

И.Б.Аббасов

*Южный федеральный университет,
Инженерно-технологическая академия, г.Таганрог*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ МОНИТОРИНГА ВОДНОЙ СРЕДЫ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ

Работа посвящена обзору современного состояния методов и средств диагностики водной среды прибрежных акваторий. Описаны общие подходы к экологическому мониторингу природной среды, существующие разновидности средств диагностики. Рассмотрены возможности спутниковых средств мониторинга цветения водорослей в акваториях морей и океанов. Приведены методы дистанционного зондирования эффективного поиска рыбных ресурсов, гидрологических параметров: температуры поверхности моря, цвета океана и океанических течений. Рассмотрены вопросы мониторинга и моделирования морских экологических систем для анализа и прогнозирования динамики экосистем. Приведен обзор современных гидроакустических систем мониторинга подводной среды с использованием автономных подводных аппаратов, их особенности, перспективы развития.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *средства диагностики, водная среда, экологический мониторинг, спутниковый мониторинг, гидрологические параметры, подводные инженерные сооружения, автономные подводные аппараты, системы гидроакустического мониторинга*

doi: 10.22449/2413-5577-2019-1-29-39

Введение. Освоение морских ресурсов шельфовой зоны требует использования современных средств и методов экологического мониторинга антропогенного воздействия на окружающую среду. В результате проведенного обзора литературы по мониторингу шельфа Мирового океана существующие исследования можно условно разделить на:

- общие задачи мониторинга и диагностики;
- использование спутниковой информации для дистанционной диагностики;
- мониторинг сейсмической активности морского дна;
- мониторинг рыбных ресурсов;
- мониторинг экосистем с использованием подводных аппаратов
- подводные технические средства для археологических исследований;
- подводные аппараты для геологоразведки;
- современное состояние подводных аппаратов мониторинга;
- гидроакустические системы дистанционной диагностики шельфа.

Целью настоящего обзора является оценка существующих средств и методов мониторинга морских бассейнов и возможности их реализации для прибрежных акваторий на основе современных литературных источников.

Общие задачи мониторинга. Общий подход к экологическому мониторингу природной среды предусматривает следующие мероприятия [1, 2]:

© И.Б.Аббасов, 2019

- выявление и анализ конкретных антропогенных источников и факторов воздействия на природную среду;
- всесторонний анализ окружающей природной среды в районах возможного воздействия;
- экологический мониторинг природных объектов и процессов, подвергающихся воздействию.

Структура мониторинга антропогенных изменений окружающей природной среды должна включать следующие основные пункты:

- наблюдение за источниками и факторами воздействия;
- оценка и прогноз фактического состояния окружающей природной среды.

В [3] рассматриваются методика и результаты комплексных морских экспериментальных исследований по оценке экологического состояния участка морской акватории. Предложенный метод экологических исследований позволяет локализовать места и районы сброса грунта, а также оценить их пространственные размеры с высокой степенью точности и привязкой к географическим координатам. Комплексный анализ информации выявил устойчивую прямую зависимость между наличием на морском дне сброса грунта и значительным ростом количественных характеристик контролируемых показателей загрязнения морской экосистемы.

Дистанционный мониторинг с использованием спутников. Необходимость в более эффективном экологическом мониторинге океана в последнее время привела к заметным достижениям в исследованиях алгоритмов обработки цветных спутниковых снимков. Данные спутниковых снимков широко используются для обнаружения, картографии и мониторинга фитопланктона в океане. Цветение водорослей являются индикаторами состояния здоровья морских экосистем. Поэтому их мониторинг относится к ключевым параметрам эффективного управления прибрежными и океаническими ресурсами.

В [2] представлены результаты экологических исследований Таганрогского залива Азовского моря с помощью спутниковых спектрорадиометров. Таганрогский залив имеет очень высокую концентрацию хлорофилла фитопланктона, для мониторинга была отработана технология и проведены измерения в приповерхностном слое концентрации хлорофилла флуориметрическим методом. Показано, что в Таганрогском заливе наблюдается сильная временная и пространственная изменчивость концентрации хлорофилла фитопланктона в летний сезон. По результатам измерений концентрация хлорофилла в приповерхностном слое залива изменялась до десяти раз. Наблюдалось пятна повышенного содержания концентрации хлорофилла размером от нескольких километров до полутора десятков километров. Была выявлена сильная временная изменчивость концентрации хлорофилла в восточном районе Таганрогского залива, за несколько часов она менялась на 20 – 30 %. В [4] были рассмотрены вопросы влияния гидродинамических волновых явлений на эрозию береговых образований Таганрогского залива.

За последнее время достигнуты значительные успехи в области развития аэрокосмических методов и технологий дистанционного зондирования океана. Перспективность их использования для решения задач мониторинга прибрежных акваторий основана на возможности регистрации современной

дистанционной аппаратурой широкого спектра важных параметров водной среды. В [5] рассматриваются возможности применения космических средств для мониторинга прибрежных акваторий морей и океанов. Проанализированы основные параметры водной среды, регистрируемые современными космическими средствами. Задачи, решаемые космическими средствами дистанционного зондирования океана, свидетельствует об их широких возможностях. Поэтому космические методы и средства уже сегодня играют значительную роль в мониторинге океана и его прибрежных зон.

В [6] рассматриваются вопросы использования технологий дистанционного зондирования для комплексного управления и изучения морской прибрежной среды. Приведены характеристики систем дистанционного зондирования, представляющие интерес для изучения океанов и прибрежных экосистем. Определена концептуальная основа, которая связывает все важные компоненты технологий дистанционного зондирования: состояние экосистемы и загрязнения, природные опасные факторы, особо проявляющиеся в прибрежных акваториях, использование прибрежных территорий и динамика роста населения.

Представленный в [7] обзор отражает детали развития алгоритмов в области мультиспектрального анализа цвета океана. Для понимания пространственно-временных закономерностей цветения водорослей важными являются некоторые параметры окружающей среды, такие как температура воды, мутность, солнечная радиация и батиметрия. В обзоре также обсуждается использование статистических методов обработки спутниковых данных для характеристики факторов, влияющих на цветение водорослей в прибрежных и открытых океанских просторах.

Методы дистанционного зондирования обеспечивают широкий пространственный охват для наблюдения за морской средой. В [8] приводятся рекомендации по эффективной экстраполяции результатов мониторинга в нескольких пространственных масштабах. Оценка показывает, что методы дистанционного зондирования являются важнейшей частью высококачественных оценок экологического состояния морской среды.

Мониторинг подводной сейсмической активности. В [9] представлен обзор данных, полученных обсерваториями *GEOSTAR (GEophysical and Oceanographic STATION for Abyssal Research)*, развернутых в южно-европейских регионах: западное побережье Иберийского полуострова, Ионическое, Мраморное и Тирренское моря. Описана процедура контроля качества многопараметрических данных, морское дно является основным участком для наблюдения за геофизическими параметрами. Рассматриваются четыре интересных геофизических явления, которые связаны с геоопасностью. В первом случае сейсмические процессы и оползни в западной части Ионического моря были идентифицированы и локализованы с помощью сенсорного анализа на базе сейсмометра. Во втором случае описывается система раннего предупреждения цунами, проверенная на западном побережье Иберийского полуострова и в настоящее время реально действующая на западном участке Ионического моря. В третьем случае рассматриваются два крупных вулкана в центральной части Средиземноморья: Этна и подводная гора Марсили. В четвертом случае представляется многопараметрический анализ, который был сфо-

кусирован на поиске возможных корреляций между просачиванием метана и выбросом сейсмической энергии в заливе Измит Мраморного моря.

Мониторинг рыбных ресурсов. Устойчивое использование морских ресурсов требует эффективного мониторинга и управления рыбными запасами в мире. В [10] используются методы дистанционного зондирования, которые помогают управлять рыболовным флотом для более эффективного поиска рыбных ресурсов. Некоторые из океанографических условий, таких как температура поверхности моря, цвет океана и океанические течения сильно влияют на естественные колебания рыбных ресурсов. В статье описываются акустические, оптические и радиолокационные датчики, установленные на судах, спутниках и воздушном судне для целей прогнозирования, моделирования и управления рыбными ресурсами.

Мониторинг в подводной археологии. За последние годы достигнуты успехи в техническом дайвинге, которые сделали его более доступным, позволяя погрузиться на большие глубины. Это открыло доступ к подводным археологическим объектам в более глубоких водах, которые ранее считались недоступными. Так как эти объекты не подвержены потенциальному риску человеческого вмешательства, для обеспечения защиты подводного культурного наследия требуются новые подходы к методам мониторинга. В [11] описывается технология мониторинга археологических объектов на основе фотометрических методов. В качестве примера используется исследование кораблекрушения времен Римской эпохи на восточном побережье Испании. Предложенный метод дает возможность создания высокоточной компьютерной модели карты морского дна.

Использование подводных аппаратов для геологоразведки. Работа [12] посвящена исследованию проблем, связанных с автономными морскими системами, применяемыми для морских перевозок, разведки и разработки нефти и газа, для рыболовства и аквакультуры, науки об океанах, морской возобновляемой энергии, морской добычи (рис.1). Фундаментальные знания получают с помощью междисциплинарных теоретических, численных и экспериментальных исследований в областях гидродинамики, структурной механики, навигации, управления и оптимизации. В работе



Р и с . 1 . Системы мониторинга [12].

приводится обзор исследований, связанных с картографированием и мониторингом морского дна и океанов. Также рассматриваются вопросы интеграции различных автономных средств (автономные подводные аппараты, дистанционно управляемые транспортные средства, судовые системы) для натурных испытаний в прибрежных арктических акваториях.

Использование подводных аппаратов для мониторинга экосистем.

В [13] рассматриваются вопросы мониторинга и моделирования морских экологических систем для анализа и прогнозирования динамики экосистем. Важным направлением для получения количественной информации об экосистемах является разработка автоматизированных систем сбора данных экологических исследований. Эти данные собираются с использованием переносных регистрирующих устройств, автоматизированных буев и подводных аппаратов, оснащенных различными датчиками, видеокамерами, системами позиционирования, сбора, записи и обработки информации.

Одна из наиболее современных и экологически безопасных технологий биомониторинга основана на использовании необитаемых подводных аппаратов. Наиболее эффективно подводные роботы могут быть использованы для экологического мониторинга водной среды в придонных слоях, включая оценку гидрохимического состояния воды с помощью датчиков: содержание кислорода, соленость, pH, температура, электропроводность, мутность воды, концентрация хлорофилла.

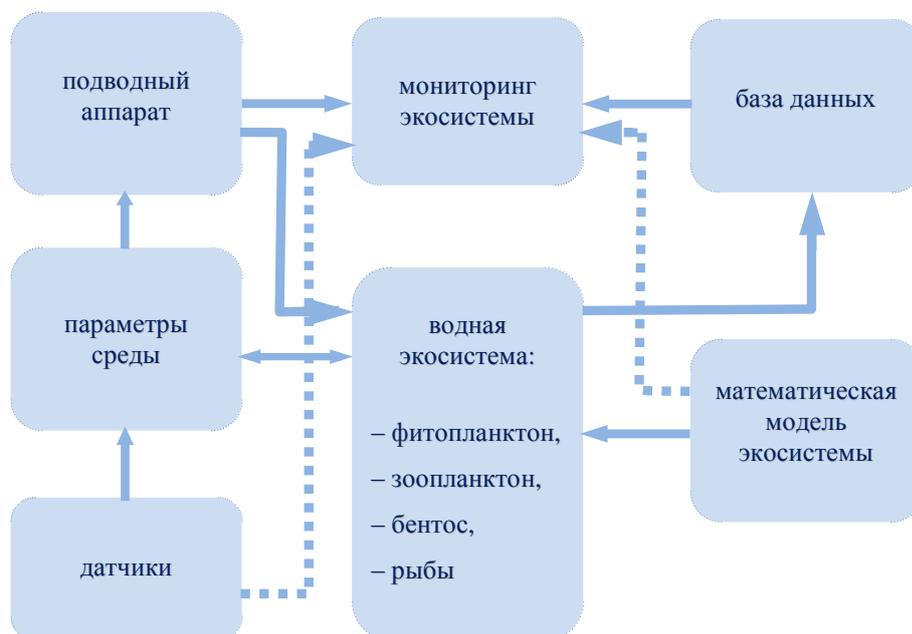
В толще воды с помощью подводных аппаратов можно проводить работы по оценке мутности, освещенности и содержания кислорода для расчета продуктивных возможностей планктонных сообществ. Для этих же целей проводится оценка плотности микроводорослей на единицу объема и содержания хлорофилла. Подводный аппарат, оснащенный цифровой видеокамерой и системой датчиков, позволяет получать объективную информацию о биоценозе и параметрах водной среды. В зависимости от видов исследований подводный аппарат может быть оснащен различными проблемно ориентированными системами датчиков для решения задач марикультуры, экологического мониторинга, видеомониторинга донных ландшафтов. Общую схему экологических исследований морской экосистемы можно представить в виде нескольких блоков, структурно и функционально взаимосвязанных между собой (рис.2).

Наиболее эффективно подводные аппараты могут быть использованы для экологического мониторинга водной среды в придонных слоях. Эта технология включает в себя обследование морского дна, донных биоценозов, картографирование для оценки состояния экосистем. Основные задачи по изучению состояния донных экосистем можно определить, как [14]:

- мониторинг водных сред в придонных слоях;
- мониторинг донных биологических сообществ;
- мониторинг донных ландшафтов.

Технология исследования морских донных экосистем основывается на использовании информационно-измерительного комплекса подводного аппарата *TSL*, созданного в Институте проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН. Аппарат *TSL* позволяет в реальном режиме времени выбирать заданную траекторию движения, оснащен цветной видеокамерой и цифровой фотокамерой. Отработка технологии мониторинга донных экосистем с помощью подводного аппарата *TSL* проводилась на полигонах в различные периоды времени.

Автономные подводные аппараты *AUV* имеют широкий спектр применений в морской геофизике и все чаще используются в научных, прикладных



Р и с . 2 . Схема экологических исследований.

и коммерческих целях [15]. Их способность работать автономно от базового судна делает их удобными для исследования экстремальных условий, от самых глубоких впадин до полярных ледяных щитов. Они преобразили методы отображения морского дна, предоставляя данные картографирования более высокого разрешения, чем с надводных кораблей.

Будущие передовые разработки в области автономных подводных аппаратов будут играть важную роль в исследовании морской геофизики. В [16] рассмотрены преимущества и основные области применения автономных подводных аппаратов. Существующие робототехнические комплексы используются при выполнении поисковых работ, при геологической разведке морских минеральных ресурсов, в научных исследованиях по гидроакустике, экологии, морской биологии. Востребованность автономных подводных аппаратов на рынке подводных технических работ обеспечивается их ключевыми достоинствами.

Современные подводные аппараты для мониторинга экосистем. В [17] представлен обзор и классификация современных автономных подводных аппаратов различного назначения. В современной литературе подводную технику условно разделяют на следующие разновидности:

- самоходные необитаемые подводные аппараты (*UUV – Unmanned Underwater Vehicle*) делятся на неавтономные (привязные) *ROV (Remote Operated Vehicle)* и автономные необитаемые подводные аппараты *AUV*;
- к неавтономным аппаратам *ROV* относятся буксируемые и самоходные привязные подводные аппараты;
- к автономным необитаемым подводным аппаратам относятся самоходные *ROV* с автономной системой энергообеспечения, беспроводным каналом телеуправления и связи.

В настоящее время самоходные аппараты *ROV* представляют собой класс робототехнических средств, состоящий из более 500 различных проектов. Мировыми лидерами в разработке и производстве самоходных *ROV* являются: США, Великобритания, Канада, Франция, Германия и Япония. Наиболее общими классификационными признаками для *UUV* являются целевое назначение, массогабаритные характеристики, тип конструкции, двигателя и системы энергообеспечения. Из-за модульного принципа построения практически все современные аппараты являются многоцелевыми. Можно отметить, что на мировом рынке в последнее время все большее развитие получают проекты *AUV* коммерческих аппаратов классов «микро» и «мини» с массой до 100 кг и диапазоном дальности плавания в пределах до 4000 морских миль.

Гидроакустические системы мониторинга шельфа. В [18] описана система навигации автономного подводного аппарата. Общий объем гидроакустической навигационной информации на борту современного многоцелевого *AUV* формируется из следующих независимых данных (рис.3):

- информация от доплеровского лага, датчика курса и измерителя глубины;
- измерение дальностей аппарата от сети донных маяков-ответчиков;
- измерения дальности и углового положения источника навигационных сигналов;
- координаты аппарата с использованием штатных судовых средств.

В результате натурных исследований характеристик навигационных средств было установлено, что представленная навигационная система приводит к значительному уменьшению погрешности определения координат аппарата. Аппаратура комплекса содержит комплект маяков-ответчиков, комплект аппаратуры *AUV* и судовой аппаратуры, разделенной на бортовую и подводную части.

В [19] приводится описание характеристик типового гидролокатора, разработанного Акустическим институтом им. акад. Н.Н.Андреева и предназначенного для освещения подводной обстановки с использованием необитаемых

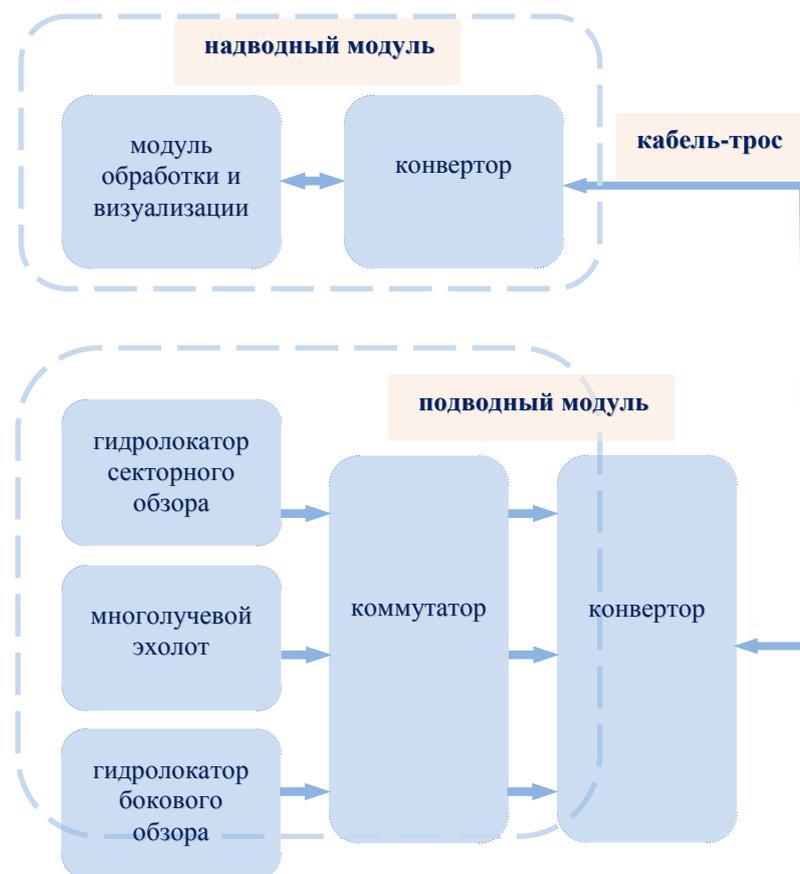


Р и с . 3 . Схема навигации подводного аппарата.

подводных аппаратов – телеуправляемых или автономных. При разработке всех гидролокаторов значительное внимание уделяется минимизации объёма аппаратуры, который, в основном, ограничивается размерами антенны, определяемыми, в свою очередь, требованиями к дальности действия и разрешающей способности. Приводится пример объединения разрабатываемых гидролокаторов в многофункциональную гидроакустическую систему, предназначенную для промерных, навигационных и поисковых целей.

В зависимости от решаемой задачи освещения подводной обстановки для установки на подводные аппараты могут быть востребованы все известные типы гидролокаторов: многолучевые эхолоты; гидролокаторы бокового и секторного обзора. Особой разновидностью гидролокаторов секторного обзора являются 2D- и 3D-звуковизоры, отличающиеся повышенной разрешающей способностью по углу и по дистанции. Эти звуковизоры могут использоваться для поиска, обследования и распознавания подводных объектов по их акустическому изображению.

Схема информационных потоков в многофункциональной гидроакустической системе, предназначенной для съёмки дна и обеспечения навигационной безопасности, представлена на рис.4.



Р и с . 4 . Схема многофункциональной гидроакустической системы.

В [20] рассматриваются методы и средства длительного мониторинга промышленно осваиваемых акваторий. Сравняются дистанционные спутниковые, судовые экспедиционные и стационарные методы наблюдений с помощью донных обсерваторий. Проводится анализ путей построения донных обсерваторий, выбор методов и средств измерений параметров водной среды, способов передачи информации и команд управления.

Автономность роботизированных подводных аппаратов зависит от способности выполнять продолжительные и дальние плавания без необходимости вмешательства человека [21]. В то время как современные методы подводной навигации способны обеспечить достаточный уровень точности позиционирования, они требуют использования опорных судов или акустических маяков. Навигация на основе датчиков уменьшает погрешности позиционирования при достаточно изменчивом ландшафте.

В [22] исследуются вопросы использования автономных подводных аппаратов в качестве мобильного связующего узла в сети фиксированных гетерогенных акустических модемов. В настоящее время подводная акустическая коммуникация является интересной темой исследований в случае автономных подводных аппаратов. Так как из-за ограничений подводной среды радиосвязь невозможна, очень важным является наличие эффективных и надежных инструментов для обмена акустическими данными. Подводная сеть акустических датчиков может улучшить возможности навигации и локализации транспортных средств.

Заключение. В заключение хочется отметить, что в данном обзоре было проанализировано современное состояние методов и средств диагностики водной среды прибрежных акваторий. Рассмотрены способы мониторинга на основе спутниковой дистанционной диагностики состояния водной среды, рыбных ресурсов. Сделан обзор современных гидроакустических систем мониторинга прибрежных акваторий с использованием автономных подводных аппаратов. Разработаны обобщенные схемы экологических исследований, навигации подводного аппарата и многофункционального гидроакустического комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды.– М.: Гидрометеоиздат, 1984.– 560 с.
2. *Шавыкин А.А., Бердников С.В., Сапрыгин В.В., Вербицкий Р.Е.* Непрерывные измерения океанологических параметров в приповерхностном слое Таганрогского залива / Экосистемные исследования среды и биоты Азовского бассейна.– Ростов н/Д: Южный научный центр РАН, Институт аридных зон Южного НЦ РАН, 2012.– С.104-116.
3. *Петухов В.И., Минаев Д.Д., Лисицкая И.Г.* Комплексные исследования экологического состояния морских акваторий // Подводные исследования и робототехника.– 2011.– т.12, № 2.– С.69-74.
4. *Аббасов И.Б.* Моделирование нелинейных волновых явлений на поверхности мелководья.– М.: Физматлит, 2010.– 128 с.
5. *Бондур В.Г.* Аэрокосмические методы в современной океанологии / Новые идеи в океанологии. Т.1. Физика. Химия. Биология / Отв. ред. М.Е.Виноградов, С.С.Лаппо.– М.: Наука, 2004.– С.55-117.

6. *Quellette W., Getinet W.* Remote sensing for marine spatial planning and integrated coastal areas management: achievements, challenges, opportunities and future prospects, remote sensing applications: society and environment.– 2016.– v.4.– P.138-157.
7. *Blondeau-Patissier D., Gower J.F.R., Dekker A.G., Phinn S.R., Brando V.E.* A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans // *Progr. in Ocean.*– 2014.– v.123.– P.123-144.
8. *Strong J.A., Elliott M.* The value of remote sensing techniques in supporting effective extrapolation across multiple marine spatial scales // *Mar. Poll. Bull.*– 2017.– v.116, iss.1-2.– P.405-419.
9. *Monna S., Falcone G., Beranzoli L., Chierici F., Cianchini G., De Caro M., De Santis A., Embriaco D., Frugoni F., Marinaro G., Montuori C., Pignagnoli L., Qamili E., Sgroi T., Favali P.* Underwater geophysical monitoring for European multidisciplinary seafloor and water column observatories // *J. Mar. Syst.*– 2014.– v.130.– P.12-30.
10. *Klemas V.* Fisheries applications of remote sensing: An overview // *Fish. Res.*– 2013.– v.148.– P.124-136.
11. *Aragon E., Munar S., Rodríguez J., Yamafune K.* Underwater photogrammetric monitoring techniques for mid-depth shipwrecks // *J. Cultural Heritage.*– 2018. in press.
12. *Ludvigsen M., Sorensen A.J.* Towards integrated autonomous underwater operations for ocean mapping and monitoring // *Ann. Reviews in Control.*– 2016.– v.42.– P.145-157.
13. *Дуленов В.И., Тихомирова Е.А., Ермолицкая М.З., Лелюх Н.Н., Лескова О.А.* Мониторинг и моделирование морских экосистем // *Международ. научно-практич. конф. «Морская экология-2005»* 5-7 октября 2005 г.– Владивосток, 2006.– С.50-54.
14. *Дуленов В.И., Лелюх Н.Н.* Исследование и контроль состояния морских донных экосистем с использованием подводной робототехники // *Гео-Сибирь.*– 2007.– т.3.– С.117-120.
15. *Wynn R.B., Huvenne V.A.I., Le Bas T.P., Murton B.J., Connelly D.P., Bett B.J., Ruhl H.A., Morris K.J., Peakall J., Parsons D.R., Sumner E.J., Darby S.E., Dorrell R.M., Hunt J.E.* Autonomous Underwater Vehicles (AUVs): their past, present and future contributions to the advancement of marine geoscience // *Marine Geology.*– 2014.– v.352.– P.451-468.
16. *Наумов Л.А., Матвиенко Ю.В.* Состояние и перспективы развития работ ИПМТ ДВО РАН по созданию подводных робототехнических средств // 4-я Всеросс. научно-технич. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана», 3-7 окт. 2011 г.– Владивосток: Дальнаука, 2011.– С.416-421.
17. *Бочаров Л.Ю.* Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития // *Электроника: наука, технология, бизнес.*– 2009.– № 7.– С.62-69.
18. *Матвиенко Ю.В.* Гидроакустические средства навигации и связи подводных аппаратов ИПМТ ДВО РАН // *Технические проблемы освоения Мирового океана.*– 2005.– № 1.– С.6-12.
19. *Лекомцев В.* Гидроакустические средства визуализации для необитаемых подводных аппаратов // *Современные технологии автоматизации.*– 2013.– № 3.– С.78-82.
20. *Левченко Д.Г., Леденев В.В., Носов А.В., Афанасьев В.Н.* Использование донных обсерваторий для долговременного мониторинга районов промышленного освоения акваторий // *Всеросс. научно-технич. конф. «Научное и техническое*

обеспечение исследований и освоения шельфа Северного Ледовитого океана».– Новосибирск, 2010.– С.38-42.

21. *Melo J., Matos A.* Survey on advances on terrain based navigation for autonomous underwater vehicles // *Ocean Engineering.*– 2017.– v.139.– P.250-264.
22. *Allotta B., Ridolfi A., Bianchi M., Fanelli F., Gelli J., Monni N., Nocciolini D., Pagliai M., Paolucci L., Pecorella T.* Employment of an Autonomous Underwater Vehicle as mobile bridge among heterogeneous acoustic nodes // *IFAC-Papers On Line.*– 2017.– v.50, iss.1.– P.12380-12385.

Материал поступил в редакцию 06.08.2018 г.
После доработки 28.01.2019 г.

I.B.Abbasov

MODERN TRENDS OF MONITORING THE WATER ENVIRONMENT OF COASTAL AREAS

The article is devoted to a review of the current state of methods and tools for the diagnostics of the aquatic environment of coastal waters. General approaches to environmental monitoring of the natural environment, existing versions of diagnostic tools are described. The possibilities of satellite monitoring of algal blooms in the seas and oceans are considered. Methods of remote sensing of effective search for fish resources, hydrological parameters: sea surface temperature, ocean color and ocean currents are given. The issues of monitoring and modeling of marine ecological systems for analysis and forecasting of ecosystem dynamics are considered. The review of modern hydroacoustic monitoring systems of the underwater environment with the use of autonomous underwater vehicles, their features, development prospects is given.

KEYWORDS: diagnostic features, water environment, environmental monitoring, satellite monitoring, hydrological parameters, underwater engineering structures, autonomous underwater vehicles, hydroacoustic monitoring systems