УДК 528.48:626+528.72

ИЗУЧЕНИЕ РЕЛЬЕФА ДНА АКВАТОРИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Сергей Романович Горобцов
Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)471-55-67, e-mail: sergey@gorobtsov.com

Ксения Андреевна Функ
Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры космической и физической геодезии, тел. (913)717-58-37, e-mail: ksyxa_5837@bk.ru

В статье рассмотрены геодезические методы съемки рельефа дна акваторий, приводится обзор области применения данных методов. Изучение рельефа дна позволяет решать комплекс инженерных задач, связанных с использованием водных объектов.

Ключевые слова: геодезическая съемка, морская геодезия, эхолот, акватория, рельеф, гидрографическая съемка, RTK, лазерное сканирование.

STUDY OF THE RELIEF OF THE BOTTOM OF AQUATORIES BY GEODESIC METHODS

Sergey R. Gorobtsov
Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Senior Lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)471-55-67, e-mail: sergey@gorobtsov.com

Ksenia A. Funk
Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)717-58-37, e-mail: ksyxa_5837@bk.ru

In this article geodetic methods of surveying of the bottom of water areas, as well as application of these methods, are considered. The study of the bottom relief allows solving a complex of engineering tasks related to the use of water bodies.

Key words: geodetic survey, marine geodesy, sonar, water area, terrain, hydrographic survey, RTK, laser scanning.

В течение последнего десятилетия технологии гидрографической съемки рельефа дна акваторий претерпели радикальные изменения в части качества получаемых данных и возможности их объемного представления с помощью современных, точных приборов для сбора, изучения и обработки пространственных данных [1].

Такие геодезические приборы как теодолиты, лазерные сканеры в большинстве случаев применяются для съемки местности на суше. Но, в последнее время, их все чаще используют для изучения рельефа дна акваторий в следую-

щих целях: укрепление береговой линии; проектирование инженерных коммуникаций (прокладка кабелей, строительство опор моста) по дну акватории; создание 3D-моделей подводных элементов гидротехнических сооружений; проектирование фарватера; расчет объемов работ для расчистки дна; разработка паспорта водоема; составление карты для рыбаков; составление карты водоема, с целью дальнейшего его изучения; гидрологические и экологические исследования.

Изучением рельефа дна акваторий занимается раздел геодезии «морская геодезия». Одной из главных задач морской геодезии является определение размеров и формы земной поверхности акватории. Решение задачи становится возможным благодаря детальному изучению поверхности и структуры дна, его съемки, измерений, а также отображение поверхности на картах и планах – картографирование рельефа дна [2].

Существуют различные методы изучения рельефа дна акваторий. В данной статье рассмотрены:

– традиционная гидрографическая съемка;

– гидрографическая съемка с помощью эхолотов и картплоттеров;

– гидрографическая съемка с воздуха;

– гидрографическая съемка с помощью кинематики реального времени (RTK);

– лазерное сканирование для исследования дна акваторий.

Гидрографическая съемка. Гидрографическая съемка во многом схожа с классическими методами геодезической съемки. Важное различие между ними состоит в том, что при гидрографической съемке физически невозможно видеть участки съемки, а также непрерывное движение поверхности воды. В свою очередь, важно учитывать океанографические изменения, движение вертикальной земной коры, астрономические приливы и метеорологические эффекты, которые влияют на поверхность воды и вызывают ее изменение.

Традиционная гидрографическая съемка. При традиционной гидрографической съемке, как и при топографической горизонтальной съемке, прибор (теодолит, тахеометр) устанавливается на берегу, а отражатель на судне. На дно водоема ставится специальная веха (мерный щуп). Если глубина водоема не превышает 7 метров, то съемка осуществляется без помощи водолаза. При глубине водоема свыше 7 метров съемку рекомендуется выполнять с помощью водолаза, который, находясь на глубине, удерживает низ вехи, при этом длина телескопической вехи не должна превышать 12 метров. Если расстояние от судна до прибора большое, то выполнение работ производится с помощью спутниковых измерений. Традиционная гидрографическая съемка целесообразна при незначительных глубинах, когда вешка с установленной спутниковой геодезической антенной легко удерживается на воде. [3].

Использование гидрографической съемки возможно и при замерзании водоема, когда толщина льда превышает 10 см. При помощи коловорота во льду делаются лунки. Также они координируются в плане, и после этого, с них же выполняются промеры глубин.

Гидрографическая съемка с помощью эхолотов и картплоттеров. Гидрографическая съемка при глубине свыше 12 метров выполняется с использованием профессионального картплоттера с гидрографическим эхолотом. Такая съемка является самым современным способом определения глубины. Профессиональные эхолоты выполняют промерные и гидрографические работы на глубине от 0,5 до 1000 метров.

Гидрографический эхолот предусматривает использование одночастотного и двухчастотного излучателя, подключаемых к эхолоту раздельно. Средства обработки отраженных зондирующих импульсов учитывают физические свойства водной среды, обеспечивают разбиение диапазона сканирования на интервалы времени, дальности, в которых последовательно выделяют наибольшую интенсивность отражения, формируют изображение профиля дна и осциллограммы отраженного сигнала.

Гидрографическая съемка с воздуха. Возможность фотографирования водных объектов и подводной ситуации с летательных аппаратов впервые высказал русский исследователь А. М. Кованько в 1896 г. [4]. Идея использования фотометрических свойств материалов аэрофотосъемки (аэронегативов) для определения глубин впервые была сформулирована советским ученым В. А. Фаасом еще в 30-х годах прошлого столетия и подверглась экспериментальной проверке на реке Нева [5]. В основе фотометрического способа заложен принцип использования зависимости между оптической плотностью негатива и яркостью изображаемого дна, которая, в свою очередь, зависит от глубины.

Благодаря широкому использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) гидрографическая аэрофотосъемка приобретает все большую популярность. Достоинством такой аэрофотосъемки является снижение объема полевых работ при исследовании водного объекта и его береговой полосы [6].

Гидрографическая съемка с помощью кинематики реального времени (RTK). Геодезическая система RTK используется для гидрографических съемок на суднах для горизонтального позиционирования. С помощью RTK базовая станция в известной точке передает поправки по линии передачи данных на приемник на судне. Таким образом, приемник может вычислять GPS-координаты в реальном времени с точностью до сантиметрового уровня. В дополнение к GPS-оборудованию для отображения профиля дна можно использовать лоты или измерительные рейки. Измерение глубины осуществляется неупорядоченными изменениями поверхности воды. В свою очередь, эффект качения является одним из значительных источников ошибок измерений гидрографической глубины, вызванных вертикальным движением судна для съемки, из-за волн. Измеряя вертикальное перемещение судна с применением RTK, эффект качения уменьшается от измерений глубины.

Данные, полученные с помощью RTK GPS, обрабатываются на компьютере, с использованием специализированного обеспечения.

Трехмерное гидрографическое отображение текущей формы дна акваторий может генерироваться в среде ArcGIS с использованием скорректированных измерений глубины и горизонтальных положений [7]. Такой метод определяет

высоты волн от ортометрических высот и корректирует изменения высоты волны от измерений глубины.

Результаты гидрографических изысканий обрабатываются с помощью специального геодезического программного обеспечения или с применением гидрографических продуктов, а также могут рассчитываться вручную (например, промеры глубин водоемов).

Итогом съемки рельефа дна акватории является его отображение на плане, с нанесенными на нем отметками глубины в разных точках, т.е. картографирование рельефа дна. По сути это такой же топографический план в разных масштабах (от 1 : 500 до 1 : 10 000), где вместо горизонталей рисуются изолинии.

Применение лазерного сканирования для исследования дна акваторий. С недавнего времени в практику исследований дна акваторий используется технология, основанная на использовании лазерного сканера. Данная технология используется с применением судов или беспилотных летательных аппаратов.

Принцип использования технологии аналогичен применению лазерного сканирования для наземных объектов. Сканирование поверхности дна водоема может выполняться, как правило, на глубину до 20 м при достаточной прозрачности воды.

На основе облака точек строится цифровая модель рельефа дна акватории, по которой можно получить информацию о динамике изменений состояния дна, вызванных природными или техногенными воздействиями [8].

Рассмотренные в статье геодезические методы для изучения рельефа дна акваторий хорошо применимы до глубины 20–40 м.

Сегодня в большинстве исследований глубинных измерений, проводимых в водной среде, используется акустический метод. Но следует учитывать, что на небольшие водные участки экономически не выгодно использовать акустический метод.

Для исследования морфологии дна акваторий и дистанционного мониторинга подводных объектов существует метод гидролокации, средствами которого являются: системы бокового обзора, акустического профилирования и эхолотирования.

В настоящее время актуальным является разработка отечественных методик, связанных с геодезическим контролем состояния инженерных сооружений, расположенных в шельфовой зоне и на внутренних водных объектах [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колосков Е.Н., Фирсов Ю.Г. Применение современных гидрографических технологий для изучения рельефа и донного газопроявления в северных морях России // Вестник государственного университета морского и речного флота им. Адмирала С.О. Макарова. – Санкт-Петербург : Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2015. – С. 54–62.

2. ГКИНП 11-140-81 «Руководящий технический материал. Топографо-геодезические работы на шельфе и внутренних водоемах. Термины и определения».

3. СП-11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства». Часть III. «Инженерно-гидрографические работы при инженерных изысканиях для строительства».

4. Всеволожский, В. А. Основы гидрогеологии / В. А. Всеволожский. – М.: Изд-во МГУ, 1991.

5. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии / Под ред. А. П. Крэкнелла. – М.: Мир, 1984. – 535 с.

6. Исследование возможностей применения квадрокоптера для съемки береговой линии обводненного карьера с целью государственного кадастрового учета / А. Ю. Чермошенцев, С. А. Арбузов, А. П. Гук, И. М. Ламков // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 200–209.

7. Arzu Erener, Ertan Gökalp. Mapping the Sea Bottom Using RTK GPS and Lead-Line in Trabzon Harbor // Workshop – Hydro. WSH3 – Vertical Reference Frame & Marine Construction/Dredging. (Athens, Greece, May 22-27, 2004), p. 11.

8. Ламков И. М., Чермошенцев А. Ю. Обоснование необходимости использования цифровой модели рельефа для изучения поверхности дна обводненных карьеров, расположенных на территории города Новосибирска // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 69–74.

9. Гринев Г. А., Мурзинцев П. П. О применении современных технических средств для высокоточной съемки рельефа дна и подводных объектов // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 102–107.

© С. Р. Горобцов, К. А. Функ, 2018