
**ПРИБОРЫ
И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ**

УДК 550.34, 551.46

© И. П. Башилов, Ю. Н. Зубко, Д. Г. Левченко,
В. В. Леденев, Е. Р. Павлюкова, А. А. Парамонов

**ДОННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ:
МЕТОДЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

Рассматриваются новые тенденции изучения Мирового океана с помощью многоцелевых автономных донных обсерваторий. Приводится краткий обзор истории создания и использования этих устройств. Анализируются особенности их разработки и области применения. Описываются конкретные примеры использования донных обсерваторий для изучения предвестников сильных морских землетрясений и цунами и экологического мониторинга промышленно осваиваемых акваторий.

ВВЕДЕНИЕ

В области изучения Мирового океана в последнее время наблюдается тенденция постепенного перехода от преимущественно экспедиционных методов исследований с помощью научно-исследовательских судов и спутниковых наблюдений к созданию непрерывно действующих систем мониторинга с помощью донных и притопленных автономных станций, плавающих и заякоренных буев. Становится все более очевидным, что для выяснения состояния океанической среды во всем ее единстве и многообразии необходимо получение длительных синхронных рядов наблюдений многих параметров непосредственно в толще воды и на дне. Только таким образом можно выявить корреляционные связи между различными факторами, разделить климатические, сезонные и спонтанные их вариации. Получение таких массивов информации ранее требовало концентрации значительных усилий больших коллективов ученых разных стран в течение ряда лет (традиционные геофизические годы). В настоящее время появились технические условия для автоматизации получения подобной комплексной информации с помощью автономных геофизических станций.

С другой стороны, развитие современной измерительной техники и морских технологий приводит к выводу, что создание узкоспециализированных морских измерительных приборов неэффективно. Это связано с тем, что основную стоимость таких приборов составляют не датчики и электроника, а так называемые носители, т. е. системы обеспечения постановки и функционирования аппаратуры, а также судовое время, необходимое для доставки аппаратуры в нужный район Мирового океана. Это обстоятельство диктует необходимость разработки комплексных океанических

приборов для одновременного измерения многих параметров. Такие приборы получили название морских обсерваторий [1–5].

Донные геофизические обсерватории позволяют непрерывно измерять и регистрировать "in situ" ряд параметров, характеризующих состояние придонного слоя воды и донных осадков, скорость и направление течений, уровень водной поверхности, наблюдать обстановку в прилегающих окрестностях, а также регистрировать сигналы от удаленных источников: сейсмических, акустических, электромагнитных и др. Донные обсерватории могут использоваться как для изучения естественной изменчивости океанической среды, так и для оценки антропогенного воздействия в районах интенсивного промышленного освоения морских акваторий.

Очевидно, что океан, как и атмосфера, определяет и поддерживает существующую форму жизни на Земле. Ученые-океанологи все в большей степени убеждаются, что океан представляет собой сложную взаимосвязанную систему. Физиологические процессы многих морских организмов являются открытыми, а все морское сообщество объединяется биохимическими связями через воду. Нарушение этих связей может привести к катастрофе. В то же время океан подвергается интенсивному антропогенному воздействию. Осадки, насыщенные отходами жизнедеятельности человека, смываются с континентов в объеме свыше 1 млрд тонн в год. Как известно, под дном океанов и морей происходит до 80 % всех землетрясений. Вследствие непрерывного встряхивания дна и наличия придонных течений осадки продвигаются вглубь акваторий. В связи с этим необходимость эффективного мониторинга морской и океанической среды не вызывает сомнений.

КРАТКИЙ ОБЗОР ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОННЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ

На первом Международном симпозиуме, посвященном разработке многофункциональных донных обсерваторий, (1995 г., Марсель, Франция, 70 участников от 8 стран) были сформулированы основные цели создания таких устройств и определены возможные приоритеты. Предлагались следующие основные направления исследований: донная сейсмология, геомагнетизм, геодезия, физическая океанография. Намечалось, что в будущем должна быть создана единая международная океаническая исследовательская сеть таких станций (International Ocean Network). Предполагалось сделать доступными получаемые данные для всей научной общественности, желательно — в реальном режиме времени [4, 6, 7].

Следует отметить, что за прошедшие 12 лет со времени проведения первого Международного симпозиума были полностью разработаны и испытаны на дне только пять многофункциональных обсерваторий: две в Японии (проект Sagami, 1993 г.; проект VENUS, 1999 г.), одна в Италии (проект GEOSTAR, 2002 г.) и две в России (ИО РАН, 1997 г. и ОКБ ОТ РАН, 2000 г.). В ряде стран в последние годы разрабатываются проекты таких обсерваторий или их отдельных элементов [1, 2, 8–11].

Одной из первых можно назвать кабельную донную обсерваторию, разработанную в Японии и установленную в 1993 г. на глубине 1175 м в заливе Сагами в 10 км к востоку от побережья о. Хонсю. Эта обсерватория проработала с перерывами около 6 лет и послужила прототипом для последующих японских разработок. Обсерватория содержала трехкомпонентный сейсмограф, измерительный гидрофон, измеритель скорости и направления течений, измерители температуры, электропроводности воды и давления, две видеокамеры [12].

Вторая японская обсерватория была установлена в сентябре 1999 г. на расстоянии 50 км к востоку от о. Окинава на глубине 2160 м. Питание аппаратуры и передача информации производились по не используемому в настоящее время коаксиальному кабелю связи Окинава—Гуам. Обсерватория содержала широкополосный сейсмограф, измеритель уровня поверхности океана, распределенную гидроакустическую антенну, измеритель электрического потенциала, магнитометры постоянного и переменного полей, измерители течений, температуры и электропроводности воды. Обсерватория была оснащена видеокамерой непрерывного наблюдения и геодезическими гидроакустическими пунктами с базой около 1 км. Отдельные элементы обсерватории подключались к базовому

модулю через подводные разъемы и разносились по дну на расстояние от 80 до 1000 м. Монтаж донной обсерватории производился с помощью управляемого подводного аппарата Kaiko-10K [3].

Европейская обсерватория (проект GEOSTAR), разработанная международным коллективом во главе с Итальянским национальным институтом геофизики и вулканологии (г. Рим), была установлена на дно в октябре 2002 г. в Ионическом море на расстоянии 10 км к востоку от о. Сицилия на глубине 2105 м. Станция работала в автономном режиме с питанием от батарей и была поднята в мае 2003 г. Обсерватория содержала трехкомпонентный широкополосный сейсмограф, гидрофон, измеритель скорости и направления течений, гравиметр, измерители температуры и электропроводности воды и давления. Результаты измерений записывались в цифровом виде в память управляющей и запоминающей системы. Вся аппаратура была сосредоточена в одном приборном модуле и устанавливалась на дно на специальной раме-основании с помощью понтонного плавучего крана. В декабре 2003 г. станция была повторно поставлена на дно в Тирренском море на глубину 3320 м. На этот раз обсерватория была оснащена поверхностным трансляционным буем для передачи данных и приема сигналов управления по радио и спутниковым каналам. Связь между буюм и донной обсерваторией осуществляется по гидроакустическому каналу связи [13].

В 1996–1998 годах в Институте океанологии РАН по договору с МЧС России была разработана донная обсерватория (гидрохимическая донная станция), предназначенная для проведения комплексных гидрофизических и гидрохимических измерений в придонном слое с целью регистрации возможных краткосрочных предвестников сильных землетрясений. В октябре 1997 г. станция успешно прошла натурные испытания в Авачинской бухте Камчатки и была передана в опытную эксплуатацию. Была осуществлена пробная передача оперативных данных через сеть INTERNET непосредственно с Камчатки (Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия) в Москву (ИО РАН). По ряду основных параметров (применение акустооптического спектрометра, автономность работы, способ передачи информации по радиоканалу) станция не имеет аналогов в мировой практике [8, 14].

В 1998–2000 гг. была разработана и испытана комплексная донная обсерватория Опытного-конструкторского бюро океанической техники РАН по контракту с Министерством науки и технологий РФ. Обсерватория содержала трехкомпонентный сейсмограф, измерительный гидрофон, измерители температуры и электропроводности воды, статического давления, скорости и направления течений, магнитометр постоянного поля,

модуль контроля радиоактивного загрязнения, спектроанализатор видимого диапазона длин волн. Конструктивно обсерватория была выполнена по модульному принципу. Отдельные модули были смонтированы в общей раме с откидной консолью для выноса блока сейсмоприемников. Обсерватория могла работать как с кабелем, так и в автономном режиме. Летом 2000 года эта обсерватория была установлена на дно Черного моря вблизи г. Геленджика в кабельном режиме функционирования. Морские испытания прошли успешно. Опыт этих работ положен в основу разрабатываемого в настоящее время для Института физики Земли РАН подводного геофизического комплекса (ПГК) и создаваемой совместно с Индией комплексной обсерваторией с оперативной передачей информации [15].

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОННЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ

Необходимо отметить, что в зависимости от основного назначения требования к донной обсерватории могут существенно меняться. Обсерватории, предназначенные для сбора данных, используемых в фундаментальных научных исследованиях, должны измерять большое число параметров с заданной периодичностью, выполнять элементы автоматического анализа и обработки данных. Программы их функционирования могут автоматически меняться в зависимости от результатов измерений. Время работы на дне таких станций должно быть значительным (несколько месяцев). В то же время для таких обсерваторий не требуется оперативная связь с берегом [14, 16].

Обсерватории, предназначенные для экологического мониторинга, например, в районах развития нефтегазовых комплексов или для регистрации предвестников землетрясений, должны обеспечивать оперативную передачу данных в пункты сбора и обработки информации. Такие пункты могут располагаться на берегу, на судах или на специальных морских платформах. Кроме того, для таких обсерваторий зачастую требуется изменение программ функционирования по команде с пункта управления (ускорение отсчетов, изменение диапазона измерений и др.) [16].

Несмотря на определенные различия в конструировании донных обсерваторий, связанные с их основным назначением, можно выявить ряд общих принципов построения и технических требований к ним. Донная обсерватория представляет собой сложный и дорогой комплекс, предназначенный для длительного использования. Поэтому должна обеспечиваться повышенная надежность всех ее элементов. Для повышения надежности и удобства

эксплуатации необходимо в основу построения положить модульность конструкции, взаимную независимость программ управления, возможность наращивания системы путем добавления новых измерительных устройств или программ. Технически система должна состоять из отдельных легко заменяемых модулей, имеющих стандартное питание и небольшую мощность потребления.

Измерение разнородных параметров требует применения модулей с цифровым выходом и цифровым управлением. Каждый модуль должен содержать небольшую буферную память и буферный источник питания для повышения надежности и непрерывности регистрации. Общий командный процессор должен обеспечивать необходимые режимы работы отдельных блоков, привязку результатов к единому времени, сбор и передачу информации по линиям связи в цифровой форме. В центральном модуле должен находиться управляющий и обрабатывающий микрокомпьютер с достаточным быстродействием. Для передачи информации по кабелям на расстояние в сотни метров или километры необходимы соответствующие модемы. При расстоянии в десятки километров следует устанавливать промежуточные усилители.

Наиболее удобным средством связи для донных обсерваторий является подводный кабель. Однако стоимость таких кабелей при расстоянии до пункта управления в десятки километров и более в несколько раз превышает стоимость самих обсерваторий. Гидроакустическая связь требует большого расхода энергии и имеет малую скорость передачи. Для донных обсерваторий дальность такой связи ограничивается по этим причинам единицами километров. Однако гидроакустический канал может быть чрезвычайно полезен для связи с обеспечивающим судном при постановке и подъеме обсерватории, ее позиционировании на дне и оперативной проверке функционирования. Для оперативной передачи данных с донных станций могут использоваться всплывающие модули со связью через спутниковый или радиоканал. Однако эти модули обеспечивают только разовую связь и не позволяют передавать команды управления на донную станцию.

Приемлемым решением задачи оперативной связи с автономной донной обсерваторией является использование подвсплывающего ретрансляционного буя, связанного кабелем с обсерваторией. Такая схема обеспечивает быструю передачу данных и команд управления, многократное повторение сеансов связи, относительную сохранность буя в условиях интенсивного судоходства и штормовой погоды. Следует отметить, что подобная схема использовалась в течение 30 лет в гидроакустических станциях.

Основными задачами при разработке донных обсерваторий являются: выбор методов и средств

измерения требуемых параметров, выбор способов сбора и хранения данных, привязка результатов измерений к абсолютному времени, обеспечение необходимой надежности связи для передачи данных и команд управления, обеспечение заданной длительности автономной работы на дне.

В настоящее время существует большое количество методов и средств для измерения геофизических и гидрохимических параметров в водной среде. Однако далеко не все из них могут быть использованы в донных обсерваториях. Основные трудности состоят в определенной агрессивности морской воды по отношению к материалу чувствительного элемента датчиков; в повышенном давлении, что требует существенной механической прочности датчиков при сохранении других качеств; в воздействии биологически активной среды, что вызывает покрытие датчиков различными пленками, обрастание ракушечным материалом. Существенное влияние на работу донной станции могут оказывать придонные течения, которые раскачивают корпус, вызывают завихрения вокруг выступающих частей, искажая показания приборов.

Все применяемые для подводных измерений методы и средства можно разделить в первом приближении: на контактные и бесконтактные, точечные и интегральные, локальные и дистанционные. Такое деление в значительной степени условно, но оно позволяет точнее определить возможности отдельных методов и средств. Не давая определений этим классам, понятным в общем из названий, приведем некоторые примеры. Измерение электрической проводимости воды может выполняться контактным методом с помощью электродов и индукционным методом по реакции водной среды на электромагнитное поле. Температура может измеряться в "точке" термопарой или в среднем по скорости распространения звука между разнесенными акустическими антеннами. Скорость течений с помощью различных вертушек измеряется локально, а с помощью акустических сигналов — дистанционно.

Для увеличения срока службы в морской воде следует применять бесконтактные индуктивные датчики скорости и направления течений и электропроводности, а также изолированные датчики температуры. При этом срок службы их практически неограничен. При работе обсерватории на небольшой глубине (до 100 м) следует принимать меры биологической защиты от обрастания датчиков различными организмами.

ДОННАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЦУНАМИ

По известным представлениям, при подготовке сильнейших и катастрофических землетрясений

вследствие накопления огромных запасов упругой энергии происходит существенная геофизическая перестройка очаговой зоны как на суше, так и на морском дне. Эти процессы сопровождаются выбросом газов и флюидов из разломов земной коры, которые, проходя через воду, изменяют ее состав [17–19].

В районе г. Петропавловска-Камчатского в течение 1992–1997 годов предприятием "Камчатнедра" был выполнен большой объем синхронных наблюдений как в море, в зоне аквамариновой разгрузки флюида (Авачинская бухта), так и на суше — с использованием термальных и холодных скважин и естественных водных источников (Желтухин, 1998). Выбор Авачинской бухты для проведения долговременных режимных наблюдений обусловлен особенностями тектонического строения этого района. Это узел сочленения в пределах шовной зоны диагональной и ортогональной систем разломов. Взятые пробы исследовались в аналитической лаборатории, и результаты обрабатывались по методике Ткаченко—Капочкина (Ткаченко, Капочкин, 1993) с целью прогноза сейсмических явлений. При исследовании цикличности и периодичности потоков веществ было зафиксировано чередование слабых фоновых потоков, аномально высоких и ураганных. В результате проведенных работ было также установлено, что аномалии предвестникового характера отмечаются заблаговременно — от нескольких часов до первых суток. Существенным недостатком этих работ было разнесение во времени процессов взятия проб и их физико-химического анализа, а также необходимость использования судна.

В Институте океанологии РАН по договору с МЧС РФ в 1996–1997 гг. была разработана специализированная донная обсерватория для регистрации предполагаемых краткосрочных предвестников сильных землетрясений в Авачинском заливе Камчатки. Обсерватория позволяет производить измерение и регистрацию ряда параметров водной среды: температуру, давление, скорость течений, количество водородных ионов (pH), электропроводность, скорость звука в воде, спектр прозрачности видимого диапазона длин волн. Обсерватория должна устанавливаться на дне или над дном в местах предполагаемых выходов из разломов земной коры газов или других растворенных в воде веществ, служащих возможными предвестниками морских землетрясений.

В связи с основным назначением донной обсерватории осуществлялись ее разработка и комплектация. Обсерватория размещалась на дне Авачинской бухты в районе широтного тектонического разлома, на глубинах 25–40 м и на расстоянии до 30 км от пункта приема и управления (Институт сейсмологии и вулканологии РАН). Поскольку Авачинская бухта отличается интенсив-

ным судоходством, содержит множество портовых сооружений и является местом стоянки различных судов, схема с прокладкой донного кабеля к обсерватории была признана ненадежной. Было принято техническое решение с использованием поверхностного ретрансляционного буйа и передачи данных и команд управления по цифровому радиоканалу. Такое решение потребовало уделить серьезное внимание вопросам помехоустойчивости канала связи и обеспечения длительного автономного питания станции.

Другой серьезной проблемой при разработке станции явилось "жидкое дно", т. е. наличие на дне Авачинской бухты слоя желеобразной взвеси толщиной до 1,5 метров, состоящей из осадков речного стока, промышленных отходов и т. д. Поэтому датчики обсерватории надо было поднять над дном. Кроме того, поскольку Авачинская бухта замерзает (толщина льда может достигать в отдельные годы до 1 м), для работы станции в зимнее время необходимо предусмотреть применение специального ледового буйа, устойчивого к обмерзанию и подвижке льдов. Другой путь, который сейчас практикуется, — подъем станции в начале зимы и постановка на дно ранней весной после профилактики. Последнее оправдывается тем, что по многолетней статистике пик количества землетрясений в этом регионе приходится на весенне-осенний период.

На рис. 1 приведена функциональная схема донной обсерватории. Обсерватория состоит из

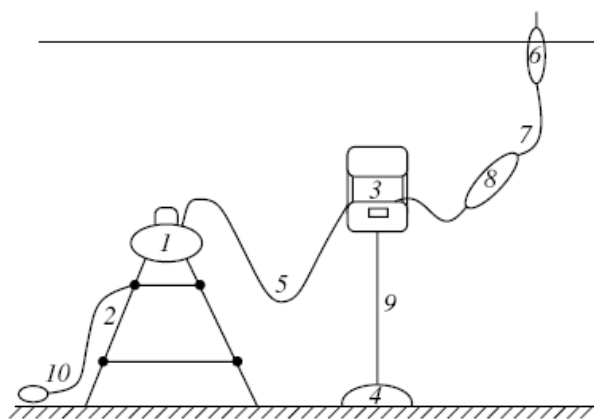


Рис. 1. Функциональная схема донной обсерватории для исследования гидрофизических предвестников морских землетрясений.

1 — приборный донный комплекс; 2 — тренога-основание; 3 — притопленный буй; 4 — якорь; 5, 7 — кабель-трос; 6 — всплывающий радиоретрансляционный буй; 8 — вьюшка-противовес; 9 — буй-реп; 10 — аварийный трос

приборного донного комплекса 1, притопленного буйа с источником питания 3 и всплывающего радиоретрансляционного буйа 6. Приборный модуль соединен кабель-тросом 5 с притопленным буйом и далее 7 — с радиобуйом. На берегу имеется пункт приема данных и управления обсерваторией. На обеспечивающем судне имеется приемопередающий канал связи, используемый во время постановки и проверки обсерватории на дне.

При разработке станции была поставлена задача активного управления ее работой с берега. Станция должна работать либо в автоматическом режиме с периодической выдачей результатов в пункт приема, либо по запросу с берега, либо изменять периодичность и характер измерений по соответствующим командам. В связи с этим связь со станцией разрабатывалась двухсторонней. Управление работой донной станции осуществляется микроЭВМ MICRO PC фирмы Octagon Systems (США), отличающейся повышенной надежностью, удароустойчивостью, низким энергопотреблением, малыми габаритами и весом. МикроЭВМ имеет аналоговые, цифровые и счетные входы, к которым подключаются датчики.

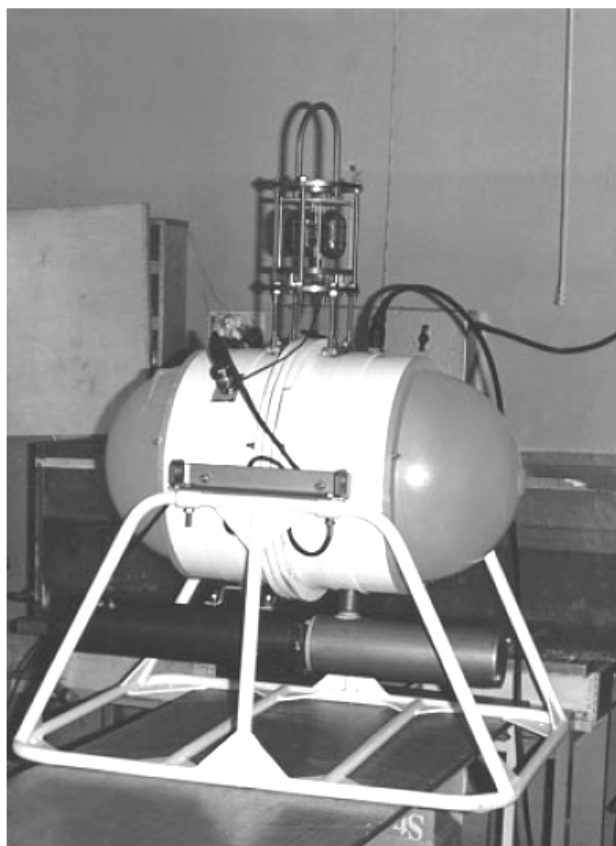


Рис. 2. Внешний вид приборного корпуса донной обсерватории

В соответствии с программой и командами с берегового поста ЭВМ определяет частоту опроса датчиков, записывает в память информацию, производит обработку и сжатие данных по заданным алгоритмам. МикроЭВМ управляет также работой оптического спектроанализатора. Накопленная информация передается через радиомодем в линию цифровой радиосвязи. Для двусторонней связи по радиоканалу используется полудуплексный режим с частотной модуляцией. Несущая частота радиоканала 400 МГц, скорость передачи до 2000 бод. Кабельная связь между донным комплексом и радиобуем производится также в цифровой форме для исключения возможных ошибок. При необходимости связь может быть установлена непосредственно по кабелю обсерватории с береговым постом. На рис. 2 представлен внешний вид донной части обсерватории в лабораторном помещении.

Основной источник питания обсерватории для удобства замены и обслуживания размещен в притопленном бье. Он рассчитан на питание в течение 6 месяцев и состоит из наливных батарей типа НБ-500 (12 В, 1500 Ачас), преобразователя питания (12 / 220 В) и защитной коммутации. Кроме того, в донном комплексе имеется буферный источник питания, используемый при наладке аппаратуры и для завершения цикла измерений в случае аварийного отключения основного источника.

В 1997 г. донная обсерватория успешно прошла испытания в Авачинской бухте Камчатки и была передана в опытную эксплуатацию. Осуществлялась пробная передача оперативных данных через сеть INTERNET непосредственно с Камчатки в Москву (ИО РАН). По ряду основных параметров (применение акусто-оптического спектрометра, автономность работы, способ передачи информации) станция на тот период не имела аналогов в мировой практике [8, 14].

Следует отметить, что разработанная обсерватория может использоваться и для других целей. Например, для проведения экологического мониторинга в акваториях с интенсивным промышленным развитием. Конструкция обсерватории позволяет изменять состав и параметры датчиков в достаточно широких пределах, а прочный корпус обеспечивает работу на глубинах до 4 км.

Практическое подтверждение пригодности донной обсерватории для регистрации краткосрочных предвестников землетрясений было получено во время опытной эксплуатации в июле–августе 1999 г. в Авачинской бухте Камчатки. В этот период (7 августа) в Авачинском заливе на расстоянии около 50 км от г. Петропавловска-Камчатского произошло землетрясение средней силы (магнитуда 4.4). Очаг землетрясения находился на глубине $H = 37$ км. В г. Петропавловске-Камчатском сотрясение составляло 2–3 балла.

На рис. 3 приведены временные ряды измерений соответственно температуры, скорости звука в воде, давления на дне, скорости придонных течений и концентрации водородных ионов pH, выполненных в этот период с помощью донной обсерватории. Явно выделяется широкий подъем на графиках температуры, скорости звука в воде, давления на дне и значений pH, приуроченный к моменту землетрясения 7 августа (обозначен вертикальной стрелкой). Значения давления и pH начали меняться с 5 августа (за двое суток до землетрясения). Это связано, по-видимому, с изменением состава воды в Авачинской бухте перед землетрясением (плотность увеличилась примерно на 3 %). В целом наблюдалась довольно объяснимая картина реакции измерительных трактов обсерватории на изменения состояния придонных вод в районе, охваченном подготовкой и реализацией землетрясения средней силы. Ряды значений вернулись к прежнему уровню примерно через двое суток. Контрольные измерения состава вод в наземных скважинах аналитическими методами подтвердили наличие аномалий, связанных с землетрясением.

ПОДВОДНЫЙ МНОГОЦЕЛЕВОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

В ОКБ океанологической техники РАН по заказу Института физики Земли РАН в 2005–2007 гг. разработана обсерватория, содержащая подводный гидрофизический комплекс (ПГК) и наземный широкополосный сейсмограф. ПГК предназначен: для обеспечения сейсмологического мониторинга в акваториях; изучения гидрофизических процессов в придонном слое, на континентальных склонах и шельфе океана; для исследований природных и антропогенных экологических ситуаций в морских акваториях и прибрежных зонах.

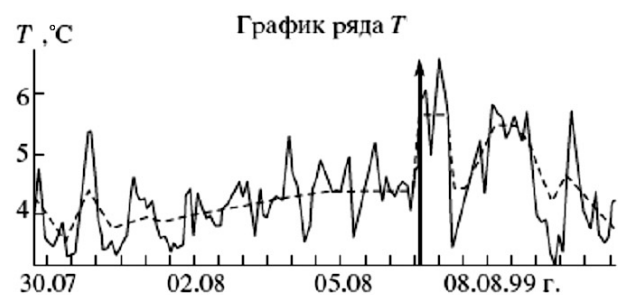
Подводный комплекс представляет собой систему океанологических измерительных приборов, объединенных в модульную конструкцию. Особенностью комплекса является постоянная связь с берегом по подводному кабелю. ПГК включает: донный сейсмограф; феррозондовый магнитометр (LEM-018B); гидрофизический модуль с датчиками температуры, статического давления, вектора скорости течения и электропроводности; блок регистрации и управления; гидроакустическую антенну; модем кабельной линии связи; автономный блок питания; герморазъем кабельной линии и обтекатель для защиты от влияния течений. Донный сейсмограф состоит из широкополосного velocиметра типа CM-5 с частотным диапазоном 0.03–40 Гц, сейсмоприемника сильных движений (акселерометра CM-5A) с частотным диапазоном 0.6–100 Гц; сейсмоакустического датчика (акселеро-

метра А1632) с частотным диапазоном 0.006–20 Гц. Эскиз конструкции подводного комплекса приведен на рис. 4.

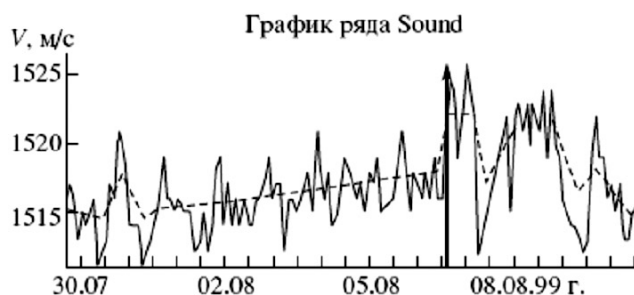
К устройствам обеспечения подводного комплекса относится судовая аппаратура, с помощью которой производится контроль и программирование подводной части и привязка к Единому времени, а также проверка его работоспособности и привязка к системе координат по гидроакустическому каналу связи после постановки на дно.

В наземном сейсмографе использован трехком-

понентный сейсмоприемник типа ТС-5В, характеристики которого идентичны характеристикам сейсмоприемника типа СМ-5. Аппаратура наземного комплекса с помощью блока сбора и обработки информации с синхронизацией от GPS обеспечивает прием данных от подводного комплекса по кабельной линии связи; производит запись и конвертирование информации в текстовый формат с целью использования в дальнейшей обработке с применением разработанного в рамках



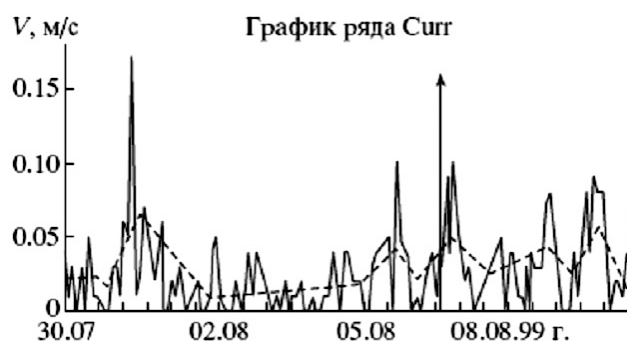
а



б



в



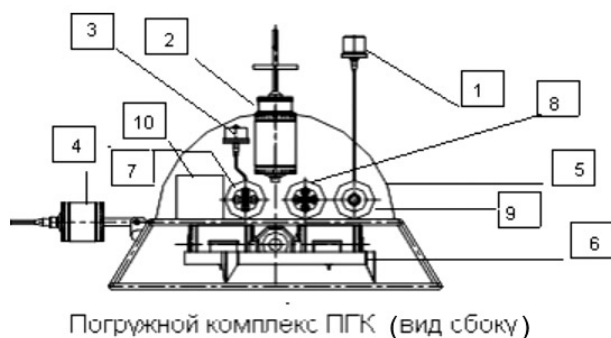
г



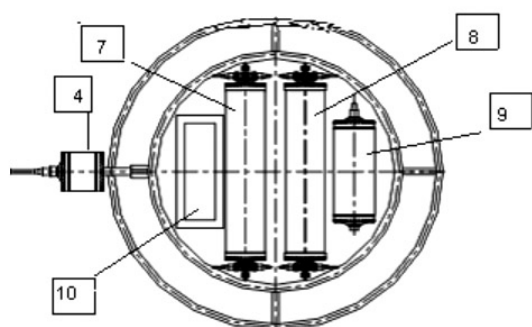
д

Рис. 3. Временные ряды измерений параметров придонного слоя вод, стрелками обозначен момент землетрясения 7 августа 1999 г.

а — значения температуры; б — значения скорости звука; в — давление; г — скорость придонных течений; д — показатель pH



Погружной комплекс ПГК (вид сбоку)



Погружной комплекс ПГК (вид сверху)

Рис. 4. Эскиз конструкции подводного комплекса многоцелевой обсерватории.

1 — датчик феррозондового магнитометра; 2 — гидрофизический модуль с датчиками температуры, статического давления, вектора скорости течения и электропроводности; 3 — гидроакустическая антенна; 4 — герморазъем кабельной линии; 5 — обтекатель для защиты от влияния течений; 6 — донный сейсмограф; 7 — блок регистрации и управления; 8 — контейнер, содержащий преобразователь напряжения питания, модем кабельной линии связи и автономный блок питания; 9 — электронный блок магнитометра; 10 — аварийный блок питания

этого проекта специального программного обеспечения. Внешний вид донного комплекса приведен на рис. 5.

В результате выполнения этой НИОКР решается комплексная задача долговременной регистрации подводных и наземных параметров среды, одновременной лабораторной и автоматической обработки данных.

АВТОНОМНАЯ ДОННАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ С ОПЕРАТИВНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ИНФОРМАЦИИ

В настоящее время в ОКБ ОТ РАН по заказу агентства Роснауки выполняется НИОКР, направ-



Рис. 5. Внешний вид подводного комплекса обсерватории

ленная на создание многоцелевой автономной донной обсерватории для проведения длительного комплексного геоэкологического мониторинга в акваториях Мирового океана с оперативной передачей информации и сигналов управления через спутниковые или радио-каналы связи. Работы ведутся совместно с Национальным институтом океанских технологий Индии (National Institute of Ocean Technology, Ministry of Earth Sciences of India, Chennai), представляют взаимный интерес и предназначены для последующей коммерциализации в области рационального природопользования. Особенностью этой обсерватории является возможность ее размещения на значительном удалении от пунктов управления и сбора информации (сотни и тысячи километров), в том числе в районах ожидаемых катастрофических землетрясений и цунами.

Подводная геофизическая обсерватория должна использоваться российскими и индийскими учеными для технического обеспечения научных фундаментальных и прикладных задач, представ-

ляющих взаимный интерес. В том числе: изучение строения земной коры в акваториях мирового океана; исследование проявления геофизических полей в зонах тектонических разломов непосредственно на дне; исследования месторождений морских газогидратов; выявление сейсмических, гидрохимических и гидрофизических предвестников сильных морских землетрясений; раннее оповещение и существенное повышение точности прогноза цунами; контроль изменений напряженно-деформированного состояния шельфовых зон вблизи разрабатываемых месторождений нефти и газа, вызванных извлечением углеводородов, законтурной закачкой воды и другими искусственными воздействиями; технический и геоэкологический мониторинг сложных гидротехнических сооружений.

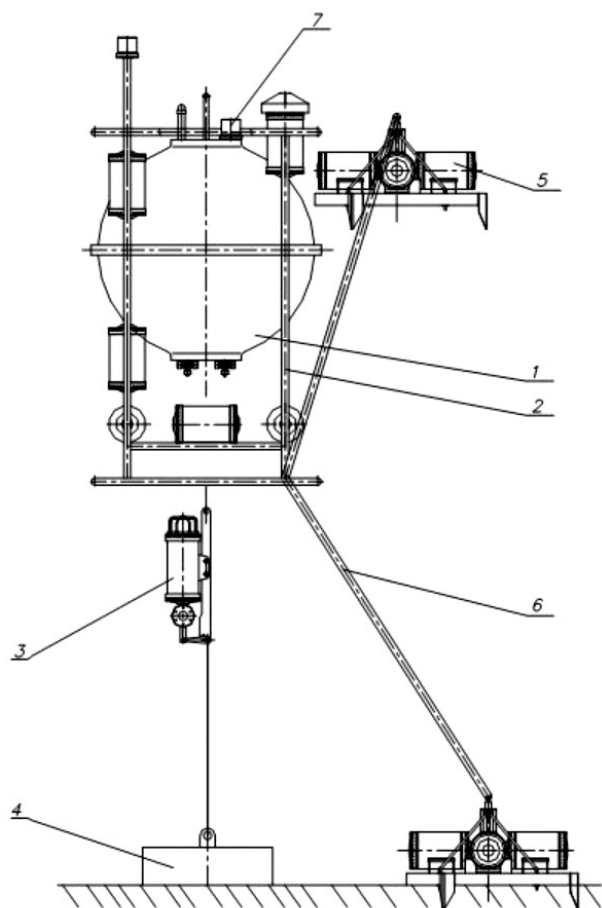


Рис. 6. Эскиз конструкции автономной донной обсерватории с оперативной передачей информации. 1 — приборный корпус; 2 — несущая рама; 3 — автономный гидроакустический размыкатель; 4 — якорь; 5 — донный сейсмометр; 6 — штанга сброса сейсмометра; 7 — антенна гидроакустической связи

Комплекс обсерватории состоит из донной части, судовой части и поверхностного ретрансляционного буйа. Донная часть включает следующие измерительные и вспомогательные модули, разрабатываемые в ОКБ ОТ РАН: трехкомпонентный сейсмограф — велосиметр, сейсмоакустический датчик, измеритель магнитного поля, модемы кабельной и гидроакустической линий связи. Часть модулей поставляется индийской стороной: акустический доплеровский измеритель профиля течений, измеритель гидрохимических параметров, донный измеритель давления. Гидрофизический модуль (СТД) для измерения солености, температуры и давления разрабатывается совместно. На рис. 6 приведен эскиз конструкции донной части комплекса. В прочном сферическом корпусе размещаются: блок регистрации и управления, блок гидроакустической связи, модем кабельной связи, источники питания. На несущей раме закреплены: магнитометр, акустический измеритель скорости течений, гидрофизический модуль, измерители гидрохимических параметров и метана.

Основные технические характеристики измерительной аппаратуры: частотный диапазон регистрации сейсмических сигналов 0.1–40 Гц; частотный диапазон сейсмоакустических сигналов 20–1000 Гц; диапазон измеряемых давлений 0.1–60 МПа; диапазон измерения электрической проводимости 0–9 См/м; диапазон измерения магнитного поля ± 65000 нТл; диапазон измерения скорости течений с помощью акустического доплеровского измерителя 0.1–100 см/с. Дальность гидроакустической связи до 8000 м, число принимаемых гидроакустических команд 20.

Судовая аппаратура обеспечивает контроль погружаемой части перед постановкой на дно и после подъема на борт судна, проверку ее работоспособности после постановки, осуществляет привязку к системе координат и к системе Единого времени, обеспечивает двустороннюю гидроакустическую связь.

В качестве поверхностного ретрансляционного буйа (поставляется индийской стороной) планируется использовать большой заякоренный океанографический буй (Data-buoy) фирмы "SeaTex" (США, Норвегия). Буй оснащен аппаратурой для измерения метеорологических и океанографических параметров (атмосферного давления, скорости и направления ветра, температуры воздуха и воды, влажности воздуха, периода, высоты и направления волн, скорости и направления поверхностных течений). Высота буйа над поверхностью воды составляет около 3 м, диаметр корпуса равен 2.2 м, длина подводного киля 2.8 м, общий вес свыше 900 кг. Буй содержит канал спутниковой связи с пунктом приема и обработки данных. Для связи с донной обсерваторией в нижней части буйа

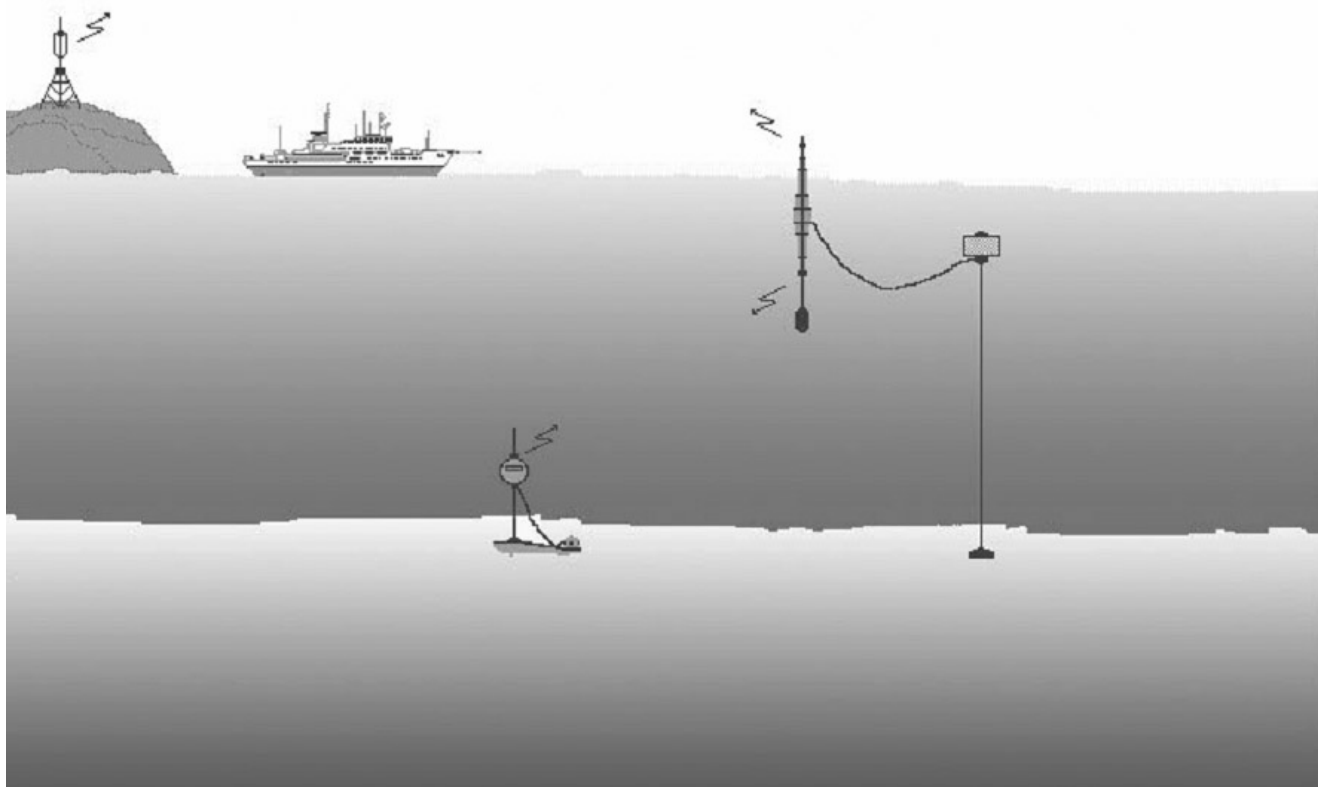


Рис. 7. Эскиз размещения автономной донной обсерватории на дне

устанавливается гидроакустическая приемо-передающая антенна, а в корпусе буя — блок гидроакустической связи и источник питания.

На рис. 7 приведен эскиз размещения донной обсерватории на дне для большой глубины акватории. В этом случае целесообразно применение промежуточного притопленного буя, который защищен от воздействия морских волн, ветра и поверхностных течений. Это обеспечивает более устойчивую гидроакустическую связь с донной частью обсерватории за счет малого радиуса дрейфа поверхностного буя. Поверхностный буй при этом может быть выполнен в виде облегченной конструкции с малой парусностью надводной и подводной частей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время намечается тенденция перехода от преимущественно судовых экспедиционных исследований и спутниковых наблюдений Мирового океана к созданию непрерывно действующих систем мониторинга с помощью донных и притопленных обсерваторий. Это необходимо для получения длительных синхронных рядов наблюдений многих параметров непосредственно

в толще воды и на дне. Только таким образом можно выявить корреляционные связи между различными факторами, определяющими состояние акватории, разделить климатические, сезонные и спонтанные их вариации. Важное значение имеет длительная регистрация геофизических параметров на дне, в том числе для изучения предвестников сильных морских землетрясений, вариаций глобальных океанических течений, строения океанической коры, изучения механизмов возбуждения и распространения штормовых микросейсм и др. Кроме фундаментальных проблем подводные обсерватории могут решать различные прикладные задачи: осуществлять заблаговременное предупреждение об опасности цунами, проводить многофакторный экологический мониторинг в районах промышленного освоения акваторий и др.

В ряде развитых стран в настоящее время разрабатываются и используются донные обсерватории различных конструкций и областей применения. Многоцелевые донные обсерватории и методы океанических исследований, разрабатываемые в ОКБ океанологической техники РАН и в Институте океанологии РАН, могут служить основой для создания сети региональных, а в дальнейшем — глобальной сети геофизических и гидрохимических наблюдений в Мировом океане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левченко Д.Г., Розман Б.Я., Утяков Л.Л., Шахрамьян М.А. Выносные донные станции для геофизического мониторинга и оперативного оповещения о землетрясениях и цунами // Сб. трудов МГИ. Севастополь: 1992. С. 57–61.
2. Delaney J.R. NEPTUNE: an Interactive Submarine Observatory at the Scale of a Tectonic Plate // Long-Term Observations in the Oceans: OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. P. 309.
3. Kasahara J., Toshinori S. Broadband Seismic Observation in VENUS Project // Intern. Workshop Scient.: Use Submar. Cables. Japan, Okinawa. 1997. P. 126–130.
4. Montagner J.P., Romanowicz B., Karczewski J.F. A First Step toward an Oceanic Geophysical Observatory // Trans. Am. Geoph. Un. 1994. V. 75, N 13. P. 150–154.
5. Purdy G.M., Dziewonski A.M. Towards a Permanent Network of Ocean Floor Seismological Observatories // Abstract Book: Intern. Workshop "Multidisciplinary Observatories on the Deep Seafloor". Marseille, France. 1995. P. 165–168.
6. Beranzoli L., Etiope G., Favali P., Frugoni F., Smeiglio G. GEOSTAR Observatory for Geophysical and Environmental Monitoring // Intern. Workshop Scient.: Use Submar. Cables. Japan, Okinawa. 1997. P. 126–130.
7. Dziewonski A., Lancelot Y., Cann J., et al. Scientific Rationale for Long-Term Geophysical Ocean Bottom Observatories // Int. Workshop Multidisciplinary Observatories on the Deep Seafloor. Marseille, France. 1995. P. 3–50.
8. Гаврилов В.А., Левченко Д.Г., Утяков Л.Л., Шехватов Б.В. Гидрохимическая донная станция для регистрации краткосрочных предвестников морских землетрясений // Океанология. 2000. Т. 40, № 3. С. 456–467.
9. Dziewonski A. Long-Term Observatories in the Oceans: Synergies in Science and Technological Solutions // Long-Term Observations in the Oceans: OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. P. 245–246.
10. Iwase R. Multidisciplinary and Extensive Real-Time Deep Seafloor Observatory off Hatsushima Island in Sagami Bay // Long-Term Observations in the Oceans: OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. P. 295–298.
11. Schultz A., Lampitt R., Peirce C., Boyle E. DEOS Plans for Establishment of Long-Term Mobile Interdisciplinary Ocean Observatory Systems in the N and S Atlantic // Long-Term Observations in the Oceans: OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. P. 310–316.
12. Eguchi T., Fujinawa Y., Fujia E., Iwasaki S. An Observation Network of Ocean-Bottom-Seismometers Deployed at the Sagami Trough Subductin Zone // Intern. Workshop Scient.: Use Submar. Cables. Japan, Okinawa. 1997. P. 178–181.
13. Favali P. SN-1: the First Node of the Italian Seafloor Observatory Network — Background and Perspective // 3-rd Workshop Scient.: Use Subm. Cables Rel. Techn. Japan, Tokyo, 2003. P. 19–24.
14. Левченко Д.Г. Регистрация широкополосных сейсмических сигналов и возможных предвестников сильных землетрясений на морском дне. М.: Научный мир, 2005. 240 с.
15. Парамонов А.А. О развитии морских технологий и создании современных технических средств // VI Межд. НТК "Современные методы и средства океанологических исследований". М.: ИО РАН, РФФИ, 2000. Ч. 1. С. 41–68.
16. Лобковский Л.И., Левченко Д.Г., Леонов А.В., Амбросимов А.К. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий. М.: Наука, 2005. 325 с.
17. Хитаров Н.И., Войтов Г.И., Лебедев В.С. О геохимических предвестниках землетрясений на прогнозных полигонах. М.: Наука, 1974. 165 с.
18. Желтухин А.С. Опыт-методические режимные наблюдения по проблеме краткосрочного прогноза землетрясений в морских сейсмогенных зонах // Тр. конф. "Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза". М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. С. 115–123.
19. Ткаченко Г.Г., Капочкин Б.Б. Способ прогноза фаз тектонической активности. Патент РФ № 1837139, 1993.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва (Башилов И.П.)

ОКБ океанологической техники РАН, Москва (Зубко Ю.Н., Леденев В.В., Павлюкова Е.Р., Парамонов А.А.)

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва (Левченко Д.Г.)

Материал поступил в редакцию 14.03.2008.

BOTTOM GEOPHYSICAL OBSERVATORIES: METHODS OF DESIGNING AND AREA OF APPLICATION

**I. P. Bashilov, Yu. N. Zubko¹, D. G. Levchenko²,
V. V. Ledenev¹, E. R. Pavliukova¹, A. A. Paramonov¹**

Institute of Physics of the Earth by O.Yu. Shmidt RAS, Moscow

¹*Experimental Design Bureau of Oceanologic Equipment RAS, Moscow*

²*Shirshov Oceanology Institute RAS, Moscow*

New tendencies of Global Ocean study with the help of multi-purpose autonomous bottom observatories are considered. The brief review of a history of creation and use of these devices is resulted. Features of their design and a scope are analyzed. Concrete examples of use of bottom observatories for studying forerunners of strong sea earthquakes and a tsunami and ecological monitoring of industrially mastered water areas are described.