

УТОЧНЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ ЭХОЛОТА ПО ДАННЫМ ТЕРМОМЕТРИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЛУБИНЫ МОРЯ

А.Н. Самченко, А.В. Кошелева, А.А. Пивоваров, И.О. Ярощук

В работе показано влияние гидрологических процессов на результаты батиметрических измерений, выполненных с помощью стандартных эхолотов. Предлагается проводить корректировку полученных глубин с помощью измерений температуры моря. Известно, что температура оказывает большое влияние на скорость звука в воде. В некоторых эхолотах заложена возможность устанавливать среднюю температуру воды либо они могут быть оснащены датчиками температуры. Однако температура на поверхности моря может сильно отличаться от средней температуры водного слоя. На протяжении многих лет авторы проводят гидрологические и акустические исследования в шельфовой зоне юго-западной части залива Петра Великого Японского моря. Гидрология в заливе характеризуется высокой изменчивостью в летний и осенний сезон, на фоне низкочастотных колебаний наблюдаются высокочастотные интенсивные внутренние волны. Профиль температуры в заливе на глубинах моря более 40 м имеет обычно один ярко выраженный термоклин у поверхности, формирующийся в весенний период при нагревании верхнего слоя, а в конце лета можно наблюдать до трех выраженных термоклин. В октябре наблюдается высокоградиентный термоклин, в котором за 10 м глубины температура может меняться до 18 °С. Таким образом, ошибка определения глубины может достигать 3,5% или 2,5 м для глубины моря 70 м.

Ключевые слова: эхолот, акустические сигналы, батиметрия, термометрия, внутренние волны, термоклин, залив Петра Великого, Японское море.

Введение

В последнее время широко используются и развиваются акустические методы дистанционного изучения дна океана, биологического разнообразия и в гидрологических исследованиях [1–3]. Разрабатываются новые технические решения в области акустических исследований, например многолучевые гидролокационные системы [4]. Появляются новые решения в обработке сигналов [5, 6]. В исследованиях применяются различные виды эхолотов, которые имеют различные частотные настройки, позволяющие на высоких частотах увеличивать детализацию, а на низких частотах увеличивать глубину и помехоустойчивость. В каждом приборе заложена возможность менять частотные характеристики оператором в зависимости от поставленных задач. Также важным фактором является размер и геометрия датчика сонара, который позволяет контролировать угол излучения акустического сигнала, что влияет на точность полученных данных. Излучаемый сигнал имеет фор-

му конуса, направленного от сонара, где характерная ширина конуса для частоты 50 кГц составляет примерно 60°, а для частоты 200 кГц около 15°. Однако за счет изменения датчика сонара на некоторых эхолотах для частоты 200 кГц ширина конуса может составлять не более 5°, что позволяет увеличивать точность измерений. На некоторых эхолотах есть возможность использовать сразу несколько режимов одновременно, когда имеется два и более сонара.

В эхолотировании используются частотно-модулированные сигналы CHIRP в широкой полосе частот от низких (50–80 кГц) до высокочастотных (более 400 кГц). За счет использования мультисигнального сигнала получают более точные данные глубин и увеличивается качество отображения формы подводных структур, улучшается детализация измерений. Технология CHIRP-сигналов применяется как в случае с однолучевым излучением, так и в многолучевом формате нижнего и бокового сканирования. Нижнее сканирование представляет собой исследование узкой полосы под килем судна узким лучом в направлении

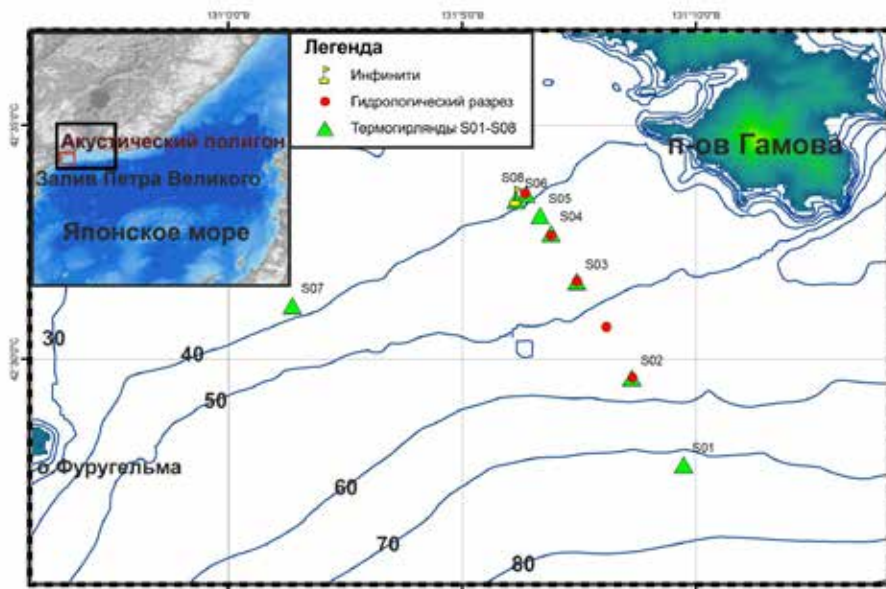


Рис. 1. Карта гидрологических работ в заливе Петра Великого

судна, порядка 1° , но широким углом в поперечном направлении (примерно 50°). Используются обычно высокочастотные сигналы (более 400 кГц), что позволяет получать высокую детализацию, но работает только на небольших глубинах. В боковом сканировании используется два луча, направленных в стороны от направления судна, которые прописывают поверхность полосы дна шириной до 200 м.

Помимо инструментальных погрешностей определения глубины моря эхолотами, таких как погрешность на ширину конуса на используемый частотный диапазон, также необходимо учитывать динамические погрешности из-за волнения моря и движения судна. В современных эхолотах заложены механизмы и алгоритмы снижения инструментальных погрешностей, а динамические погрешности можно уменьшить за счет подобранного времени измерения (погодных условий) и скорости движения судна. Кроме того, остаются природные факторы, влияющие на распространение акустического сигнала и искажающие результаты акустического мониторинга, такие как наличие в толще воды интенсивного термоклина [7, 8].

Температура в эхолотах обычно вводится вручную либо используются данные, принимаемые с датчика температуры, установленного в корпусе сонара. Есть вариант, когда температура воды за бортом устанавливается в ручном режиме, но при изменении ее на более чем $1,1^\circ\text{C}$ по отношению к полученному от датчика температуры; система эхолота сигнализирует об этом. Данные о температуре важны, поскольку основными характеристиками, влияющими на распространение звука в морской воде, являются температура и соленость, в меньшей степени давление. Необходимо иметь в виду, что при изменении на 1°C скорость звука меняется примерно на 4 м/с.

Цель работы заключается в том, чтобы получить точные данные по глубине места с помощью эхолотов в реальном времени для точной постановки гидрологического и гидроакустического оборудования на полигоне. В заливе Петра Великого расположен гидроакустический полигон ТОИ ДВО РАН на п-ове Гамова МЭС «Мыс Шульца» [9], где проводятся гидроакустические и сопутствующие гидрологические и

геолого-геофизические исследования на шельфе моря. В заливе на дно устанавливается пространственно-распределенный измерительный комплекс с необходимой точностью постановки по глубине не более 0,5 м [10]. Заявленной точности эхолота по глубине в весенний период достаточно, однако в осенне-летний период, за счет ярко выраженного термоклина или нескольких термоклинов в толще воды, наблюдаются погрешности в определении глубины места, которые необходимо учитывать.

■ Гидрологический режим в заливе

На протяжении 19 лет на гидроакустическом полигоне проводятся гидрологические исследования в заливе Петра Великого [11]. Ежегодно используется распределенный гидрологический комплекс в изучении гидрологического режима, показанный на рис. 1. Работы проводятся в весенне-летний и осенний период. В комплекс входят заякоренные термогирлянды, датчики давления и измерители течений, также проводятся гидрологические разрезы с помощью СТД-зондов, измерение температуры, давления и солености по глубине. В первые годы использовались различные варианты установки гидрологических приборов, когда за счет расстановки были определены основные направления и масштабы возмущений. За последние 15 лет постановки гидрологического оборудования велись примерно по одной схеме, где расставляются до 9 термогирлянд на глубинах от 40 м до 74 м, до 20 дней три раза за год – весной, летом и осенью. Вблизи заякоренных термогирлянд несколько раз за постановку проводится промеры СТД-зондом от поверхности до дна. В точке с глубиной 40 м проводятся измерения

течений на трех горизонтах с помощью трех электромагнитных логгеров 2-D INFINITY-EM измерителей течения.

В гидроакустический полигон входит залив Посыета и часть центральной зоны залива Петра Великого до глубин примерно в 100 м. Полигон находится на стыке двух крупных региональных течений – теплого течения северной ветки Цусимского (Восточно-Корейское течение) и холодного течения Южно-Приморского. В рельефе участок представляет собой пологий склон, заканчивающийся свалом глубин, где за расстояние в 1–2 км глубина меняется от 300 м до 2500 м. От мыса Гамова до о-ва Фуругельма протягивается подводный вал и на северо-востоке участка в рельефе выделяются осадочные волны, которые, возможно, сформированы под воздействием интенсивных внутренних волн (ВВ) [12]. Свал глубин, в свою очередь, генерирует на приливно-отливных движениях сами интенсивные ВВ [10, 13], за счет чего на полигоне в весенне-летний и осенний сезоны наблюдается интенсивная гидрологическая картина по всей глубине измерений (рис. 2).

При прогреве воды на поверхности моря в весенний период происходит появление слабого градиентного слоя. На глубине 5–10 м температура воды меняется на 10–15 °С. Летом градиентный слой усиливается и опускается на большую глубину, до 10–15 м и более. Мощность градиентного слоя варьируется и может составлять от 5 до 15 м. В конце лета, когда температура воды достигает максимальных значений, в последнее время (с 2022 г.) наблюдаются крайне высокие показатели температуры воды – до 28 °С на поверхности моря, по всей толще может наблюдаться до трех градиентных слоев, которые во время прохождения экстремальных метеорологических явлений могут объединяться в один мощный термоклин, который «гуляет» по всей толще воды. В это время наблюдаются наиболее активные и мощные ВВ. Со временем, после прохождения экстремальных метеорологических явлений, три градиентных слоя по глубине возвращаются. Ранее, с 2010 г. по 2022 г., в осенний период гидрологическая картина была похожа на летний сезон во время прохождения тайфунов, когда наблюдался один мощный термоклин, обычно расположенный на глубине 10–30 м. Однако в 2022 г. термоклин опустился на глубины ниже 30 м и временами достигал глубины до 50 м. В это время температура воды на глубине 40 м достигала 17–18 °С, что ранее никогда

не было зафиксировано. На поверхности воды температура воды достигала 22–23 °С. В последнее время (с 2022 г.) также наблюдается увеличение глубины прогретого слоя воды и более теплого, чем в предыдущие года.

На рис. 3 показаны профили температуры, солености и рассчитанной скорости звука за 3 и 14 октября 2025 г., полученные с помощью СТД-зонда AML-3LGR на точках измерений S02 и S06 (показ. на рис. 1). Скорость звука рассчитывалась по Международному термодинамическому уравнению состояния морской воды TEOS10 (ТУС-10) [14]. Измеренная СТД-зондом соленость прошла динамическую коррекцию, описанную в работе [13]. Точка постановки термогирлянды и измерения СТД-зондом S02 находилась на глубине примерно 55 м, а точка постановки термогирлянды S06 – на глубине около 40 м. В первом случае, когда проводили измерения 3 октября, термоклин располагался на глубинах 15–26 м с перепадом температуры с 20 °С до 3 °С и скорости звука на 60 м/с, с изменением температуры более чем на 1,5 °С или скорости звука почти 5,5 м/с за 1 м глубины. 14 октября верхний прогретый слой увеличился с глубиной таким образом, что термоклин расположился на глубинах 25–40 м с перепадом температур на 14 °С и скорости звука примерно на 50 м/с. Градиент температуры составил менее 1 °С или около 3,5 м/с на 1 м глубины моря. В осенний период в градиентном слое наблюдается изменение скорости звука до 8,5 м/с на 1 м глубины моря. Обращает внимание, что профили рассчитанной скорости звука и температуры имеют максимальную схожесть, что обусловлено большим влиянием температуры на изменение скорости звука в воде и слабым влиянием солености в совокупности с небольшими вариациями солености по глубине, не более 3 psu.

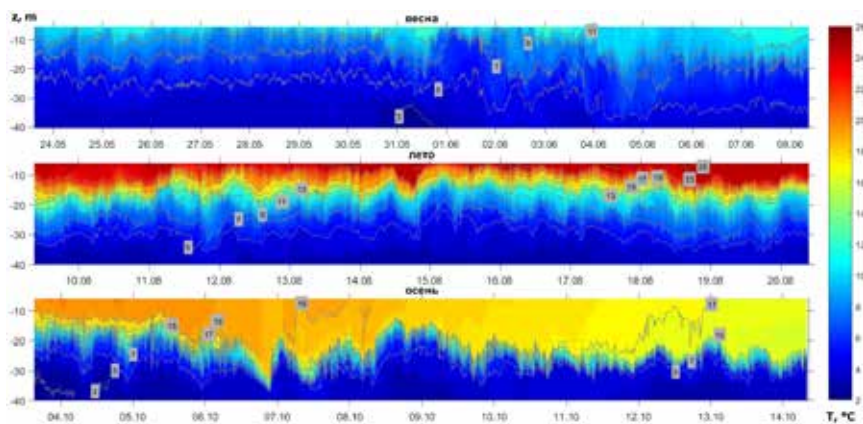


Рис. 2. Профиль температуры за 10 дней измерений в весенний, летний и осенний сезоны в 2026 г. со станции S06 (расположение показ. на рис. 1)

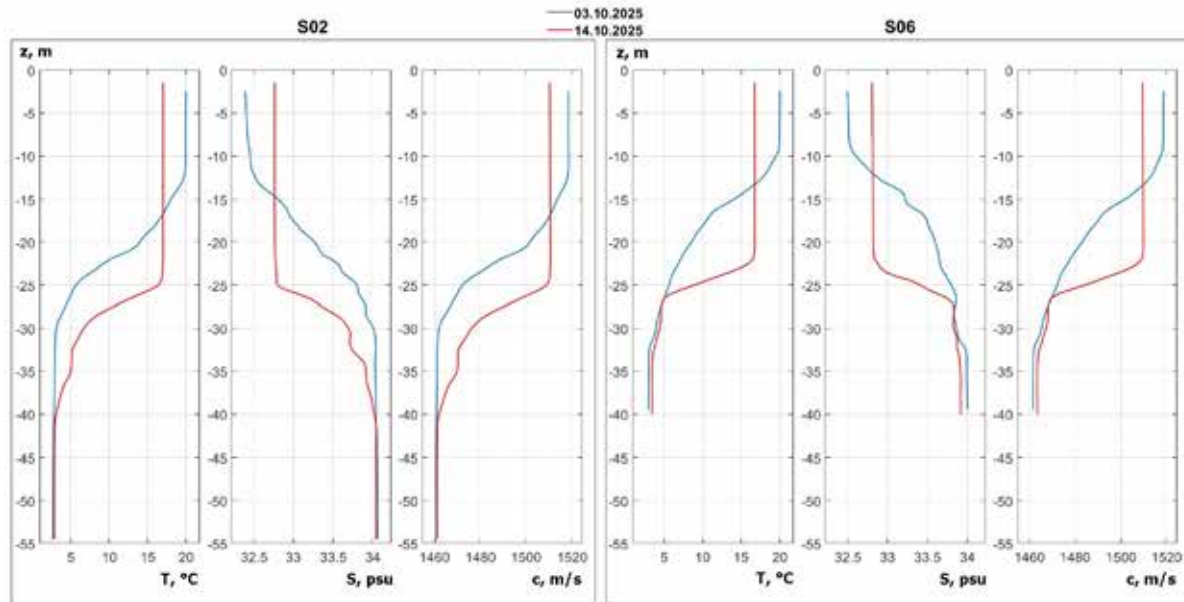


Рис. 3. Профили температуры, солёности и скорости звука в точках S02 и S06 измеренные СТД-зондом 3 и 14 октября 2025 г.

На рис. 4 показана динамика изменения профиля температуры с 23 мая по 8 июня, с 9 по 20 августа и с 3 по 14 октября 2025 г. Цветными линиями отображаются профили температуры, полученные при измерении СТД-зондом и серые линии по данным термогирлянд S06. При этом необходимо отметить, что данная динамика в целом характерна для всего периода многолетних наблюдений, с небольшими вариациями. Как уже отмечено, весной происходит плавный прогрев толщи воды с поверхности моря, летом образуется градиентный по температуре слой на глубинах 10–20 м и осенью ярко выраженный термоклин опускается ниже с увеличением мощности верхнего прогретого слоя, одновременно с уменьшением его средней температуры.

■ Анализ данных и обсуждение

Рассмотрим влияние гидрологической ситуации на разных глубинах и в различные сезоны на определение глубины моря с помощью акустических методов. Примем вариант измерения глубины моря с помощью стандартного эхолота, когда скорость звука рассчитывается на основе датчика температуры, а именно температура воды на глубине осадки судна (не более 0,5 м для катера):

$$H^* = 2t^*c^*, \quad (1)$$

где H^* – глубина моря на экране стандартного эхолота, t^* – время пробега акустического сигнала от излучателя до дна моря, c^* – скорость волны в воде,

рассчитанная для температуры, полученной от датчика температуры эхолота. В расчетах далее использовалась температура воды, измеренная с помощью СТД-зонда на глубине 0,5 м от поверхности моря, при определении параметра c^* .

Погрешность определения глубины от излучателя до дна с учетом измеренных профилей по трем сезонам будет равна:

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= \left| c^* \int_0^H \frac{1}{c_1(z)} dz - H^* \right|, \\ \Delta H_2 &= \left| c^* \int_0^H \frac{1}{c_2(z)} dz - H^* \right|, \\ \Delta H_3 &= \left| c^* \int_0^H \frac{1}{c_3(z)} dz - H^* \right|, \end{aligned} \quad (2)$$

где ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 – погрешность расстояния от дна до излучателя в зависимости от сезона, $c_1(z)$ – весенний профиль скорости звука, полученный СТД-зондом 23 мая 2025, $c_2(z)$ – летний профиль скорости звука, измеренный 11 августа 2025, $c_3(z)$ – осенний профиль скорости звука, измеренный 03 октября 2025 (рис. 4). В таблице приведены расчеты возможной погрешности определения глубины места стандартным эхолотом от гидрологической ситуации на глубинах 40 м и 70 м. За сезон погрешность определения глубины места меняется в зависимости от изменения гидрологии и ее можно примерно определить по данным термогирлянд. В таблице также приведена вариация ΔH за время установки термогирлянд по сезонам (σ_1 – весна, σ_2 – лето, σ_3 – осень).

Вычисленные погрешность расстояния от дна до излучателя в зависимости от сезона по данным СТД-зонда и вариация погрешности по данным термогирлянд

	$\Delta H1$, м	$\Delta H2$, м	$\Delta H3$, м	$\sigma 1$	$\sigma 2$	$\sigma 3$
Глубина, 40 м	0,42	1,15	0,95	0,11	0,37	0,54
Глубина, 70 м	0,89	2,38	1,8	0,13	0,4	0,6

Погрешности измерения глубины места стандартным эхолотом под влиянием гидрологической ситуации на шельфе залива в основном превышают необходимые допуски при установке гидрологического оборудования и требуют корректировки.

Далее рассмотрим вклад всех параметров, влияющих на скорость звука в воде, согласно формуле ТУС-10, где в формулу входят температура, соленость и давление воды. При постоянной солености и давлении, на 1°C изменения температуры скорость звука меняется до 4,4 м/с в воде. Учитывая, что исторически зафиксировано изменение температуры воды на 26°C по глубине, максимальная разница в скорости звука может составить 114,4 м/с, что может повлечь значительные погрешности в определении глубины места с помощью эхолотирования, что и показывают расчеты, отраженные в таблице. При изменении солености воды на 1 psu скорость звука изменится на 1,3 м/с. Если учитывать, что за весь период наблюдений зафиксировано изменение солености воды не более чем на 4 psu, то разница в скорости звука будет не более 5,2 м/с и максимально будет вносить около 0,3% в погрешность при определении глубины места. Давление влияет на скорость звука менее всего – 0,016 м/с на 1 м глубины. Точные параметры глубины могут быть получены с помощью зондирования СТД-зон-

дом и предлагается использовать упрощенную формулу определения скорости звука в воде, указанную в работе [15].

Заключение

Погрешность измерения глубины в заливе в весенний сезон на 40 м изобате будет не более 0,5 м и до 1 м на 70-метровой изобате. Осенью погрешность увеличивается до 1 м на 40-метровой изобате и до 2 м на 70-метровой изобате. Летом погрешность измерения глубины достигает максимальных значений: до 1,3 м на 40-метровой изобате и 2,5 м на 70-метровой изобате. Однако вариация погрешности определения глубины от весны к осени увеличивается в периоды проведения измерений термогирляндами, что в целом показывает изменчивость и гидрологической ситуации в разные сезоны. Наиболее стабильная гидрологическая обстановка наблюдается весной, а осенью наблюдаются самые значительные изменения.

Таким образом, предлагается провести зондирование СТД-зондом перед установкой гидрологического оборудования или другими ответственными работами, где требуется точное определение глубины места. В случае, когда не требуется высокая точность измерения глубины моря в заливе Петра Великого, предлагается устанавливать вручную на эхолоте средние значения температуры толщи воды в соответствии с сезоном. Весной средняя температура по данным термогирлянд за период наблюдений с 2020 по 2025 г. составила примерно 6°C на 40-метровой изобате и 5°C на 70-метровой изобате. Летом средняя температура толщи воды составила 10°C на

40-метровой изобате и 8°C на 70-метровой изобате. Осенью средняя температура всей толщи воды примерно 12°C и 10°C для глубин 40 и 70 м соответственно.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме 124022100074-9 «Изучение природы линейного и нелинейного взаимодействия геосферных полей переходных зон Мирового океана и их последствий».

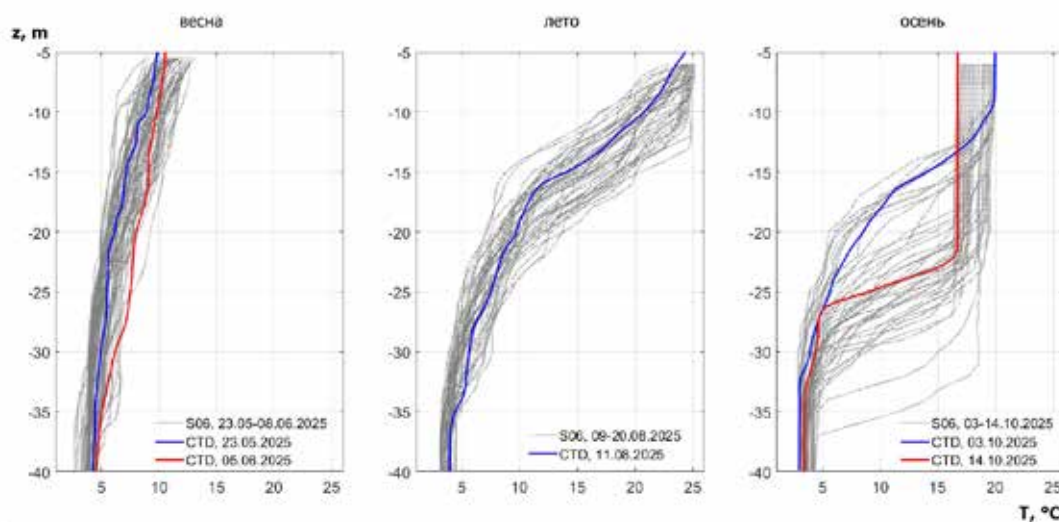


Рис. 4. Профили температуры, измеренные СТД-зондом (синяя и красная линии), и полученные с термогирляндами S06 с периодом 6 часов (серая пунктирная линия). Осень 2025 г.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аббасов И. Б. Современные тенденции мониторинга водной среды прибрежных акваторий // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 1. С. 29–39. DOI: 10.22449/2413-5577-2019-1-29-39
2. Душенин Ю.В., Маркович И.И. Применение многолучевых гидроакустических средств с цифровой пространственно-временной обработкой сигналов для экологического мониторинга водных районов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 12(173). С. 85–98.
3. Brown C.J., Sameoto J.A., Smith S.J. Multiple methods, maps, and management applications: Purpose made seafloor maps in support of ocean management // Journal of Sea Research. 2012. Vol. 72. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.seares.2012.04.009.
4. Uchino K. Advanced Piezoelectric Materials. Part of series: Woodhead Publishing in Materials. Chapter 1. The Development of Piezoelectric Materials and the New Perspective. Woodhead Publishing, 2017. 92 p. DOI: 10.1016/B978-0-08-102135-4.00001-1.
5. Маркович И.И. Цифровая пространственно-временная обработка сигналов в многолучевом гидролокаторе морского подводного робототехнического комплекса // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 1(203). С. 239–248. DOI 10.23683/2311-3103-2019-1-239-248.
6. Маркович И.И., Завтур Е.Е. Алгоритм определения координат целей разностно-дальномерным методом с учетом неточностей установки приемных гидроакустических антенн // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 8(193). С. 162–171. DOI 10.23683/2311-3103-2017-8-162-171.
7. Gaida T.C., Mohammadloo T.H., Snellen M., Simons, D.G. Mapping the Seabed and Shallow Subsurface with Multi-Frequency Multibeam Echosounders // Remote Sens. 2020. №12. 52. DOI: 10.3390/rs12010052.
8. Hidayat W., Saputra L.R., Hidayat R.R. et al. Comparison of Sound Speed from Measurements and Models in the Waters of Bunaken National Park, North Sulawesi. 19 May 2025: PREPRINT. DOI: 10.21203/rs.3.rs-6653653/v1.
9. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Чебров В.Н., Шевченко Ю.В. Геофизический полигон «мыс Шульца» // Вестник ДВО РАН. 2010. № 5. С. 165–169.
10. Леонтьев А.П., Ярошук И.О., Смирнов С.В., Кошелева А.В., Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швырев А.Н. Пространственно-распределенный измерительный комплекс для мониторинга гидрофизических процессов на океаническом шельфе // Приборы и техника эксперимента. 2017. № 1. С. 128–135. DOI: 10.1134/S0020441216060191
11. Ярошук И.О., Леонтьев А.П., Кошелева А.В., Самченко А.Н., Пивоваров А.А., Храпченков Ф.Ф., Швырев А.Н., Ярошук Е.И. Экспериментальные исследования внутренних волн в прибрежной зоне Японского моря // Подводные исследования и робототехника. 2013. № 1. С. 37–44.
12. Samchenko A., Dolgikh G., Yaroshchuk I., Kosheleva A., Pivovarov A., Novotryasov V. Extreme Hydrometeorological Conditions of Sediment Waves' Formation and Migration in Peter the Great Bay (The Sea of Japan) // Water. 2023. Vol. 15. 393. DOI: 10.3390/w15030393.
13. Yaroshchuk I., Kosheleva A., Lazaryuk A., Dolgikh G., Pivovarov A., Samchenko A., Shvyrev A., Gulin O., Korotchenko R. Estimation of Sea-water Hydrophysical Characteristics from Thermistor Strings and CTD Data in the Sea of Japan Shelf Zone // J. Mar. Sci. Eng. 2023. Vol. 11. 1204 p. DOI: 10.3390/jmse11061204.
14. IOC, SCOR and IAPSO The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides. 2010. No. 56. UNESCO (English). P. 171.
15. Kuperman W.A., Lynch J.F. Shallow-water acoustics // Physics Today. 2004. Vol. 10(57). P. 55–61.

Об авторах

САМЧЕНКО Александр Николаевич, к.г.н., старший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43

Область научных интересов: геология и геофизика шельфа

Тел.: 8(423) 231-26-17

E-mail: samchenko@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0002-5184-0718

КОШЕЛЕВА Александра Васильевна, научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43

Область научных интересов: океанологические исследования прибрежной зоны

Тел.: 8(423) 231-26-17

E-mail: kosheleva@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0001-6508-6325

ПИВОВАРОВ Александр Анатольевич, научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43

Область научных интересов: акустика океана

Тел.: 8(423) 231-26-17

E-mail: pivovarov@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0003-0037-1568

ЯРОЩУК Игорь Олегович, д.ф.-м.н., заведующий лабораторией

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43

Область научных интересов: акустика океана

Тел.: 8(423) 231-26-17

E-mail: yaroshchuk@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0002-3212-9752

Для цитирования:

Самченко А.Н., Кошелева А.В., Пивоваров А.А., Ярошук И.О. УТОЧНЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ ЭХОЛОТА ПО ДАННЫМ ТЕРМОМЕТРИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЛУБИНЫ МОРЯ // ПОДВОДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РОБОТОТЕХНИКА. 2026. № 3 (57). С. 68–75. DOI: 10.37102/1992-4429_2026_57_03_08. EDN: JKQLWT.



IMPROVING ECHO SOUNDER DEPTH ACCURACY USING THERMOMETRIC DATA

A.N. Samchenko, A.V. Kosheleva, A.A. Pivovarov, I.O. Yaroshchuk

This paper demonstrates the impact of hydrological processes on bathymetric surveys conducted with standard echo sounders. It proposes correcting the obtained depths using sea temperature measurements. Temperature is known to significantly affect the speed of sound in water. Although some echo sounders allow setting an average water temperature or can be equipped with temperature sensors, the sea surface temperature can significantly vary from the average temperature of the water column. For nearly two decades, the authors have been conducting hydrological and acoustic research in the shelf zone of the southwestern part of Peter the Great Bay (the Sea of Japan). The hydrology in the bay is characterized by high variability during the summer and autumn seasons, with high-frequency, intense internal waves observed against a background of low-frequency oscillations. The temperature profile in the bay at sea depths exceeding 40 meters typically features a single, well-defined surface thermocline that forms in spring as the upper layer warms, whereas up to three distinct thermoclines can be observed in late summer. In October, a high-gradient thermocline occurs, where the temperature can change by up to 18 °C within a 10-meter depth interval. Consequently, the depth determination error can reach 3.5%, or 2.5 meters for a sea depth of 70 meters.

Keywords. echo sounder, acoustic signals, bathymetry, thermometry, internal waves, thermocline, Peter the Great Bay, the Sea of Japan.

References

1. Abbasov I.B. Modern trends in monitoring the aquatic environment of coastal water areas // Environmental safety of the coastal and off-shore zones of the sea. 2019. No. 1. P. 29–39. DOI: 10.22449/2413-5577-2019-1-29-39
2. Dushenin Yu.V., Markovich I.I. Application of multipath sonar instruments with digital spatial and temporal signal processing for environmental monitoring of water areas // Izvestiya SFU. Technical sciences. 2015. No. 12(173). P. 85–98.
3. Brown C.J., Sameoto J.A., Smith S.J. Multiple methods, maps, and management applications: Purpose made seafloor maps in support of ocean management // Journal of Sea Research. 2012. Vol. 72. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.seares.2012.04.009.
4. Uchino K. Advanced Piezoelectric Materials. Part of series: Woodhead Publishing in Materials. Chapter 1 - The Development of Piezoelectric Materials and the New Perspective. Woodhead Publishing, 2017. 92 p. DOI: 10.1016/B978-0-08-102135-4.00001-1.
5. Markovich I.I. Digital spatial and temporal signal processing in multipath sonar of a marine underwater robotic complex // Izvestiya SFU. Technical sciences. 2019. No. 1(203). P. 239–248. DOI: 10.23683/2311-3103-2019-1-239-248.
6. Markovich I.I., Zavtur E.E. An algorithm for determining the coordinates of targets using the difference-range method, taking into account inaccuracies in the installation of receiving sonar antennas // Izvestiya SFU. Technical sciences. 2017. No. 8(193). P. 162–171. DOI: 10.23683/2311-3103-2017-8-162-171.
7. Gaida T.C., Mohammadloo T.H., Snellen M., Simons, D.G. Mapping the Seabed and Shallow Subsurface with Multi-Frequency Multibeam Echosounders // Remote Sens. 2020. №12. 52. DOI: 10.3390/rs12010052.
8. Hidayat W., Saputra L.R., Hidayat R.R. et al. Comparison of Sound Speed from Measurements and Models in the Waters of Bunaken National Park, North Sulawesi. 19 May 2025: PREPRINT. DOI: 10.21203/rs.3.rs-6653653/v1.
9. Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Chebrov V.N., Shevchenko Yu.V. The Cape Schultz geophysical polygon // Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 2010. No. 5. P. 165–169.
10. Leontyev A.P., Yaroshchuk I.O., Smirnov S.V., Kosheleva A.V., Pivovarov A.A., Samchenko A.N., Shvyrev A.N. A spatially distributed measuring complex for monitoring hydrophysical processes on the ocean shelf // Instruments and Experimental Techniques. 2017. Vol. 60. No. 1. P. 130–136. DOI: 10.1134/S0020441216060191
11. Yaroshchuk I.O., Leontiev A.P., Kosheleva A.V., Samchenko A.N., Pivovarov A.A., Khrapchenkov F.F., Shvyrev A.N., Yaroshchuk E.I. Experimental studies of internal waves in the coastal zone of the Sea of Japan // Underwater research and Robotics. 2013. No. 1. P. 37–44.
12. Samchenko A., Dolgikh G., Yaroshchuk I., Kosheleva A., Pivovarov A., Novotryasov V. Extreme Hydrometeorological Conditions of Sediment Waves' Formation and Migration in Peter the Great Bay (The Sea of Japan) // Water. 2023. Vol. 15. 393 P. DOI: 10.3390/w15030393.
13. Yaroshchuk I., Kosheleva A., Lazaryuk A., Dolgikh G., Pivovarov A., Samchenko A., Shvyrev A., Gulin O., Korotchenko R. Estimation of Seawater Hydrophysical Characteristics from Thermistor Strings and CTD Data in the Sea of Japan Shelf Zone // J. Mar. Sci. Eng. 2023. Vol. 11. 1204 p. DOI: 10.3390/jmse11061204.
14. IOC, SCOR and IAPSO The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides. 2010. No. 56. UNESCO (English). P. 171.
15. Kuperman W.A., Lynch J.F. Shallow-water acoustics // Physics Today. 2004. Vol. 10(57). P. 55–61.

About the authors

SAMCHENKO Alexander N., Ph.D., Senior Researcher
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences
Address: 43 Baltiyskaya Str., Vladivostok, Russia, 690041
Research interests: geoacoustic modeling, low-frequency hydro-
acoustics, seismoacoustics, shelf and coastal geomorphology
E-mail: samchenko.an@poi.dvo.ru
ORCID: 0000-0002-5184-0718

KOSHELEVA Alexandra V., Researcher
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences
Address: 43 Baltiyskaya Str., Vladivostok, Russia, 690041
Research interests: hydroacoustics, oceanology, data processing
E-mail: kosheleva@poi.dvo.ru
ORCID: 0000-0001-6508-6325

PIVOVAROV Alexander A., Researcher
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences
Address: 43 Baltiyskaya Str., Vladivostok, Russia, 690041
Research interests: hydroacoustics, hardware, oceanology
E-mail: pivovarov@poi.dvo.ru
ORCID: 0000-0003-0037-1568

YAROSHCHUK Igor O., Dr. Sc. (Phys. & Math.), Head of
Laboratory
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences
Address: 43 Baltiyskaya Str., Vladivostok, Russia, 690041
Research interests: statistical hydroacoustics, statistical modeling,
seismoacoustics, oceanology
E-mail: yaroshchuk@poi.dvo.ru
ORCID: 0000-0002-3212-9752

Recommended citation:

Samchenko A.N., Kosheleva A.V., Pivovarov A.A., Yaroshchuk I.O. IMPROVING ECHO SOUNDER DEPTH ACCURACY USING THERMOMETRIC DATA. UNDERWATER INVESTIGATIONS AND ROBOTICS. 2026. № 3 (57). C. 68–75. DOI: 10.37102/1992-4429_2026_57_03_08. EDN: JKQLWT.

