

ОБСЛЕДОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВБЛИЗИ ПОДВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

© 2018 г. В. Т. Пака¹, *, В. А. Чечко¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, Россия

*e-mail: vpaка@mail.ru

Поступила в редакцию 11.08.2016 г.

После доработки 04.10.2017 г.

Решена задача прицельного отбора проб донных отложений в непосредственной близости от объектов, предположительно являющихся источниками химического загрязнения моря. Построен кассетный пробоотборник с 6-ю ковшами, последовательно приводимыми в действие резиновыми тягами, управляемыми по кабелю под контролем видеокамеры. Прибор размещается на мотоботе, который можно удерживать над объектом и перемещать по заданной схеме. Позиционирование в момент взятия пробы ведется путем фиксации координат мотобота с помощью GPS/GLONASS. Эффективность разработанной системы пробоотбора подтверждена успешным использованием прибора при обследовании ряда потенциально опасных подводных объектов, обнаруженных в районах захоронения химического оружия в Балтийском море.

DOI: 10.1134/S0030157418050118

1. ВВЕДЕНИЕ

На дне морей и океанов находится большое количество объектов, представляющих собой явную или потенциальную угрозу для морской среды и населения. В частности, угроза может исходить от боевых отравляющих веществ (ОВ), оказавшихся на дне моря в результате ликвидации арсеналов химического оружия (ХО) после Второй Мировой Войны, принадлежавших как побежденным, так и победителям. Значительная, а возможно и большая часть ХО была ликвидирована путем затоплений, проводившихся во многих районах океанов и морей. О масштабах затопления можно судить по интерактивной карте, созданной Центром Джеймса Мартина по изучению нераспространения оружия массового уничтожения [9]. В Балтийском море и проливе Скагеррак затоплялось ХО, захваченное странами антигитлеровской коалиции на территории Германии [8]. В Скагерраке были затоплены суда с ХО общим весом около 150 тыс. тонн из английской и американской зон оккупации. На дне Балтики оказалось ХО из советской зоны оккупации в количестве около 40 тыс. тонн; опасный груз затоплялся в районах к востоку от о-ва Борнхольм и к западу от порта Лиепая путем сброса за борт с дрейфующих судов, при этом опасные объекты оказались рассеянными по большим площадям. Именно эти затопления тысяч единичных предметов вооружений являются предметом наших исследований, обзор которых содержится в

[1, 2] и других источниках [5]. Установлено, что ХО за годы нахождения на морском дне частично или полностью разгерметизировались, ОВ и продукты их распада обнаружены в заметных концентрациях в границах районов затопления в верхнем слое донных отложений, а в следовых концентрациях они обнаруживаются на больших удалениях от районов затопления [12]. Таким образом, существует реальная угроза воздействия ОВ на обитателей моря и население региона, требующая всестороннего изучения и принятия адекватных мер. Кроме рассредоточенного ХО, на дне морей лежат затопленные суда с неизвестными грузами, которые необходимо идентифицировать. Как минимум, для этого нужны пробы воды и грунта, взятые в окрестностях потенциально опасных объектов. Пока обследовались крупные потенциально опасные объекты, большой точности определения координат точек отбора проб не требовалось, поэтому использовались стандартные средства и методы отбора проб воды и донных отложений. Однако после обнаружения многих сотен малых объектов, каждый из которых может быть источником химического загрязнения [5], возникла необходимость привязки точек отбора проб к техногенным объектам и возможности взятия проб на минимальных расстояниях от объекта. Оказавшиеся в морской среде боевые ОВ, например, иприт, адамсит, кларк 1 и кларк 2, обладают сравнительно высокой плотностью и низкой растворимостью, вследствие чего ареалы загрязнения вблизи единичных объектов

не превышают единиц метров [10]. Столь малые пятна трудно обнаружить, если отбирать пробы обычным способом. Принимая во внимание, что использование пилотируемых аппаратов для обследования обнаруженных объектов в рамках действующих проектов нереально, актуально создать более доступный способ отбора проб.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Чтобы обнаружить и определить загрязняющее вещество современными методами, достаточно небольшой по объему пробы грунта, зачерпнутой с поверхности дна [11]. Для отбора таких проб можно использовать различные стандартные дночерпатели, погружаемые на дно на стальном тросе, содержащие грунтозахватывающий ковш, спусковое устройство и механизмы для приведения ковша в действие. Как правило, сила, необходимая для захвата и удержания пробы в изолированном объеме обеспечивается натяжением троса при выборке. К недостаткам таких дночерпателей можно отнести то, что за одно погружение они берут пробу только из одной точки. При большой пространственной неоднородности загрязнения одной пробы мало, а повторное взятие проб требует больших затрат судового времени. Для идентификации подводного объекта нужна серия поверхностных проб из близкорасположенных точек. Поверхностные пробы берутся методом зачерпывания с последующей изоляцией пробы от вымывания. Примером устройства, отвечающего данному требованию, является одноковшовый пробоотборник *Надон Grab Sampler* [4], который погружается на тросе, имеет устойчивую платформу для ковша, прикрепленного к нижнему концу поворотного кронштейна, вращающегося вокруг горизонтальной оси в вертикальной плоскости под действием натяжения троса, возникающего при выборке пробоотборника. Однако и этот пробоотборник за одно погружение может взять только одну пробу донных отложений.

3. КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА И МЕТОДЫ РАБОТЫ С НИМ

Устройство кассетного 6-ти ковшового пробоотборника донных отложений представлено на рис. 1. Упомянутые детали устройства обозначены в подписи к рисунку. Пробоотборник имеет каркасную конструкцию, в нижней части которой находится линейка ковшей, стартовая и запирающая платформы и спусковой механизм с электроприводом, а в верхней — видеокамера с осветителями. Сила, необходимая для движения ковшей в слое отбираемого грунта и прижатия ковшей с взятыми пробами к запирающей платформе, обеспечивается резиновыми тягами.

Подвод электропитания к электрическим устройствам и выход видеосигнала осуществлен по упрочненному кевларом 4-х жильному кабелю нейтральной плавучести. Рекомендуется кабель со специальной скруткой токопроводящих жил типа КМГГ 4 × 0.25-4-8.0У, производимый заводом «Псковкабель», удовлетворяющий требованиям передачи сигнала от видеокамеры.

Ковши закреплены на кронштейнах, установленных в ряд на общей горизонтальной оси с возможностью движения по дуге от стартовой до запорной платформы с погружением в грунт на глубину около 70 мм. Обе платформы и ось установлены таким образом, чтобы в начальной и конечной позициях ковши находились над поверхностью дна. Высокий каркас нужен для натяжения резиновых тяг. Резиновые тяги крепятся к ковшам и при этом отводятся вбок от оси, вокруг которой вращаются кронштейны, с помощью упоров, чтобы в любой фазе рабочего хода плечо и момент силы натяжения относительно оси вращения кронштейна были достаточными для преодоления сопротивления грунта. Резиновые тяги состоят из собранных в жгуты резиновых шнуров с допустимым растяжением не менее 500%. Натяжение, необходимое для выполнения рабочего хода ковша и его прижима к запорной платформе, регулируется количеством шнуров в жгуте.

Ковш состоит из двух частей: металлического кольца с заостренной режущей кромкой и одноразового эластичного пластикового пакета-грунтосборника, который натягивается на кольцо и крепится капроновым хомутиком. Кольцо с уложенным внутри него пакетом в стартовой позиции прижимается к стартовой платформе натяжением резиновой тяги, конец которой сложен петлей, заведенной в спусковой механизм, сбрасывающий петлю при срабатывании. Срабатывание спускового механизма управляется вытяжной лентой. Детально конструкция спускового механизма описана в патенте [3], полученном авторами на кассетный пробоотборник. При вытягивании ленты с помощью электромотора ковши срабатывают поочередно. Паузы между срабатываниями выдерживаются столько времени, сколько требуется на приподнимание пробоотборника над дном и перемещение его вместе с мотоботом в новую точку.

Для регистрации перемещения используется GPS-приемник, соединенный с брызгозащищенным планшетом с использованием стандартной программы для работы с картами, например, *Garmin Map Source* или *Open CPM*. Точки подводных объектов заводятся в планшет заранее.

При выходе в намеченную точку дается команда на постановку пробоотборника на грунт. Факт посадки определяется по видеоизображению дна и взмучиванию ила. На рис. 2 показан пример ви-

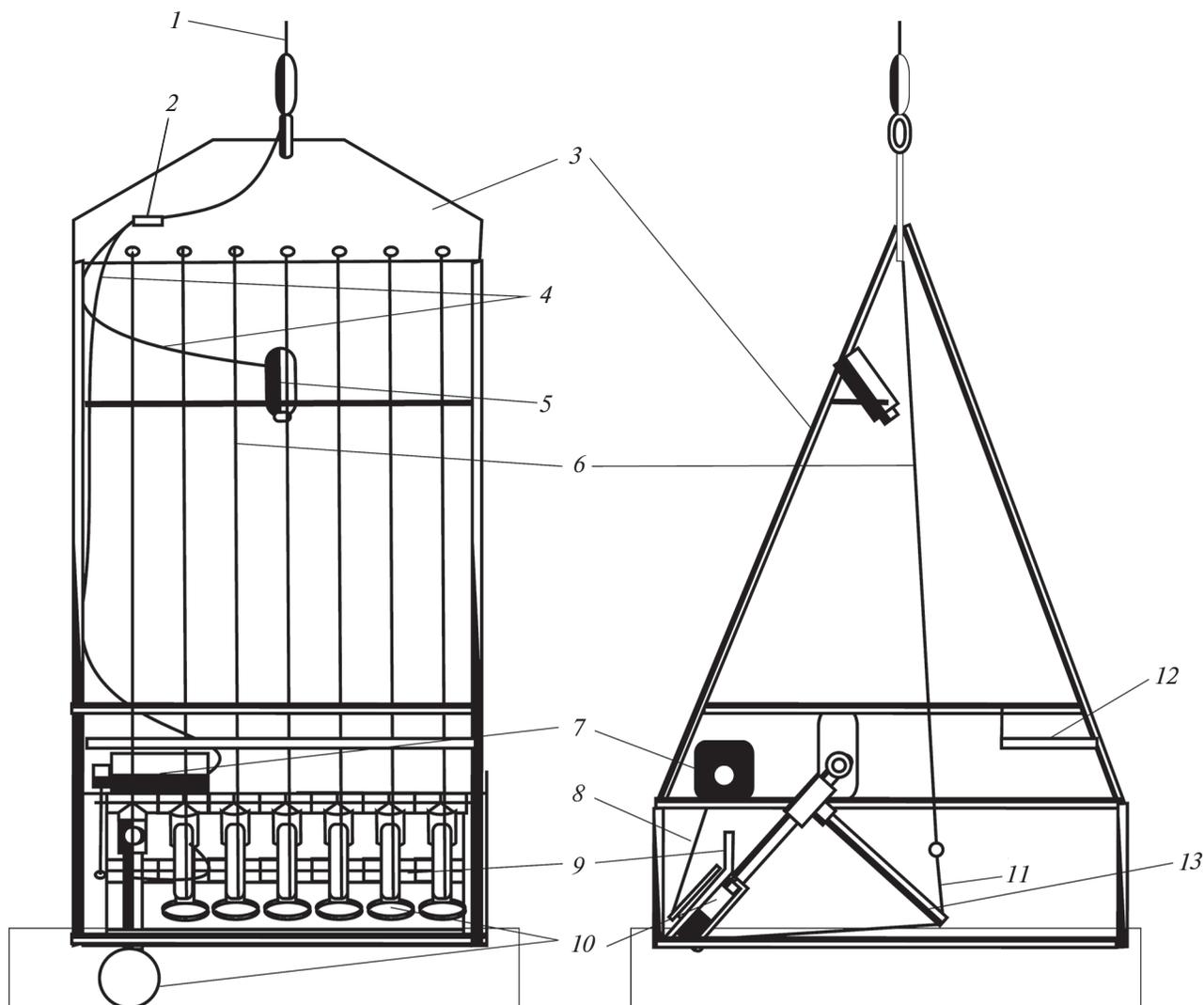


Рис. 1. Конструкция кассетного пробоотборника, вид спереди (слева) и вид сбоку (справа). На виде сбоку пунктиром показаны промежуточные положения ковша при перемещении от стартовой до запорной платформы. 1 – Кабель грузонесущий, 2 – муфта, 3 – каркас, 4 – кабели соединительные, 5 – видеокамера с осветителями, 6 – резиновые тяги, 7 – электромотор, 8 – вытяжная лента, 9 – кронштейн, 10 – стартовая платформа, 11 – ковши, 12 – запорная платформа, 13 – упор. Пояснения в тексте.

деоинформации, отображающей процесс пробоотбора, которой руководствуется оператор в своих действиях. Оператор включает протяжку вытяжной ленты и следит за срабатыванием ковша. Убедившись, что проба взята, оператор выключает протяжку ленты и ставит отметку с номером пробы и дает команду на приподнимание прибора и перемещение в следующую точку. Координаты отмеченной точки регистрируются автоматически. Результат этих действий сохраняется в виде файла, поступающего в базу данных.

Перемещение между точками пробоотбора на расстояние около 3–5 м занимает около 1–2 мин. Примерно столько же занимают выдержка, нужная для восстановления нарушенной при посадке на дно видимости, и сам процесс взятия пробы.

В целом, отбор 10–12 проб занимает 20–30 мин, но значительно большее время тратится на расстановку якорей и вывод мотобота в точку расположения объекта методом перетягивания на якорных концах. Эта работа требует специфических морских навыков. Резерв повышения оперативности работ с многоковшовым пробоотборником кроется в отказе от использования якорей и оснащении рабочих плавсредств современными системами динамического позиционирования.

4. ОПЫТ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Для обследования удобно использовать рабочие мотоботы, имеющиеся на многих экспедици-

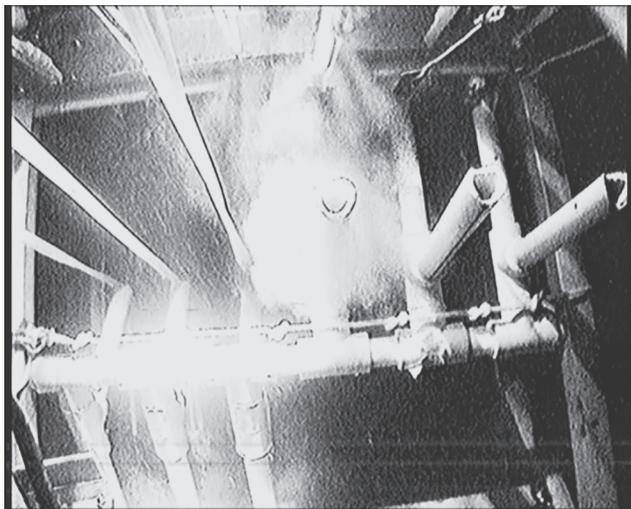


Рис. 2. Видеоизображение пробоотборника, наблюдаемое оператором в процессе взятия проб. При срабатывании ковшей в правой части экрана появляются вертикально направленные трубки-упоры. В кадре зафиксирован момент завершения рабочего хода 3-го ковша. Клуб взмученного ила свидетельствует, что проба взята, и можно перемещаться в следующую точку.

онных судах, способные удерживаться на легких якорях, оснащенные навигационной системой, источником электропитания и вмещающие группу операторов с аппаратурой. Альтернативный вариант — одна или две надувные лодки достаточной вместимости. Если лодок две, то одна работает с якорями, а вторая — с прибором.

В качестве грузоподъемного устройства на маломерных катерах и лодках можно использовать тяговый блок, представляющий собой шкив диаметром около 25 см с V-образной канавкой, ширина и глубина которой соответствует диаметру кабеля, приводимый во вращение мотором с редуктором. С помощью направляющих роликов кабель охватывает шкив на 300°, что полностью исключает пробуксовку. Использование тягового блока вместо лебедки позволяет обходиться без токосъемника и использовать механическую тягу не только для прибора, но и для выборки якорей.

Координаты объектов выбираются из базы данных, доступных для участников завершенных проектов CHEMSEA [5] и MODUM [7] и действующего до 2018 г. проекта DAIMON [6]. В зависимости от погодных условий, выбирается тот или иной вариант обследования. Предпочтительно получение около 10–12 проб в радиусе 15–30 м вокруг объекта с возможностью зависания в каждой заранее намеченной точке. Но это возможно только при тихой погоде, не препятствующей использованию надувных лодок. При менее благоприятной погоде работа выполняется с борта более мореходного плавсредства, дрейфующего с

таким расчетом, чтобы линия дрейфа проходила через намеченную точку. Еще лучше, если обследуется группа близкорасположенных объектов; тогда по ходу дрейфа отбираются пробы через минимальные регулярные интервалы, и при этом они оказываются на тех или иных расстояниях от различных объектов. В несколько заходов можно получить достаточное количество проб в скоплении объектов, чтобы определить присутствие потенциальной угрозы. Если при этом возникнет трудность в определении источника угрозы, то обследование этой группы можно повторить при более благоприятных условиях. Если же признаки угрозы отсутствуют, то все расположенные вблизи линии дрейфа объекты могут быть отнесены к категории безопасных.

Практическая работа с многоковшовым пробоотборником началась в сентябре 2014 г. на польском НИС “Океания” с использованием надувной лодки типа “Зодиак”. Испытывался упрощенный 2-х ковшовый пробоотборник с целью проверки работоспособности основных узлов. Наряду с техническими результатами, в районе Борнхольмской свалки химического оружия вблизи нескольких объектов было отобрано по 5 проб, расположенных в линию с удалением от объекта от 1 до 30 м. В следующем году была построена и испытана первая 6-ковшовая модель пробоотборника. В марте 2015 г. в рейсе НИС “Океания” с помощью этого прибора получена 51 проба вблизи 5 объектов. Одновременно были выявлены отдельные конструктивные недостатки прибора, которые удалось в дальнейшем устранить. Приведенное в настоящей статье описание прибора соответствует доработанному варианту. Новый пробоотборник использовался в сентябре 2015 г. в рейсе маломерного судна “Норд 3”. Погода не позволила использовать надувную лодку, поэтому пробоотбор проводился с борта дрейфующего судна. В следующем году работы с тем же пробоотборником проводились в районе Борнхольмской свалки ХО на польском маломерном судне “Доктор Любецкий”. Погода снова не позволила использовать надувную лодку, и измерения проводились в дрейфе через скопление объектов. В несколько приемов было взято 19 проб на приемлемо малых расстояниях от 5 объектов. Та же методика с того же судна в том же районе была использована в июне 2016 г.; было взято 30 проб вблизи 8 объектов. В августе 2016 г. в рейсе НИС “Академик Страхов” во время его работ в районе Готландской свалки ХО погода позволила провести прицельный отбор 52 проб вблизи 5 объектов с надувной лодки “Бриг” (рис. 3).

Примеры расположения точек отбора проб относительно обследуемых объектов приведены на рис. 4 и 5. При удержании надувной лодки вблизи одного выбранного объекта на якорях (рис. 4) удастся получить большее количество точек в не-



Рис. 3. Расположение оборудования и персонала в надувной лодке “Бриг”, спущенной с НИС “Академик Страхов”. Пробоотборник лежит в центре. Выступает за борт грузоподъемный блок.

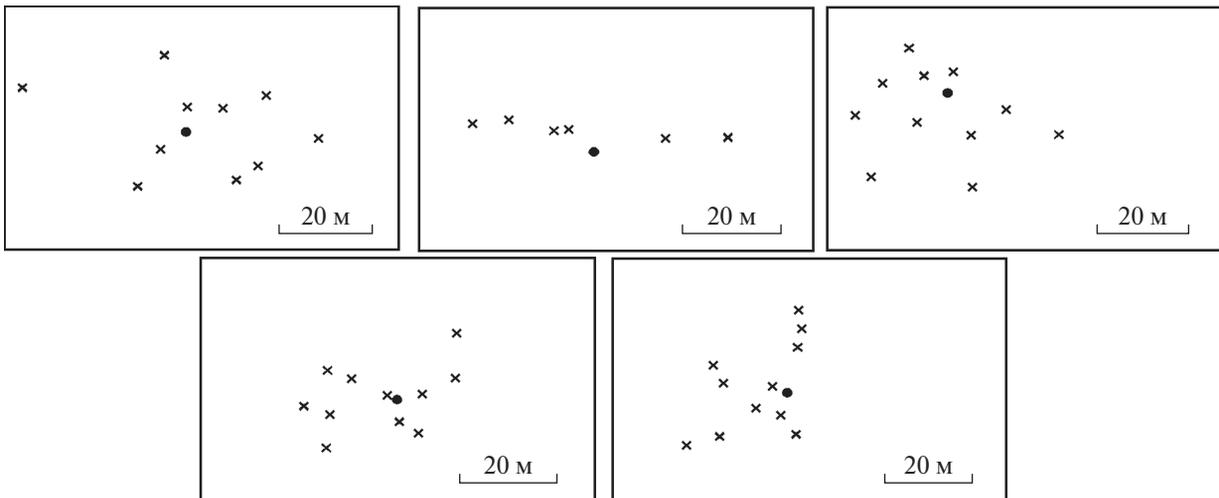


Рис. 4. Взаимное расположение подводных объектов (кружки) и точек отбора проб (крестики). Работа выполнена с надувной лодки “Бриг”, удерживавшей свое положение над объектами с помощью пары легких якорей. 32-й рейс НИС “Академик Страхов”, Готландский район затопления химического оружия, август 2016 г.

посредственной близости от объекта. При работе в дрейфе (рис. 5) таких точек меньше, а разброс расстояний до объектов больше, чем при в режиме зависания над отдельным объектом, но за короткое время для группы из 8 объектов было взято 70 проб. Это дает возможность по завершении анализов решить главную задачу – определить наличие или отсутствие источников ОВ в обследованной части района реальной угрозы, тем са-

мым продвинуться в выполнении программы обследования опасной зоны моря. К сожалению, возможность самостоятельно определять боевые ОВ для нас отсутствует. В рамках международного проекта задачи разделяются между участниками, и наиболее сложные химические анализы выполняют финские партнеры [11, 12]. К настоящему времени выявлено несколько опасных объектов, но количество необследованных объектов несо-

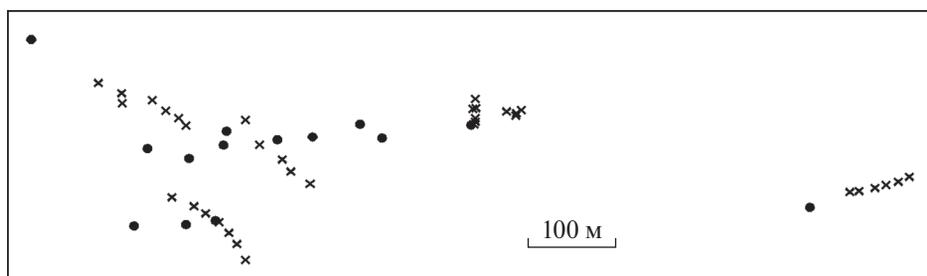


Рис. 5. Взаимное расположение подводных объектов (кружки) и точек отбора проб (крестики). Работа выполнена с мотобота “Норд 3” в режиме дрейфа или движения “толчками” малым ходом. Борнхольмский район затопления химического оружия, сентябрь 2015 г.

поставимо больше количества обследованных, поэтому программа обследования и пополнения коллекции проб как важного результата проекта продолжается.

Двухлетний опыт эксплуатации кассетного пробоотборника подтверждает эффективность предложенных методов обследования точечных потенциально опасных объектов и перспективность предлагаемых конструктивных решений.

Дальнейшее усовершенствование прибора и методов его использования направлены на увеличение числа ковшей в тех же габаритах и на использование гидролокатора кругового обзора (ГКО) для повышения точности позиционирования пробоотбора, когда в этом возникает принципиальная необходимость. Без особой необходимости повышать точность позиционирования пробоотборника не следует, т.к. это неизбежно влечет за собой увеличение стоимости аппаратурного комплекса и удорожание всей полевой программы. На данном этапе обследования районов массового затопления ХО в Балтийском море вполне пригоден комплекс в минимальной комплектации, т.е. без ГКО.

Работа выполнена при поддержке международных проектов SFP 984589 Towards the monitoring of dumped munitions threat (MODUM) и Interreg – Project #R013 Decision aid for marine munitions (DAIMON). Конструктивные усовершенствования внесены в рамки темы Госзадания № 0149-2018-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пака В.Т. Затопленное химическое оружие: состояние проблемы // Российский химический журнал, 2004. Т. 48. № 2. С. 99–109.
2. Пака В.Т. О боевых отравляющих веществах на дне Балтийского моря // Журнал региональных исследований “Янтарный мост”. 2014. № 2(2). С. 94–103.
3. Пака В.Т., Подуфалов А.П., Чечко В.А. и др. Патент на полезную модель № 170 497 “Пробоотборник донных отложений”.
4. Пробоотборник HAMON grab sampler. Описание. <http://www.mcgregor-geoscience.com/Portals/46/documents/Hamon.pdf>.
5. Проект CHEMSEA www.chemsea.eu/admin/uploaded/CHEMSEA%20Findings.pdf.
6. Проект DAIMON, <http://www.daimonproject.com/partners.html>.
7. Проект MODUM, <http://www.iopan.gda.pl/MODUM/>.
8. HELCOM 2013. Chemical munitions dumped in the Baltic Sea. BSEP 142.
9. James Martin Center for Nonproliferation Studies (CNS). An Interactive Map. <http://www.nonproliferation.org/chemical-weapon-munitions-dumped-at-sea/>.
10. MEDEA, Ocean Dumping of Chemical Munitions: Environmental Effects in Arctic Seas, MEDEA, McLean, Virginia, USA, 1997, medea@mitre.org.
11. Missiaen T., Söderström M., Popescu I. et al. Evaluation of a chemical munition dumpsite in the Baltic Sea based on geophysical and chemical investigations // Science of the Total Environment. 2010. V. 408. P. 3536–3553.
12. Sanderson H., Fauser P., Thomsen M. et al. Environmental Hazards of Sea-Dumped Chemical Weapons // Environ. Sci. Technol. 2010. V. 44. P. 4389–4394.

Inspection of Bottom Sediments Near Underwater Sources of Chemical Pollution

V. T. Paka, V. A. Chechko

To sample one by one a number of sediment samples in close vicinity of underwater objects, which could be sources of chemical pollution, the cassette sampler was built, equipped with 6 cable-operated grabs with rubber strings and video. The sampler is launched from a motor boat, which might be kept at fixed position and moved by small steps according to the sampling scheme. Position of the sampler at each sampling moment is supposed to be the same as the boat's position fixed by GPS.