками. Сейчас на этих участках визуальнo доминируют полихеты сем. *Spionidae*, *M. sarsi* и офиуры *O. sarsi*.

Значительно уменьшились и площади, занимаемые биоценозами *Z. marina* + *S. japonicus* + *P. yessoensis* и *C. grayanus*. В северо-западной и центральной частях бухты от сплошных зарослей морских трав остались лишь редкие пятна и небольшие куртины, заметно сократилось присутствие сопутствующих видов, а некоторые из них почти исчезли (приморский гребешок и дальневосточный трепанг). Современное распространение измененного таким образом биотопа zostеры совпадает с контурами ландшафтных полей сеgetия.

Границы бывшего распространения биоценоза *M. dif-  
ficilis* точно совпали с полями конхия, заполненного мертвыми раковинами двустворок, и здесь этот моллюск сегодня как минимум не доминирует ни по численности, ни по биомассе.

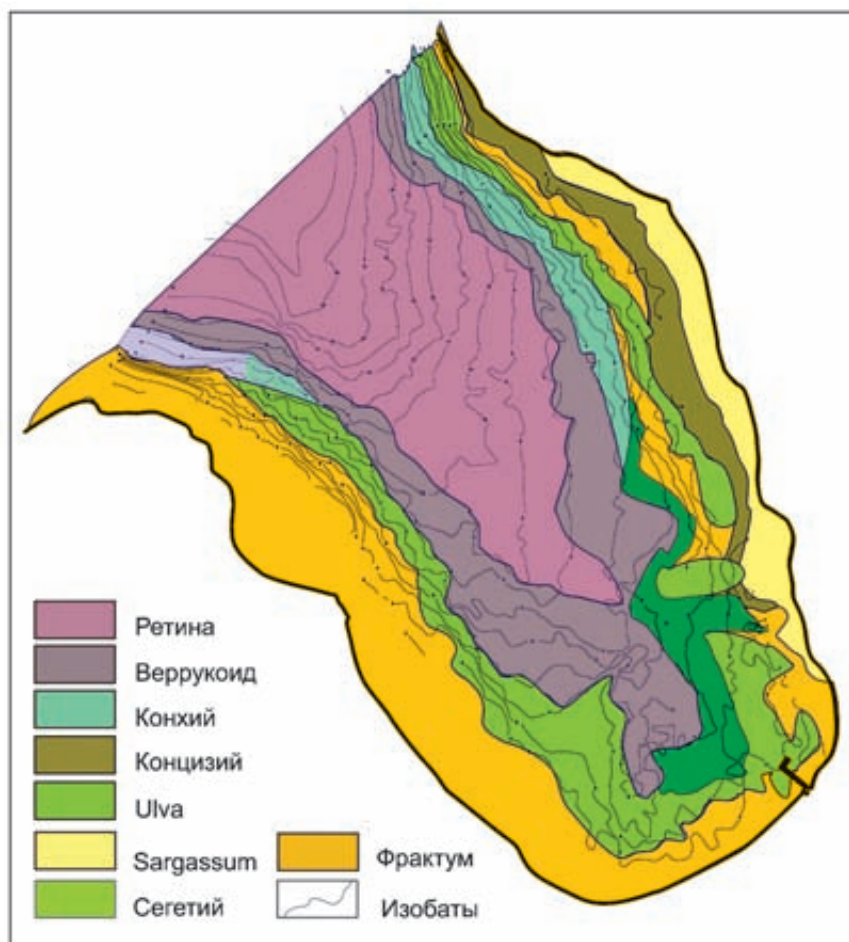


Рис. 13. Карта бентем бухты

Область бывшего распространения биоценоза *U. fenestrata* + *Ch. variopedatus* в северо-западной части бухты лежит в современном поле сеgetия, где теперь на илистых грунтах и заиленном песке распространено сообщество *Z. marina*, а участок, занимавшийся этим биоценозом в юго-восточной части бухты, соответствует полю веррукоида, измененного остатками затопленных марикультурных установок.

Здесь же, на месте плантации и немного ближе к вершине бухты, был локализован биоценоз *E. cordatum* + *C. grayanus* + *Ch. variopedatus*, теперь этот участок занят кутовым полем конхия. Биотоп *C. grayanus* по-прежнему является основным для этих участков, однако плотность поселения мидии Грея

здесь, по визуальным признакам, снизилась, а сердцевидные ежи *E. cordatum* и полихеты *Ch. variopedatus* практически полностью исчезли. Кстати, исчезновение именно этих видов из состава донного населения в результате накопления органического вещества в донных отложениях бухт залива Посьета отмечено в работе А.Н. Голикова с соавторами [12].

Пространственно разоб-  
щенный биоценоз *Gratelupia  
divaricatum* + *U. fenestrata* и *Patiria (Asterina) pectinifera* в ландшафтной структуре бухты сегодня соответствует прибрежным накоплениям дресвы, а на северо-восточном побережье ему же соответствует мелководное поле саргассовых водорослей в затишной зоне под береговым обрывом на песке и дресве.



Упоминания полей саргассовых водорослей в исходной работе не обнаружено.

Биоценоз с доминированием *Strongylocentrotus nudus* + *Strongylocentrotus intermedius* однозначно соответствует полям концизия на выходных мысах, биотопы этих иглокожих полностью сохранили контуры пространственного распределения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ретроспективный анализ трансформаций экосистемы, связанных с культивированием моллюсков на акватории бух. Алексеева, позволил установить следующее.

Сразу после создания марикультурной плантации на акватории начались значительные структурно-функциональные изменения биоты, инициированные факторами, связанными с эвтрофикацией в результате жизнедеятельности культивируемых моллюсков и ослаблением гидродинамического режима вследствие размещения установок. В бухте сформировался специфический для акваторий марикультурного

использования комплекс условий, обеспечивающий обильное развитие бактерий и микрофитобентоса, что, в свою очередь, провоцировало резкое увеличение количества мейобентоса. Низкая степень водообмена в полузакрытой бухте была снижена конструкциями установок, избыточное поступление органического вещества на дно вызвало перестройку донных сообществ и деградацию экосистемы (рис. 14).

В этот период происходило внедрение в состав фитоценозов зеленых водорослей, связанное с эвтрофикацией акватории. После прекращения культивирования антропогенное воздействие осталось на достаточно высоком уровне, хотя и стало носить в основном рекреационный характер. Вероятно, с этим связаны летние вспышки биомассы полисапробных видов зеленых водорослей в вершине бухты. В то время, когда доля проективного покрытия зеленых водорослей возросла, доля бурых и красных водорослей сократилась незначительно, а на выходе из бухты осталась на прежнем уровне, что соответствует первому этапу антропо-

генной трансформации макрофитобентоса.

Площади, занятые автотрофными фациями, где основным продуцирующим элементом являлись заросли зостеры, существенно снизились, а гетеротрофными – возросли.

Вследствие поступления основных масс рыхлых осадков центральное глубоководное поле веррукоида за прошедший период времени превратилось в ретину. Концентрически окаймляющий современную ретину веррукоид по той же причине продвинулся вглубь бухты и в осевой части бухты заместил собой биоценозы *M. difficilis* и *U. fenestrata* + *Ch. variopedatus*. Уменьшились площади биотопов относительно стенобионтных видов и увеличились эврибионтных видов, особенно устойчивых к заилению.

Изменения границ пространственного распределения затронули в основном сообщество мягких грунтов. Ландшафты и бентосные сообщества твердых субстратов остались практически прежними. Сообщество *C. grayanus* по-прежнему является основным для твердых грунтов, однако биомасса и плотность поселения мидии сильно снизились. Наиболее значимые изменения связаны с увеличением числа видов и биомассы зеленых водорослей. Снижение доминирования вида *M. sarsi* можно объяснить ухудшением качества среды из-за накопления органики и загрязняющих веществ. Как на мелководье, так и в глубоководной части бухты ландшафты закрытых участков подверглись большим изменениям, чем в открытых зонах, где гидродинамический режим препятствовал заилению. Все еще заметна сильная эвтрофикация в кутовой части бухты, где в зимнее время обильно размножаются нитчатые водоросли – признанный показатель эвтрофикации.



Рис. 14. Затопленные элементы установок марикультуры. Хорошо видно заиление

Считается, что после ликвидации марикультурных хозяйств восстановление биологических компонентов экосистем полузакрытых бухт до состояния, предшествовавшего периоду эксплуатации, происходит в течение 5-10 лет [23]. Этот вывод, по-видимому, справедлив для сообществ мейобентоса, но едва ли может быть распространен на изменения в ландшафтной структуре бухты. Действительно, заиленность грунтов на месте расположения плантации сейчас снизилась. Однако культивирование привело к накоплению значительного объема биогенных отложений, которые, перераспределившись, сконцентрировались в осевой глубоководной котловине, что не могло не привести к изменениям биотопов и местообитаний бентосных организмов. Браконьерское истребление практи-

чески всей популяции трепанга и гребешка (массовых видов детритофагов и сестонофагов) еще сильнее снизило скорость утилизации органического вещества в осадках бухты.

Необратимые изменения седиментологических характеристик грунтов привели к перестройке всей ландшафтной структуры бухты. Современная ландшафтная ситуация в значительной мере отличается от исходной. Фациальная структура бухты, по-видимому, стабилизировалась после прекращения марикультурной деятельности, однако нет никаких оснований предполагать, что экосистема бухты способна самостоятельно вернуться в исходное состояние.

Полученные нами материалы теперь было бы логично попытаться совместить с материалами профилирования, выполненного автономным

подводным устройством ИПМТ ДВО РАН на той же акватории.

### Благодарности

Авторы выражают свою искреннюю признательность тем, без чьей бескорыстной помощи проведение работ в условиях недостаточного финансирования было бы практически невозможно. За ведение подводной документации и участие во всех полевых работах мы благодарны к.г.н., сотруднику лаборатории морских ландшафтов ТИГ А.М. Лебедеву. За уют и ласку – директору стационара ТОИ ДВО РАН к.г.-м.н. П.С.Зимину, за техническую поддержку – В.И. Карманову и И.В. Восьмухину.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ОНЗ 09-1-ОНЗ-18 и ДВО РАН 09-III-09-509

### ЛИТЕРАТУРА

1. Адрианов Ф.В., Тарасов В.Г., Щербатюк А.Ф. Применение и перспективы сезонного видеомониторинга на особо охраняемых морских акваториях залива Петра Великого // Вестник ДВО РАН. 2005. № 1. С. 19-26.
2. Арзамасцев И.С., Преображенский Б.В. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. М.: Наука, 1990. С. 224.
3. Арзамасцев И.С., Мурахверы А.М. Типология донных ландшафтов Японского моря // Донные ландшафты Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. С. 129-145.
4. Белан Т.А. Макрозообентос мягких грунтов на акватории от приустьевоего участка реки Туманной до острова Фуругельма // Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра великого и устья реки Туманной. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 147-167.
5. Белан Т.А. Особенности обилия и видового состава бентоса в условиях загрязнения (залив Петра Великого, Японское море): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ДВНИГМИ, 2001. 26 с.
6. Ващенко М.А., Жадан П.М., Карасева Е.М., Лукьянова О.Н. Нарушение репродуктивной функции морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* в загрязненных районах залива Петра Великого Японского моря // Биол. моря. 1993. Т. 1, № 1. С. 56-57.
7. Ващенко М.А., Жадан П.М., Карасева Е.М., Лукьянова О.Н. Нарушение развития личинок морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* из загрязненных районов залива Петра Великого Японского моря // Биол. моря. 1994. Т. 20, № 2. С. 137-147.
8. Ващенко М.А., Лучшева Л.Н., Жадан П.М. и др. Оценка экологической ситуации в бухте Алексева (залив Петра Великого Японского моря) // Биол. моря. 1999. Т. 25, № 2. С. 96-97.
9. Волова Г.Н., Жакина Т.И., Микулич Л.В. Бентос бухты Алексева (залив Петра Великого) // Прибрежный планктон и бентос северной части Японского моря. Владивосток, 1980. С. 32-56.
10. Гальцова В.В., Павлюк О.Н. Мейобентос бухты Алексева (залив Петра Великого, Японское море) в условиях марикультуры приморского гребешка: Препринт №20. Владивосток: ИБМ ДВНЦ АН СССР, 1987. 50 с.
11. Гальцова В.В., Павлюк О.Н. Мейобентос в условиях марикультуры приморского гребешка в бухте Алексева Японского моря // Биол. моря. 1993, № 5/6. С. 17-22.
12. Голиков А.Н., Скарлато О.А., Бужинская Г.Н. и др. Изменения бентоса залива Посьета (Японское море) за последние 20 лет как результат накопления органического вещества в донных отложениях // Океанология. 1986. Т. 26. Вып. 1. С.131-135.
13. Гомелюк В.Е., Кондрашев С.Л., Левин А.В. Ихтиофауна бухты Алексева острова Попова (залив Петра Великого, Японское море) и влияние на нее культивирования приморского гребешка // Биология шельфовых и проходных рыб. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. С. 5-8.
14. Гуйда Г.М. Размножение и динамика численности личинок приморского гребешка *Patinopecten yessoensis* (Jay) в бухте Алексева (Амурский залив, Японское море) // Марикультура на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО, 1983. С. 25-28.



15. Долматова Л.С., Долматов И.Ю., Добряков Ю.И., Касьяненко А.А. Исследования состояния биотопов голотурий и асцидий в бухте Алексеева (залив Петра Великого) // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС, 2008. С. 261-269.
16. Жариков В.В., Преображенский Б.И., Лебедев А.М. Подводные геосистемы шельфа дальневосточных морей // Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX-XI веков. Т.1. Природные геосистемы и их компоненты. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 314-347.
17. Кафанов А.И. Историко-методологические аспекты общей и морской биогеографии. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2005. С. 208.
18. Корн О.М. Многолетние изменения видового состава и численности личинок усонюгих раков в бухте Алексеева острова Попова Японского моря // Биол. моря. 1994. Т. 20, № 2. С. 100-106.
19. Лучшева Л.Н. Содержание ртути в компонентах экосистемы бухты Алексеева (залив Петра Великого Японского моря) // Биол. моря. 1995. Т. 21, № 6. С. 412-415.
20. Масленников С.И., Корн О.М., Кашин И.А. Многолетние изменения численности личинок донных беспозвоночных в бухте Алексеева острова Попова // Биол. моря. 1994. Т. 20, № 2. С. 107-114.
21. Микулич Л.В., Бирюлина Н.Г. Сезонная динамика пелагических личинок донных беспозвоночных в б. Алексеева // Исследования океанологических полей Индийского и Тихого океанов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 137-148.
22. Оленин С.Н. О новой трактовке понятия "биотоп" в морской экологии // Современные проблемы паразитологии, зоологии и экологии: матер. I и II междунар. чтений, посв. памяти и 85-летию со дня рожд. С.С. Шульмана (март 2003 и февраль 2003 г., г. Калининград). Калининград: Изд-во Калинингр. гос. техн. ун-та, 2004. С. 304-315.
23. Павлюк О.Н., Преображенская Т.В., Тарасова Т.С. Межгодовые изменения в структуре сообщества мейобентоса бухты Алексеева Японского моря // Биол. моря. 2001. Т. 27, № 2. С. 127-132.
24. Павлюк О.Н., Требухова Ю.А., Чернова Е.Н. Мейобентос в условиях марикультуры приморского гребешка в бухте Миноносек (залив Петра Великого Японского моря) // Биол. моря. 2005. Т. 31, № 5. С. 329-337.
25. Паутова Л.А. Структура фитопланктона и роль динофлагеллят в прибрежных водах залива Петра Великого Японского моря (у острова Попова): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь: ИнБЮМ, 1987. 23 с.
26. Преображенский Б.В., Жариков В.В., Дубейковский Л.В. Основы подводного ландшафтоведения: (Управление морскими экосистемами). Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 352.
27. Седова Л.Г., Кошкарева Л.Н. Пищевые потребности культивируемых моллюсков в бухте Алексеева // Тез. докл. Всесоюз. совещ. 22-24 нояб. 1988 г. Владивосток: ТИПРО, 1988. С. 107-106.
28. Тарасов В.Г., Кияшко С.И., Адрианов А.В. Проблемы оценки влияния антропогенного загрязнения на функционирование прибрежных морских экосистем // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 239-276
29. Тарасова Т.С. Влияние среды на фауну бентосных фораминифер в прибрежных экосистемах // Биол. моря. 2006. Т. 32, №2. С. 85-94.
30. Ткаченко К.С. Использование видео- и фотометодов в гидробиологических исследованиях. // Биол. моря, 2005. Т. 31, № 2. С. 142-147.
31. Чернова Е.Н., Кавун В.Я., Христофорова Н.К. Оценка химико-экологических условий в районах культивирования моллюсков по микроэлементному составу съедобной мидии // Биол. моря. 1988. № 4. С. 71-74.
32. Щеглова И.К., Брегман Ю.Э. Трофическая деятельность культивируемых гребешков, перестраивающая микробный ценоз среды и биоты // Сырьевые ресурсы и биологические основы рационального использования промысловых беспозвоночных: тез. докл. Всесоюз. совещ. 22-24 нояб. 1988 г. Владивосток: ТИПРО, 1988. С. 107-109.
33. Ball D., Blake S. and Plummer A. Review of Marine Habitat Classification Systems // Parks Victoria Technical Series. 2006. No. 26. P. 50.
34. Connor D.W., Allen J.H., Golding N., et al. The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland Version 04.05. Joint Nature Conservation Committee (JNCC). Peterborough. ISBN 1 861 07561 8, 2004. (internet version) [Electronic resource]. URL: [www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification](http://www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification).
35. Connor D.W., Brazier D.P., Hill T.O., Northen K.O. Marine Nature Conservation Review: marine biotope classification for Britain and Ireland. Vol. 1. Littoral biotopes. Version 97.06. // Joint Nature Conservation Committee Report. 1997. No. 229. 445 p.
36. Connor D.W., Dalkin M.J., Hill T.O., et al. Nature Conservation Review: marine biotope classification for Britain and Ireland. Vol. 2. Sublittoral biotopes. Version 97.06 // Joint Nature Conservation Committee Report. 1997. No. 230. 448 p.
37. Madde C.J., Grossman D.H., Goodin K.L. Coastal and marine systems of North America: Framework for an ecological classification standard, version II. Arlington, Virginia: NatureServe, 2005. 40 p.
38. Madden C.J., Grossman D.H. A framework for a coastal/marine ecological classification standard. Arlington: NatureServe, 2004. 143 pp.
39. Olenin S., Ducrottoy J-P. The concept of biotope in marine ecology and coastal management // Marine Pollution Bulletin. 2006. № 53. P. 20-29.
40. Vaschenko M.A., Syasina I.G., Zhadan P.M., Medvedeva L.A. Reproductive function of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* Jay from polluted areas of Peter the Great, Sta of Japan // Hydrobiologia. 1997. V. 352. P. 231-242.