

УДК 551.46.077

© Б. А. Нерсесов*, Н. А. Римский-Корсаков

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Нахимовский пр., д. 36, г. Москва, Россия

*E-mail: nba1940@yandex.ru

ПРОБЛЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАТОПЛЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ БОЕПРИПАСОВ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

Статья поступила в редакцию 04.08.2020, после доработки 29.03.2021

При проведении подводных хозяйственных работ (геологоразведка, рыболовство, экологический контроль трубопровода «Северный поток») в Балтийском море возникает специфическая проблема, связанная с наличием на дне Борнхольмской котловины массового скопления трофейных химических боеприпасов, затопленных после Второй мировой войны.

Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН периодически проводятся экспедиции по обследованию подводных потенциально опасных объектов с использованием судовых геофизических и геохимических средств. В статье проанализированы особенности проведения подводных хозяйственных работ в ряде акваторий Балтийского моря, связанных с наличием затопленных химических боеприпасов. Приведены теоретические аспекты поиска подводных потенциально опасных объектов в мелководных акваториях.

В процессе поисковых работ выяснилась возможность классификации подводных потенциально опасных объектов по их магнитограммам. Анализ магнитограмм обнаруженного подводного объекта позволяет классифицировать его как «совокупность химических боеприпасов» или как «затонувшее судно». Разработаны практические рекомендации по комплексному использованию гидроакустических и магнитометрических средств обнаружения химбоеприпасов с учетом специфики рельефа дна и характеристик грунта.

Согласно концепции экологического мониторинга, места затопления кораблей и судов, а также захоронения боевых отравляющих веществ — химических боеприпасов, рассматриваются как зоны особо опасных природно-техногенных комплексов на дне Балтийского моря.

Ключевые слова: подводный объект, химические боеприпасы, гидролокатор бокового обзора, магнитометрическое средство, комплексирование, эффективность, рельеф дна, мелководье.

© B. A. Nersesov*, N. A. Rimsky-Korsakov

Shirshov Institute of Oceanology RAS, 117997, Nahimovsky Pr., 36, Moscow, Russia

*E-mail: nba1940@yandex.ru

THE PROBLEM OF DETECTION OF FLOODED CHEMICAL AMMUNITION IN THE BALTIC SEA

Received 04.08.2020, in final form 29.03.2021

Under subterranean economic operations (geological prospecting, fishing, ecological control of the Nord Stream pipeline), a specific problem arises in the Baltic Sea due to the presence of a mass accumulation of captured chemical ammunition on the bottom of the Bornholm Basin flooded after the World War II.

Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences periodically conducts expeditions to survey submarine potentially dangerous objects using ship geophysical and geochemical means. The paper analyzes the features of conducting underwater economic operations in a number of water areas of the Baltic Sea associated with the presence of submerged chemical munitions. Theoretical aspects of the search for underwater potentially dangerous objects in shallow water areas are presented. In the process of prospecting, it became possible to classify underwater potentially hazardous objects according to their magnetograms. An analysis of the magnetograms of the detected underwater object allows us to classify it as a «set of chemical munitions» or as a «sunken ship».

Practical recommendations have been developed on the integrated use of sonar and magnetometric means for detecting chemical bombs, taking into account the specificity of the bottom relief and soil characteristics.

Ссылка для цитирования: Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А. Проблема обнаружения затопленных химических боеприпасов в Балтийском море // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2021. Т. 14, № 2. С. 98–103. doi: 10.7868/S207366732102009X

For citation: Nersesov B.A., Rimsky-Korsakov N.A. The Problem of Detection of Flooded Chemical Ammunition in the Baltic Sea. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2021, 14, 2, 98–103. doi: 10.7868/S207366732102009X

According to the concept of environmental monitoring, the location of flooded ships and vessels, as well as the burial of chemical warfare agents — chemical ammunition are considered as zones of especially dangerous natural and technogenic complexes at the bottom of the Baltic Sea.

Key words: underwater object, chemical ammunition, side-scan sonar, magnetometric means, integration, efficiency, bottom relief, shallow water.

1. Введение

При проведении подводных хозяйственных работ (геологоразведка, рыболовство, экологический контроль трубопровода «Северный поток-1») в Балтийском море возникает специфическая проблема, связанная с наличием на дне Борнхольмской котловины массового скопления трофейных химических боеприпасов (ХБ), затопленных после Второй мировой войны.

В 2020–21 гг. в экономической зоне Дании по дну Балтийского моря прокладывается вторая нитка подводного трубопровода «Северный поток-2». В связи с прокладкой трубопровода, проблема обнаружения подводных потенциально опасных объектов (ППОО) является актуальной [1, 2].

По документальным данным в Балтийском море было затоплено более 35 тыс. тонн этих экологически опасных объектов (бомб, снарядов, контейнеров). К настоящему времени, по оценкам экспертов, под действием коррозии уже разгерметизировано около 90–100 % тонкостенных контейнеров с отравляющим веществом, а также 80–90 % снарядов и бомб, имеющих более прочные корпуса. Кроме того, как показали экспедиционные исследования, затопленные, ХБ находятся в разных условиях: одни оказались погребенными под многометровым слоем ила, другие — чуть прикрыты осадками, третьи — легли на каменистое дно прибрежных шельфов [4].

Согласно концепции экологического мониторинга места затопления кораблей и судов, а также захоронения боевых отравляющих веществ — химических боеприпасов рассматриваются как зоны особо опасных природно-техногенных комплексов. При этом площади установленной или предполагаемой максимальной концентрации ХБ на морском дне выделяются как зоны отчуждения, в которых контролируются загрязнения трех основных природных сред акватории (геология, вода, биота). Кроме того, для зоны отчуждения прогнозируется возможность чрезвычайных ситуаций в диапазоне от экологических нарушений до экологической напряженности (опасности), а также проводится геоэкологический контроль в режиме локального или регионального мониторинга.

Данные мониторинга, сведенные в соответствующие базы данных, дают возможность построения вариантных прогнозных моделей с программным обеспечением. Разносрочные прогнозы, в свою очередь, позволяют организовывать необходимые инженерно-геологические мероприятия по снижению негативного эффекта чрезвычайной ситуации. Положение усложняется еще и тем, что координаты этих районов определены приблизительно. Поэтому не все они закрыты для рыболовства и геологоразведочных работ.

Решением этой проблемы озадачен Департамент предупреждения чрезвычайных происшествий МЧС России, по заказу которого Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН проводятся экспедиции по обследованию подводных потенциально опасных объектов с использованием судовой аппаратуры.

При проведении работ по поиску и обследованию ППОО следует учесть особенности акваторий их вероятного нахождения: средние глубины от 40 до 90 м; наибольший градиент глубин — порядка 20 м/на милю; рельеф дна слаборасчлененный; мощность залегания осадков достигает десятки метров; грунты в районе — различные комбинации ила, глины и песка

Традиционно задачи поиска подводных объектов решаются с помощью гидролокаторов бокового обзора (ГБО), буксируемых за судном. Однако эксплуатация этих средств в мелководных районах шельфа связана с определенными ограничениями. Кроме того, предполагаемая степень заиленности ППОО не дает оснований для их эффективного обнаружения только гидроакустическими средствами. Морская же магнитометрия успешно используется для поиска подводных объектов в условиях естественной маскировки (илистый грунт, донная флора, складки рельефа дна) подводных объектов [1–3].

2. Гидроакустические средства обнаружения подводных объектов

Отметим, что на работу ГБО оказывают влияние маскирующие и искажающие акустические помехи и рефракция звука, вызываемые вертикальной пространственно-временной изменчивостью региональных океанологических процессов. Серьезным ограничением их использования являются также реверберационные помехи, вызываемые отражениями и рассеяниями исходного звука от дна, наблюдаемые в условиях мелководья.

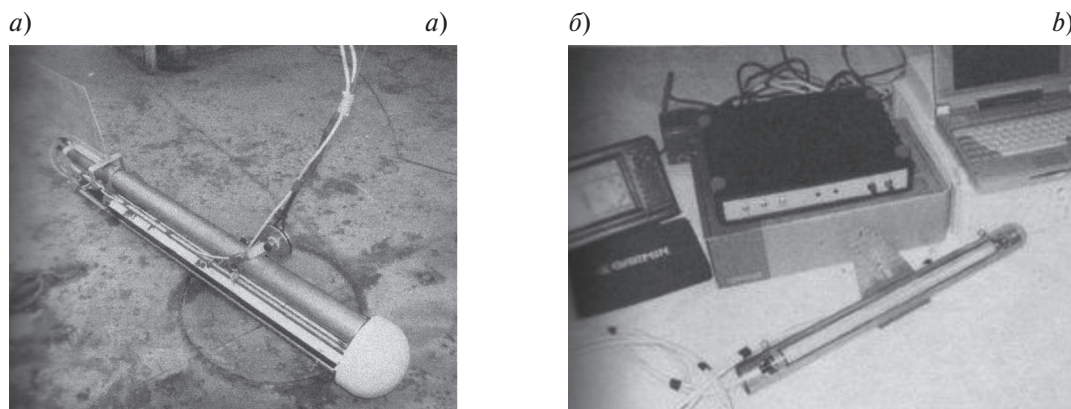


Рис. 1. Гидролокаторы бокового обзора «Мезоскан-М» (а) и «МКС» (б).

Fig. 1. Side-scan sonars “Mesoscan-M” (a) and “ISS-240” (b).

Для обнаружения ППОО, как правило, используются гидролокаторы с длиной волны акустических колебаний, соизмеримых с эквивалентными радиусами обследуемых объектов, т.е. с частотами более 70 кГц. При этом для их надежного обнаружения соотношение сигнал/помеха должно быть не менее 2–3 [4, 6], для чего поиск необходимо проводить на скорости движения ГБО, позволяющей получение не менее 6–10 отметок от цели.

Кроме того, для снижения влияния дна поиск объектов целесообразно осуществлять при углах скольжения более 40°, т.е. за пределами так называемой малоинформативной зоны.

В процессе экспедиционных работ использовались ГБО, разработанные Институтом океанологии и предназначенные для исследования дна акваторий на глубинах 40–100 м:

- «МКС» (рабочая частота — 240 кГц; дальность действия 200 м, масса подводного носителя — 3 кг, габариты — (0.065 × 0.7) м.

- «Мезоскан-М» (рабочие частоты 240/500 кГц; дальность действия — 300/75 м, масса подводного носителя — 9 кг; габариты (0.1 × 0.9) м.

3. Магнитометрические средства обнаружения подводных объектов

Как показала практика, при поиске ППОО для их надежного обнаружения в условиях заиленного мелководья целесообразно совместно с ГБО использовать буксируемые магнитометрические средства.

Магнитометр — прибор неакустического обнаружения объектов, имеющих, как правило, ферромагнитную конструкцию. Это уникальное техническое средство с успехом используется для поиска подводных объектов в условиях низкой эффективности гидроакустических средств: на мелководье, в любых средах (воздухе, воде, грунте) и, главное, — на границах раздела сред («воздух-вода», «вода-грунт»).

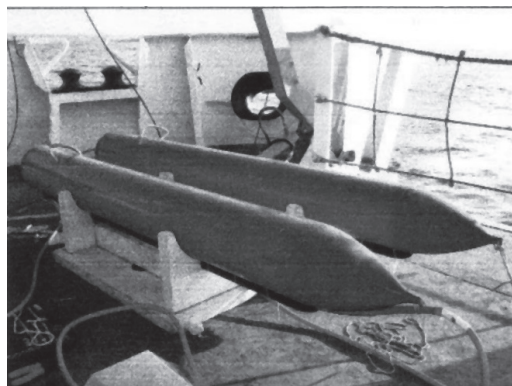


Рис. 2. Внешний вид магнитоградиентометра курсового.

Fig. 2. Appearance of magnetogradientometer course.

Кроме того, морская магнитометрия успешно используется для поиска ППОО в условиях естественной маскировки (илистый грунт, донная флора, складки рельефа дна). Однако одиночный магнитометр как пассивное средство обнаружения не позволяет определить местоположение подводного объекта. В настоящее время этот недостаток частично устраняется с помощью магнитоградиентометра (системы двух магнитометров, разнесенных в пространстве), определяющих пеленг (направление на объект) [1, 2].

Традиционно градиентометры подразделяются на две категории:

- курсовые (продольные), измеряющие приращение поля в направлении продольном движению;
- траверзные (поперечные), измеряющие приращение поля в направлении перпендикулярном движению.

На рис. 2 показан магнитоградиентометр курсовой.

Исходя из структуры и параметров магнитограмм образцов затопленных ХБ (единичных или групповых ферромагнитных масс) сформулированы требования к поисковой аппаратуре:

- чувствительность датчиков 0.01–0.05 нТл;
- база измерений градиента магнитного поля — 1–2 м;
- отстояние датчиков от дна (в процессе измерений) — 5–10 м;
- скорость буксировки — не более 5 узл.;
- погрешность определения местоположения магнитометра — 5–10 м.

В процессе поисковых работ выяснилась возможность классификации ППОО по характерным особенностям их магнитограммам [4, 5].

Для исключения влияния помех магнитного поля Земли и обеспечения максимальной точности магнитных измерений рекомендуется до начала работ постановку автономной морской магнитной вариационной станции. В качестве такой станции могут быть использованы буйковые датчики модуля вектора геомагнитного поля.

Специфика поиска ХБ в Балтийском море требует определения классификационных признаков отличия магнитограмм затонувших судов от совокупностей ХБ.

Анализ магнитометрических сигналов обнаруженного подводного объекта позволяет классифицировать их как пространственный мультиполь — «совокупность ХБ» или как точечный диполь — «затонувшее судно» (рис. 3 и 4).

Одновременно регистрировались «всплески» градиента магнитного поля (до 0.3 нТл/м), превышающих на порядок уровень сигнала на периферии района (рис. 3).

Как показала практика, эффективное обследование районов предполагаемого наличия ХБ возможно только при комплексном использовании дистанционных технических средств обнаружения, а также методов изучения рельефа дна, грунта и других физических полей Мирового океана. На рис. 4 приводится магнитограмма затонувшего судна.

Детальное обследование выявленных гидролокационных и магнитометрических контактов производилось в два этапа.

На первом этапе — с помощью буксируемого гидролокатора с рабочей частотой 400–500 кГц при буксировке его над морским дном на расстоянии 15–20 м. Совместно с гидролокатором целесообразно

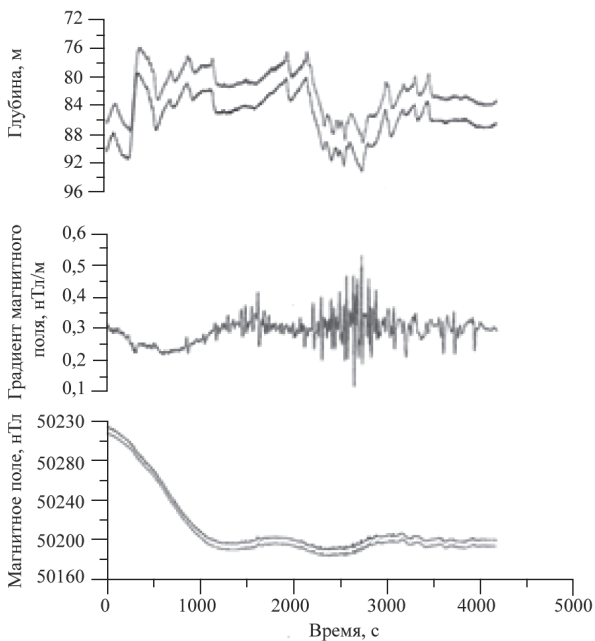


Рис. 3. Магнитограммы пространственной совокупности ХБ.

Fig. 3. Magnetograms of the spatial set of HB.

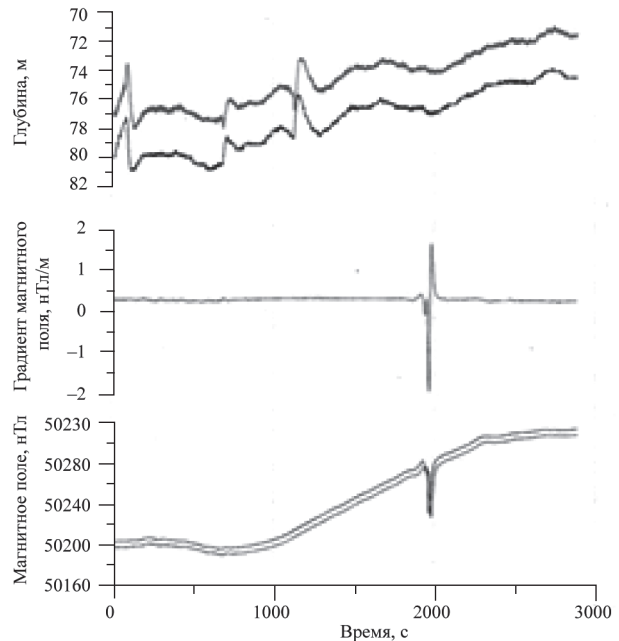


Рис. 4. Магнитограммы затонувшего судна.

Fig. 4. Magnetograms of a sunken ship.

использование буксируемых магнитометрических средств — морского дифференциального магнитометра. В условиях Балтийского моря использование буксируемых магнитометров позволяет достаточно уверенно выявлять компактно залегаемые ферромагнитные объекты общей массой 500 кг и более.

На втором этапе осуществляется детальное обследование акватории обнаруженных ХБ, на которой используются телеуправляемые подводные аппараты с фото- и телевизионной аппаратурой. При этом появляется возможность их визуального осмотра и идентификации [10].

В 2005–2019 гг. в Борнхольмской котловине Балтийского моря выполнялись подводные работы по обследованию мест предполагаемого затопления ХБ: гидролокационная съемка поверхности дна, промер глубин, измерение скорости и направления течений с помощью ADCP, отбор проб воды, грунта и STD-зондирование.

В результате экспедиций в ряде районов были обнаружены объекты, идентифицируемые как химические боеприпасы. Экспресс-анализ проб придонной воды и донных отложений на содержание отравляющих веществ: иприта, люизита, а также продуктов их гидролиза, фенолов и т.п., проводился с использованием газового хроматографа «ЭХО-В».

Все работы по обследованию экологически опасной акватории сопровождались непрерывным измерением глубин судовым эхолотом, а навигационная привязка обеспечивается дифференциальной системой космической навигации DGPS.

4. Заключение

1. При проведении подводных хозяйственных работ (геологоразведка, рыболовство, экологический контроль трубопровода «Северный поток») в Балтийском море возникает специфическая проблема, связанная с наличием на дне Борнхольмской котловины массового скопления трофейных химических боеприпасов, затопленных после Второй мировой войны.

2. Комплексирование активных (гидроакустических) и пассивных (магнитометрических) средств поиска в зависимости от океанологической обстановки в районе проведения подводных работ позволило избавиться от присущих каждому из них принципиальных ограничений и повысить эффективность их использования.

3. В ходе поисковых работ в районе датского острова Борнхольм с использованием буксируемого магнитоградиентометра были обнаружены специфические подводные объекты, напоминающие скопление небольших металлических предметов в ограниченном пространстве, которые классифицировались как «совокупность ХБ».

4. Выявленные селекционные признаки значительно сократили время поисковых подводных работ по картированию подводных потенциально опасных объектов в акватории прокладки трубопровода «Северный поток-2».

5. Результаты подводных поисковых работ, проведенных в районе датского острова Борнхольм, показали, что установленные селекционные признаки «совокупности ХБ» позволили откорректировать архивные сведения о местоположении затопленных боеприпасов.

Литература

1. Нерсесов Б.А. Морские магнитометрические системы // Освоение глубин Мирового океана. М.: Изд. дом «Оружие и технологии», 2018. С. 370–374.
2. Нерсесов Б.А., Скрынников Р.Г. Подводный буксируемый магнитометр-градиентометр для поиска затонувших судов // Военная наука — городу: Тезисы докладов. 1-й научной конференции, 20–23 мая 1997 г. Санкт-Петербург, 1997. С. 23–27.
3. Семевский Р.Б., Аверкиев В.В. Специальная магнитометрия. СПб: Наука, 2002. 232 с.
4. Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А. Мониторинг экологически опасных акваторий в зоне прокладки подводного трубопровода «Северный поток» // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XI Международной научно-технической конференции. Т. 3. М., 2009. С. 8–11.
5. Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А. Комплексное использование гидроакустических и магнитометрических средств обнаружения затопленных боеприпасов // Материалы конференции МСОИ-XIV. 2015. Т. 2. С. 63–67.
6. Спиридонов М.А. Проблема создания акваторий контролируемой экологической безопасности в Борнхольмском и Южно-Готландском районах массовых захоронений трофейных химических боеприпасов // Тезисы докладов Международной конференции по проблеме затопленного химического оружия. Т. 1. М., 1995. С. 7–18.

7. Вяльшев А.И., Нерсесов Б.А., Римский–Корсаков Н.А. Исследование подводных потенциально опасных объектов в Балтийском море. М.: ФГБНУ «Аналитический центр» Минобрнауки РФ, 2015. 271 с.
8. Алексеев С.П., Ашик И.М., Воронова Т.В. Справочник технических средств изучения параметров природной среды Мирового океана. СПб.: Изд. ГНИНГИ МО РФ, 2009. 183 с.
9. Безрукин А.Г., Токмачев Д.А., Ченский А.Г. Гидролокатор бокового обзора с аппаратурной ЛЧМ сверткой // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XV Всероссийской научно-технической конференции. Т. 2. М., 2015. С. 248–251.
10. Анисимов И.М., Белевитнев Я.И. Буксируемый необитаемый подводный аппарат для осмотровых и поисковых работ // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XV Всероссийской научно-технической конференции. Т. 2. М., 2015. С. 270–272.

References

1. Nersesov B.A. Marine magnetometric systems. Development of the depths of the World Ocean. *M., Arms and Technologies*, 2018, 370–374 (in Russian).
2. Nersesov B.A., Skrynnikov R.G. Underwater towed magnetometer-gradiometer for searching for sunken ships. *Military science for the city: Abstracts. 1st Scientific Conferences*, May 20–23, 1997. St. Petersburg, 1997, 23–27 (in Russian).
3. Semevsky R.B., Averkiev V.V. Special magnetometry. *SPb., Nauka*, 2002. 232 p. (in Russian).
4. Nersesov B.A., Rimsky-Korsakov N.A. Monitoring of environmentally hazardous water areas in the area of the Nord Stream subsea pipeline. *Modern methods and means of oceanological research: Materials of the XI International Scientific and Technical Conference*. M., 2009, 3, 8–11 (in Russian).
5. Nersesov B.A., Rimsky-Korsakov N.A. Complex use of hydroacoustic and magnetometric means of detecting dumped ammunition. *MSOI–XIV, Conference Proceedings*. 2015, 2, 63–67 (in Russian).
6. Spiridonov M.A. The problem of creating water areas of controlled environmental safety in the Bornholm and South Gotland regions of mass burials of trophy chemical munitions. *Abstracts of the International Conference on the Problem of Submerged Chemical Weapons*. M., 1995, 1, 7–18 (in Russian).
7. Vyalyshv A.I., Nersesov B.A., Rimsky-Korsakov N.A. Investigation of underwater potentially hazardous objects in the Baltic Sea (monograph). *Analytical Center of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation*. M., 2015, 271 p. (in Russian).
8. Alekseev S.P., Ashik I.M., Voronova T.V. Reference book of technical means for studying the parameters of the natural environment of the World Ocean. Ed. *GNINGI MO RF, SPb.*, 2009. 183 p. (in Russian).
9. Bezrukin A.G., Tokmachev D.A., Chensky A.G. Side-scan sonar with instrumental chirp convolution. *Modern methods and means of oceanological research: materials of the XV All-Russian scientific and technical conference*. M., 2015, 2, 248–251 (in Russian).
10. Anisimov I.M., Belevitnev Ya.I. Towed unmanned underwater vehicle for inspection and prospecting works. *Modern methods and means of oceanological research: materials of the XV All Russian Scientific and Technical Conference*. M., 2015, 2, 270–272 (in Russian).