

# ЗАЯКОРЕННАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ ПРОФИЛИРУЮЩАЯ ОКЕАНСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОНИТОРИНГА КРИТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ, ОХРАНЫ МОРСКОЙ СРЕДЫ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Островский А.Г., Зацепин А.Г., Иванов В.Н., Низов С.С., Соловьев В.А.,  
Тимашкевич Г.К., Цибульский А.Л., Швоев Д.А.**

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
Нахимовский просп., д. 36, г. Москва 117997  
тел: (499) 1247392, факс: (499) 1245983  
e-mail: [osasha@ocean.ru](mailto:osasha@ocean.ru)

В докладе представлена разработка океанологической автоматической заякоренной профилирующей обсерватории, оснащенной измерителями температуры и электропроводности воды, содержания растворенного в воде кислорода, а также скорости морских течений. Обсерватория должна выполнять долговременные (от 1 до 6 месяцев) автоматические измерения вертикальных профилей гидрофизических и биофизических параметров на глубинах до 600 м и обеспечивать передачу данных измерений в режиме реального времени на береговой приемный пункт. Обсерваторию целесообразно использовать также для научных исследований и мониторинга внутренних водоемов.

## 1. Введение

В 2006-2008 гг. в Институте океанологии им. П.П.Ширшова (ИО РАН) была осуществлена разработка измерительной аппаратуры «Аквазонд», предназначенной для вертикального профилирования водной толщи на заякоренной буйковой станции (Островский и др., 2008). Был создан прототип морского грузового «лифта» для океанологических измерительных датчиков: носитель был укомплектован акустическим доплеровским измерителем течений Aduadopp 3D и зондом электропроводности, температуры и давления SBE 19Plus с датчиком растворенного кислорода, флуориметром и турбидиметром. Носитель с измерительной аппаратурой по заданной программе мог передвигаться по тросу, натянутому вертикально между подповерхностной плавучестью и донным якорем. Таким образом, в отличие от традиционных буйковых постановок с размещением приборов на фиксированных горизонтах, созданная нами аппаратура позволяла проводить непрерывные измерения вертикальных профилей характеристик морской среды.

Наработки по автоматическому профилированию морской среды на заякоренной буйковой станции, легли в основу НИОКР по созданию новой измерительной обсерватории, для оперативного мониторинга морской среды в водах шельфово-склоновой зоны. В рамках этой НИОКР аппаратура профилографа «Аквазонд» интегрирована с новейшими техническими средствами передачи сигналов в водной толще с помощью индуктивных модемов на подповерхностный буй. В новом аппаратурном комплексе подповерхностная плавучесть связана кабелем с поверхностным бумом, откуда данные измерений передаются по радиоканалу в береговой приемный пункт, что позволяет решить важную научно-практическую задачу оперативного управления мониторингом морской среды. Этой новой разработке и посвящена настоящая статья.

## 2. Назначение обсерватории

Используя новую авторскую технологию автономного профилирования водной толщи на заякоренной океанологической станции (Островский и др., 2008) и современные технические средства бесконтактной передачи сигналов в морской воде и в воздухе по радиоканалу, разработан и изготовлен прототип обсерватории для автоматического телеуправляемого мониторинга вод шельфово-склоновой зоны моря в режиме реального времени. Общий вид обсерватории показан на рис. 1. Обсерватория должна в течение длительного времени (до одного года) производить вертикальные зондирования морской среды с измерением

гидрофизических и биофизических параметров до 600 м глубины и обеспечивать оперативную передачу данных на расстояние до 12 км в береговой приемный пункт. Потребности в обсерватории в первую очередь определяются необходимостью мониторинга распространения загрязнений и прогноза опасных природных явлений. В частности, обсерватория имеет большой потенциал для использования в целях обеспечения экологической безопасности добычи и транспортировки углеводородов в море (Лобковский и др., 2006, 2007).

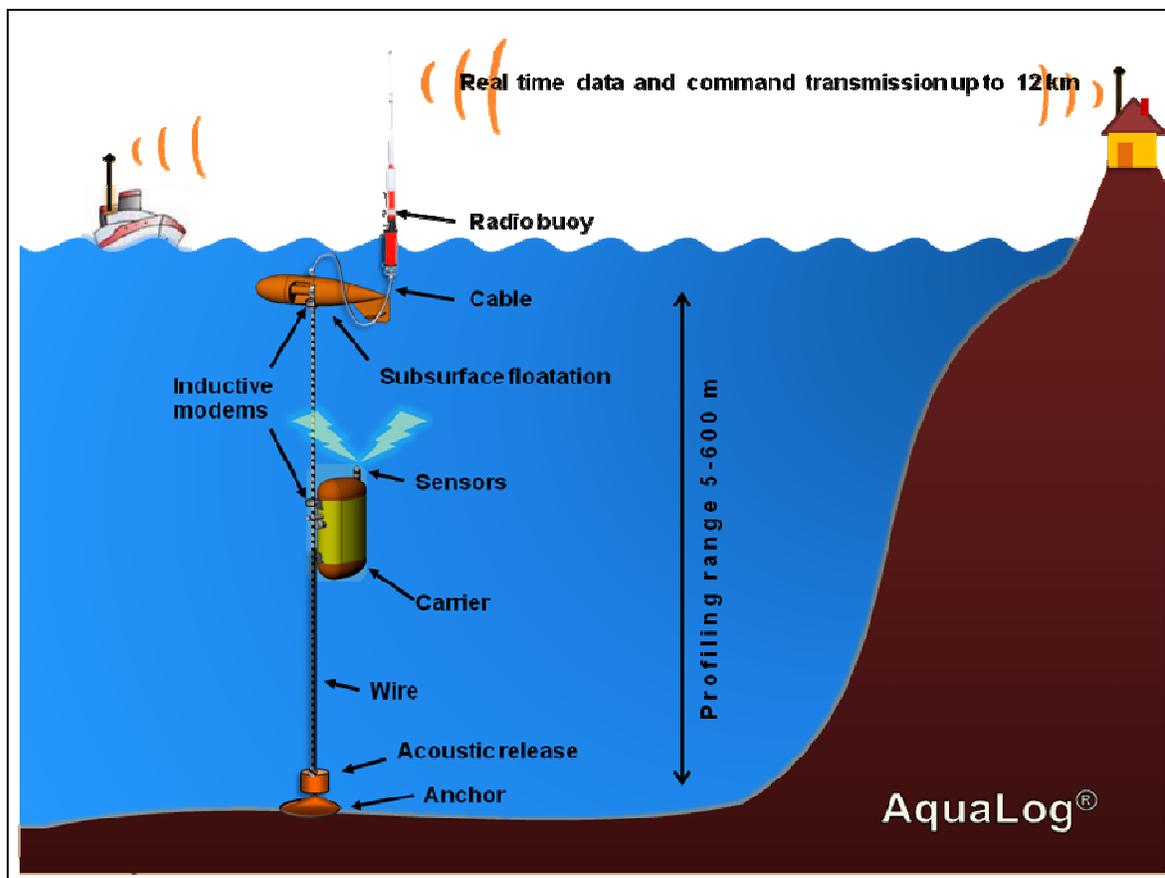


Рис. 1. Общий вид обсерватории

В контексте проведения фундаментальных океанологических исследований обсерватория, по нашему мнению, является оптимальным средством изучения изменчивости распределений абиотических и биотических параметров морской среды в диапазоне масштабов от нескольких часов до нескольких суток. По имеющимся представлениям, амплитуды этой изменчивости, обусловленной, например, штормовыми воздействиями, весьма велики. Оценить короткопериодную изменчивость и ее вклад в генерацию перемешивания возможно только на основе регулярных частых зондирований в течение длительного времени порядка одного месяца. Следует отметить, что успех высокоразрешающих численных моделей циркуляции окраинных морей во многом зависит от параметризации «подсеточной» мелкомасштабной турбулентности. Поэтому в последнее время резко возрос интерес к натурным исследованиям процессов перемешивания и их вертикальной изменчивости. Для оценивания параметров длинных баротропных и бароклинных волн, вихрей и вихре-волновых структур и их роли в переносе и обмене необходимо измерение пространственных неоднородностей гидрофизических полей. Для этого требуется проведение синхронных зондирований в нескольких точках акватории. Наконец, актуальной является задача выявления климатических сигналов в распределениях параметров среды и биоты на основе анализа временных рядов многолетних измерений в фиксированных точках в морских бассейнах и в крупных внутренних

водоемах. Для решения всех трех задач важно получение регулярных и однородных выборок данных измерений.

### 3. Новизна разработки

На современном этапе важно решить задачу оперативного управления системой морского мониторинга. Проведение измерений с помощью автономного заякоренного носителя нужно дополнить обменом данными и командами с береговым приемным пунктом. Такая разработка должна осуществляться на стыке двух направлений океанологического приборостроения: технологии гидрометеорологических измерений и морских информационных технологий.

В данной работе комплексирование технологии автоматического профилирования с методами передачи океанологической информации позволяет создать технические средства оперативного мониторинга водной толщи окраинных морей и открывает новые возможности в деле создания наблюдательной океанологической сети. При этом особенно актуальна задача системной интеграции оборудования автономного зондирования на заякоренной буйковой станции и современных средств подводной связи.

Для оперативного мониторинга и управления процессом измерений использованы технические средства связи, обеспечивающие обмен данными между профилирующим носителем и береговым или судовым приемным пунктом. Связной тракт состоит из двух основных участков:

- 1) бесконтактной связи в морской воде между профилирующим зондом и поверхностным буюм с помощью индуктивных модемов,
- 2) радиосвязи между поверхностным буюм и береговым пунктом сбора и обработки данных и управления мониторингом.

Следует отметить, что такой комплекс обладает рядом эксплуатационных преимуществ по сравнению со свободно дрейфующими профилирующими зондами. Заякоренная буйковая обсерватория обладает меньшим риском потери, чем свободно дрейфующая станция, позволяет своевременно производить техническое обслуживание источников питания и очистку измерительных датчиков от биообрастателей. Радиосвязь в прибрежной зоне представляет собой экономичную альтернативу мобильной и спутниковой связи, поскольку передача информации по радиоканалу не имеет ограничений в частотном диапазоне 430-470 МГц.

### 4. Структурная схема обсерватории

В состав буйковой части обсерватории входит следующее оборудование:

- подповерхностный буй, заякоренный с помощью стального буйрепа, который служит ходовым тросом для профилирующего носителя,
- носитель с комплектом измерительных датчиков (далее - носитель), передвигающийся по ходовому тросу,
- система цифровой связи посредством бесконтактной индуктивной врезки в ходовой трос,
- поверхностный буй-веха с модемами передачи данных и телеметрической информации по радиоканалу,
- гидроакустический размыкатель якорного балласта.

В носителе модуль центрального микроконтроллера по заданной программе управляет электроприводом, обеспечивающим движение (профилирование), используя датчик давления DRUCK PMP 4010, а также контролируя состояние электронной аппаратуры по показаниям датчиков тока и напряжения. На плате микроконтроллера chip45 SAVVY128 размещены микроконтроллер Atmel AVR Mega 128, слот для установки флэш-памяти типа MMC или SD, микросхема часов реального времени, два порта RS-232. На периферийной плате расположены микросхема АЦП Analog Device AD7718, микросхемы аналоговых мультиплексоров для совместного использования одного порта RS-232 разными датчиками, контроллер двигателя IR3220S и конверторы напряжения питания. Аналоговые каналы оцифровываются с помощью

одной 16 разрядной АЦП AD7718. С компьютера пользователя вносится программа работы носителя и выполняется просмотр и обработка полученных ранее данных.

Модуль центрального микроконтроллера также выполняет сбор и обработку данных со следующих научных измерительных приборов: зонда температуры, электропроводности и давления (FSI Exell 2" Micro CTD), акустического доплеровского измерителя течений (Aquadopp 3D) и датчика растворенного в воде кислорода (AANDERAA Oxygen Optode 4330F). Модуль центрального микроконтроллера передает данные с помощью индуктивного модема на подповерхностную плавучесть.

Все электрическое оборудование носителя, включая измерительную аппаратуру, питается от параллельно соединенных секций последовательно соединённых литиевых или щелочных батарей типа D.

Индуктивные модемы типа SBE-44 установлены на носителе и на подповерхностном бую и служат для передачи данных измерений и телеметрической информации. Индуктивный модем представляет собой катушку индуктивности с изолированными электрическими выводами, помещенную в корпус из диэлектрика, залитого компаундом, и электронной платы управления. В сборке индуктор и ферритовое кольцо устанавливаются на буйреп так, чтобы стальной несущий трос в ПВХ оболочке свободно проходил через центр катушки. Буйреп представляет собой многожильный нержавеющий несущий трос в диэлектрической оболочке, изолирующей от воды. По индуктивному каналу выполняется передача данных от носителя к подповерхностному бую. Таким образом, система подводной связи обеспечивает бесконтактный двухсторонний обмен информацией, между движущимся носителем и подповерхностным бую, с целью последующей передачи данных измерений на буй-веху радиосвязи и далее на береговой пост по радиоканалу, по запросу оператора или по заданной программе.

Буй-веха радиосвязи представляет собой веху Фруда с расположенной в верхней точке надводной части радиоантенной ANLI A-100MU. Встроенный в буй-веху радио-модем типа INTEGRA TR питается от комплекта свинцово-гелевых аккумуляторов, которые являются одновременно основным балластом буй-вехи.

Береговой модуль состоит из модуля мультиплексирования и синхронизации данных, а также персонального компьютера. Версия берегового модуля в максимальной конфигурации позволяет подключать в мультиплексном режиме до 4-х радиомодемов к одному компьютеру. К настоящему времени реализована базовая конфигурация берегового модуля, позволяющая подключать один радиомодем с возможностью адресации до 255 радиобуев. Это означает, что в квазиреальном времени данные могут быть получены с нескольких буйковых систем. На персональном компьютере выполняется предварительная обработка и архивация данных, полученных с буйковой измерительной части комплекса «Аквалог» по радиоканалу. Программное обеспечение на персональном компьютере позволяет отображать в реальном масштабе времени информацию, получаемую с буйковой части комплекса. Оператор может выбрать масштаб и режим отображения (с наложением или без наложения), приостанавливать вывод, а также производить измерение абсолютных и относительных значений принимаемых данных.

##### 5. Технические характеристики обсерватории

При изготовлении буйковой части комплекса использованы современные материалы и комплектующие:

- полиацеталь для изготовления аппаратурных конейнеров и роликов,
- ультравысокомолекулярный полиэтилен для изготовления деталей и рамы носителя морской измерительной аппаратуры;
- стеклянные сферы в качестве плавучести носителя,
- оригинальный электропривод с магнитной муфтой и - двигателем с высоким КПД.

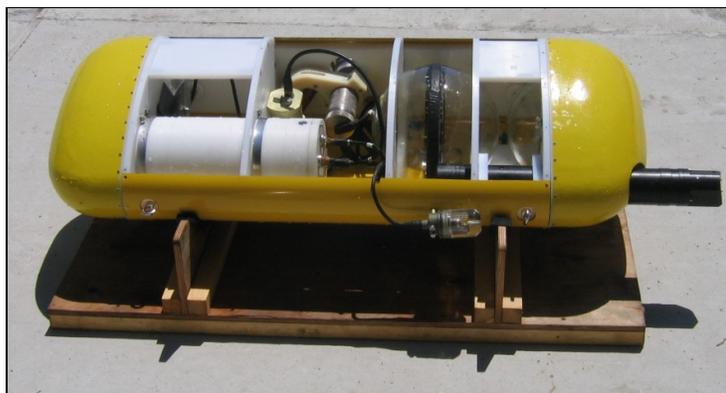


Рис. 2. Носитель измерительной аппаратуры на пирсе Южного отделения ИО РАН (г. Геленджик, Черное море). На фото носитель показан без кожуха.

Все модули носителя (рис. 2) конструктивно объединены на раме, служащей также для установки легкого обтекаемого кожуха, блоков плавучести и измерительной аппаратуры. Все элементы рамы изготовлены из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (молекулярная масса около 1000000 ед.), сочетающего высокую прочность с малой плотностью ( $\rho \approx 1 \text{ г/см}^3$ ), который обеспечивает плавучесть близкую к нейтральной в морской воде. Немаловажно, что такая рама имеет отличную химическую стойкость. Шпангоуты вырезаны из листов полиэтилена толщиной 15-30 мм с помощью фрезерного станка с ЧПУ. Данный материал экологически безвреден (Заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека №77.01.03.249.П.067512.09.07 от 03.09.2007 г.).

Аппаратурный контейнер носителя имеет цилиндрическую форму диаметром 200 мм. Он изготовлен из полиацетали. По антифрикционным и механическим характеристикам полиацеталь близка к капролону (полиамиду 6-ти блочному), но выгодно отличается от него повышенной ударпрочностью (особенно при отрицательных температурах), лучшими упругими свойствами, стойкостью к образованию трещин, очень низким влагопоглощением, очень хорошей обрабатываемостью с возможностью изготовления точных деталей. Полиацеталь имеет исключительную усталостную стойкость (в 1,5 раза выше, чем у полиамида 6) и является оптимальным материалом для изделий, подверженных повторяющимся механическим воздействиям, ударным нагрузкам и вибрации.

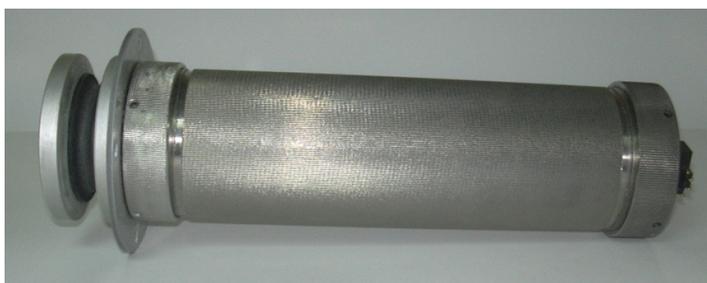


Рис. 3. Электропривод носителя.

Электропривод носителя (рис. 3) разработан с учетом необходимости минимизировать энергопотребление. На стоянках электропривод обеспечивает фиксацию положения носителя относительно ходового троса. В состав электропривода действующего макета носителя вошли следующие основные элементы:

- двигатель Махон, работающий при номинальном напряжении 12 В;
- редуктор;

- магнитная цилиндрическая муфта с редкоземельными магнитами, состоящая из ведущей и ведомой полумуфт, разделительного стакана, общей для полумуфт оси и подшипников качения;

- приводной ролик со скобой, предотвращающей смещение троса с ролика;
- устройство поджима тягового ролика к тросу.

Мотор с редуктором и предохранительными механизмами работает в воздушной среде внутри прочного герметичного корпуса из титана или нержавеющей стали. При включении мотора-редуктора момент с помощью магнитной муфты передается на приводной ролик. За счет взаимодействия приводного ролика с поверхностью буйрепа носитель начинает катиться по буйрепу. Носитель перемещается вверх или вниз в зависимости от заданного направления вращения приводного ролика.

Испытания электропривода по подъему грузов в лабораторных условиях показали, что для данного приводного ролика магнитная муфта обеспечивает подъем груза весом до 4,7 кг, при большем весе груза магнитная муфта проскальзывает.

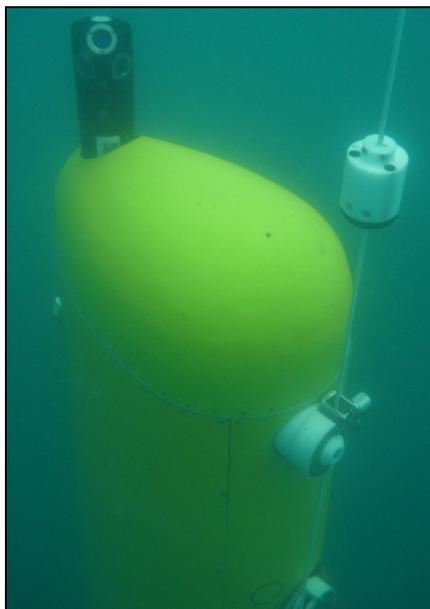


Рис. 4. Носитель в водной толще Черного моря. Носитель сфотографирован в верхнем положении под ограничителем движения на глубине около 7 м перед началом очередного погружения. Вертикально натянутый трос проходит через направляющий ролик на носителе. Слева в верхней части носителя виден доплеровский измеритель течения Nortek Aquadopp 3D.

Ролики, направляющие буйреп, крепятся сверху и внизу на вертикальной плите передней части рамы носителя (рис. 4). Они удерживают носитель на ходовом тросе. Направляющий ролик изготовлен из полиацетали и имеет защитный кожух. Для облегчения операций зацепа и съема носителя с буйрепа, а также для ограничения смещений ходового троса, в конструкции роликов предусмотрен специальный крепеж.

При разработке геометрической формы обтекателя носителя проводилось численное гидродинамическое моделирование отрывных течений. Расчеты проводились с помощью CAD/CAE-программ SolidWorks в пакете FloWorks с целью определения гидродинамических коэффициентов сопротивления и анализа характерных особенностей обтекания с образованием отрывных зон. Вычислительная сетка - около 500 тыс. конечных объемов. Расчетная область 4×4×4 м. Условия на границе – стационарное равномерное течение. Горизонтальная скорость течения на границе задана равной 0 м/с или 0.5 м/с, а скорость вертикального перемещения носителя задавалась в пределах 0.1 – 0.25 м/с. Угол наклона носителя 0-5°. Масштаб шероховатости поверхности носителя был принят равным 3 мкм. Эксперименты позволили подобрать оптимальную форму носителя, обеспечивающую сравнительно невысокие значения

коэффициентов гидродинамического сопротивления. В заданных условиях при номинальной емкости источника питания 168 А час общая протяженность хода носителя должна составить 200-750 км в зависимости от скорости морских течений.

Стандартная измерительная аппаратура является высокоточной стабильной и малоинерционной. При движении носителя со скоростью 0.2 м/с вертикальные профили измеряются дискретностью не хуже 0.2 м для давления, солености и температуры воды (FSI Exell 2" Micro CTD), 1.2 м для скорости течения (Nortek Aquadop 3D) и 1.6 м для растворенного в воде кислорода (AANDERAA Oxygen Optode 4330F).

Основные технические характеристики носителя измерительной аппаратуры приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики носителя измерительной аппаратуры.

Техническая характеристика	Значение
Скорость перемещения	0.1-0.3 м/с
Рабочий диапазон глубин	5-600 м
Допустимая скорость течения	1 м/с
Общая протяженность хода при горизонтальном течении 0,5 м/с	200 км при емкости источника питания 168 А ч
Максимальная общая протяженность хода при отсутствии течений	800 км при емкости источника питания 168 А ч
Ходовой буйреп	Ø 6 мм нержавеющая сталь в ПВХ оболочке
Габариты	1.2×0.35×0.55 м
Вес в воздухе без измерителей	59 кг
Плаваемость рекомендуемая	±0.1 кгс, но не более 0.5 кгс
Емкость источника электропитания	литиевые или щелочные батареи тип D, 168 А ч (36 шт.) или 80 А ч (40 шт.), соответственно
Напряжение электропитания	9 – 12 В
Выбор режима включения	По таймеру или гермокнопом
Индикация режимов работы	Светодиодная на корпусе
Стандартные измеряемые параметры	Давление, соленость и температура воды, компоненты вектора скорости течения, содержание растворенного кислорода в воде, азимут и наклонение носителя.
Опциональные измерительные датчики	Турбидиметр, флуориметр

Буй-веха радиосвязи показана на рис. 5. Для балансировки в вертикальном положении по длине буй-вехи располагаются дополнительные грузы и плаваемости. Основные технические характеристики буй-вехи радиосвязи приведены в табл. 2.



Рис. 5. Буй-веха радиосвязи.

Таблица 2. Технические характеристики буй-вехи радиосвязи.

Техническая характеристика	Значение
Частотный диапазон	430-470 МГц
Скорость передачи данных	19.2 Кбит
Время непрерывной работы в режиме приема	Не менее 1000
Время непрерывной передачи данных при максимальной мощности передатчика (5.0 Вт)	Не менее 40
Габариты	4.5×1.3×0.35 м
Возвышение антенны над поверхностью воды	1.5-2.0 м
Вес в воздухе без учета веса информационного подводного кабеля	35 кг

На береговом посту размещаются радио модем и антенна такие же, как и на буй-вехе радиосвязи. Береговой пост имеет возможность быстрого развертывания. При необходимости радиостанция может быть установлена на судне обеспечения.

#### Литература

Лобковский Л.И., А.Г. Зацепин, С.А. Ковачев, О.В. Копелевич, А. Г. Островский, Б.Я. Розман, М.В. Флинт // Использование морских буровых платформ в качестве технологических носителей в системе комплексного многоуровневого мониторинга морской среды. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. № 8.

Лобковский Л., А. Зацепин, С. Ковачев, О. Копелевич, А. Островский, М. Флинт, С. Монахов // Технология многоуровневого экологического мониторинга в целях информационного обеспечения безопасности морской добычи нефти и газа. Технологии ТЭК. 2007. №2.

Островский А.Г., А.Г. Зацепин, В.А. Деревнин, С.С. Низов, С.Г. Поярков, А.Л. Цибульский, Д.А. Швоев // Заякоренная автоматическая измерительная система «Аквазонд» для вертикального профилирования морской среды. Океанология. 2008. Т. 48. № 2.