

УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДНА АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

А.Н. Самченко, И.О. Ярощук

В работе рассматриваются различные дистанционные и прямые методы и подходы к получению упругих свойств рыхлых донных отложений дна морей. Некоторые из рассмотренных вариантов получения упругих свойств дна были применены на акустическом полигоне. Акустический полигон расположен в заливе Петра Великого Японского моря. Показаны результаты расчета упругих свойств осадков прямыми и косвенными методами. Прямой метод был предложен Е. Гамильтоном и Р. Бачманом. Рассчитаны скорости продольной, поперечной волны и плотности на основе эмпирических зависимостей с гранулометрическим составом проб донных отложений. Косвенные методы восстановления упругих свойств дна основаны на данных высокочастотных акустических исследований. Проведен расчет пористости, плотности, продольной и поперечной скоростей в донных отложениях по эмпирическим моделям связи с нормальным коэффициентом отражения от дна. Также проведено сравнение полученных результатов расчета упругих свойств дна различными методами. Полученные данные упругих свойств донных отложений послужили основой геоакустической модели дна акустического полигона и залива Петра Великого в целом.

Ключевые слова: упругие характеристики дна, высокочастотная акустика, гранулометрический состав, геоакустическая модель, залив Петра Великого.

Введение

При решении задач низкочастотного гидроакустического моделирования, а также при интерпретации сейсмоакустических экспериментальных исследований необходимо иметь представление о параметрах и свойствах акустических трасс. Акустической трассой в случае использования низкочастотных сигналов служат как водный слой, так и горные породы дна. Исследованию распространения акустического сигнала в неоднородных по пространству средах посвящено множество экспериментальных и теоретических работ, например [1, 2]. В большинстве случаев при рассмотрении слоистой задачи и построении геоакустической модели (ГАМ) считают, что существует мелкомасштабная вертикальная изменчивость при крупномасштабной горизонтальной [3]. Однако в нашем случае на акустическом полигоне вдоль одного из профилей изменение скорости продольной волны может составлять более 100 м/с на расстоянии 2–3 км, при переходе к внешней кромке залива, где начинается свал глубин.

Можно выделить два подхода к определению упругих свойств дна — прямой и косвенный. Прямой подход получения упругих характеристик осуществляется путём измерений их на пробах донных отложений или по эмпирическим зависимостям физических свойств от механических. Рассмотрим некоторые прямые методы определения упругих характеристик. В одном из вариантов перерасчета акустических характеристик донных отложений в настоящее время используют модели гетерогенных (пористых флюидонасыщенных) сред – пороупругая теория Био–Столла, суспензионная модель и другие модели, которые являются обобщением теории упругости на многофазные среды [4–6]. В модели Био–Столла донные осадки представляются в виде двухфазной квазиравновесной системы – насыщенного жидкостью более или менее жесткого скелета, образованного множеством контактирующих твердых частиц. Существенное влияние может оказывать присутствие в осадках газовых пузырьков. Как отдельное направление сформировались исследования влияния пористой структуры осадков (модель Био–

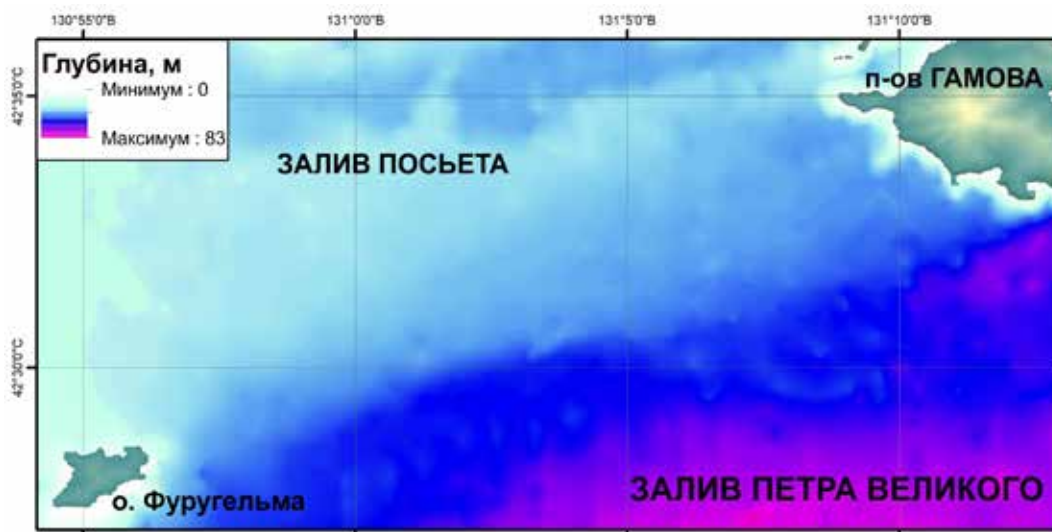


Рис. 1. Географическое положение акустического полигона ТОИ ДВО РАН

Столла) [6]. Данные модели расчета акустических характеристик рыхлых донных отложений предполагают серьезные требования к отбору проб осадков и их лабораторным исследованиям. Практически невозможно провести все лабораторные измерения на уже отобранных пробах для создания такого рода моделей. В то время как гранулометрический и химический состав проб донных отложений можно перепроверить.

Более простой метод определения упругих свойств предложен Е. Гамильтоном и Р. Бачманом [7]. Метод основан на получении эмпирических зависимостей упругих свойств донных отложений с их гранулометрическим составом. Данный метод имеет важное преимущество в том, что можно использовать обширную базу данных ранее изученных проб донных отложений, а также провести их верификацию. Однако у него меньшая точность определения свойств осадка.

К косвенным методам определения упругих свойств донных отложений можно отнести сейсмоакустические. Используется метод инверсии свойств морских осадков по измеренному нормальному коэффициенту отражения на основе полной теории Био–Столла и ее упрощенной версии

[8–10]. Также, как и в прямых методах, используются аналитические решения применительно к твердому скелету, наполненному жидкостью. А в упрощенной модели используется только вязкое трение.

■ Акустический полигон

Акустический полигон расположен в заливе Петра Великого, вблизи п-ова Гамова, где располагается экспериментальная станция Мыс Шульца (рис. 1). На суше расположены системы гидрометеорологического контроля и сейсмоакустические станции [11]. В море проводятся акустические и сейсмоакустические исследования [12]. Акустические параметры

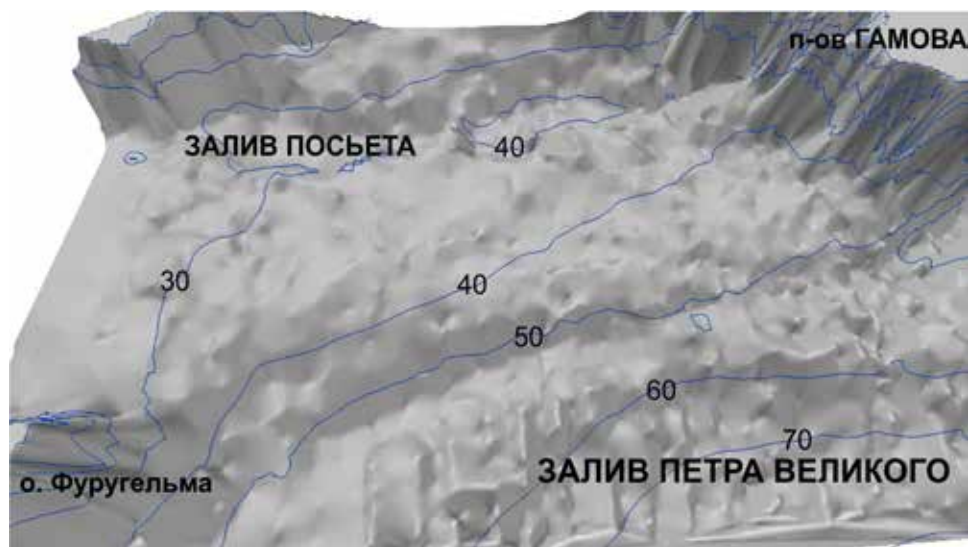


Рис. 2. Трехмерная модель дна акустического полигона с использованием однородной серой отмывки

дна моря имеют важное значение в интерпретации экспериментальных исследований.

По данным батиметрических исследований дно моря представляет собой слабо наклоненную на юго-юго-восток поверхность (рис. 2) [13]. На дне полигона выделяются невысокие рифели (1–6 м), отдельные промоины и холмы. От мыса Шульца до о-ва Фуругельма протянулся вал с одинаковой глубиной вдоль всего вала (примерно 40 м). Полигон обрамлен берегом с крутыми склонами, высотой до 20–30 м п-ова Гамова. Вдоль береговой черты протянут канал, по всей видимости, по которому выносятся тонкий осадочный материал на материковый склон. П-ов Гамова сложен гранитоидами Гамовского комплекса. На образцах пород Гамовского комплекса скорости продольных волн составляют 5400 м/с, что выше средних значений для гранитов (4500–5000 м/с) [14, 15].

■ Методы и подходы

Необходимо отметить, что все упругие свойства материалов имеют зависимость друг от друга. Далее предлагается находить скорости продольных волн в рыхлых донных отложениях, поскольку, зная скорость продольной волны, можно рассчитать скорость поперечной волны, плотность и другие характеристики [16, 17]. Прямой зависимости поглощения от скорости продольной волны нет. Поглощение в осадках можно определить только косвенно, на основе справочных данных по известному гранулометрическому содержанию проб рыхлого осадка.

Исходя из исследований, проведенных Е. Гамильтоном [16], следует, что на продольную скорость звука в основном влияет размер частиц в донных отложениях при равных значениях обводненности и глубины. Необходимо учитывать процентное содержание каждой из фракций, входящих в состав пробы. В международной классификации выделяется 3 фракции, различающиеся размерами зерна — песок («Sand»), ил («Silt») и глина («Clay»). Продольная скорость звука для донного осадка с различным процентным содержанием фракций получена с помощью следующего соотношения:

$$V_p = k_1 L_1 + k_2 L_2 + k_3 L_3, \quad (1)$$

где L_1, L_2, L_3 — долевое содержание фракций песка, ила и глины соответственно в пробе донного осадка. Коэффициент k зависит от химического состава проб и рассчитан на образцах, близких по составу [14]. В нашем случае с учетом зернистости фракции «Sand» коэффициент $k_1 = 1836$, $k_2 = 1610$, при различных размерах зерна фракции «Clay» $k_3 = 1450$. Продольная скорость звука для варианта, где фракция «Sand» составляет 100 %, будет 1750 м/с, с учетом, что среднезернистый песок имеет размер зерен 2.5 ф единиц, при содержании фракции «Silt» 100 % — 1560 м/с для 5.4 ф единиц, со 100 % содержанием в осадке фракции «Clay» — 1450 м/с при 8.5 ф единиц (зернистость в ф единицах = $-\log_2$ [зернистость в мм]). При размере зерен крупнозернистого песка «Coarse sand» 0.92 ф единиц продольная скорость звука составляет 1836 м/с. Продольная скорость звука для фракции «Clay» при 4.5 ф единиц равна 1610 м/с.

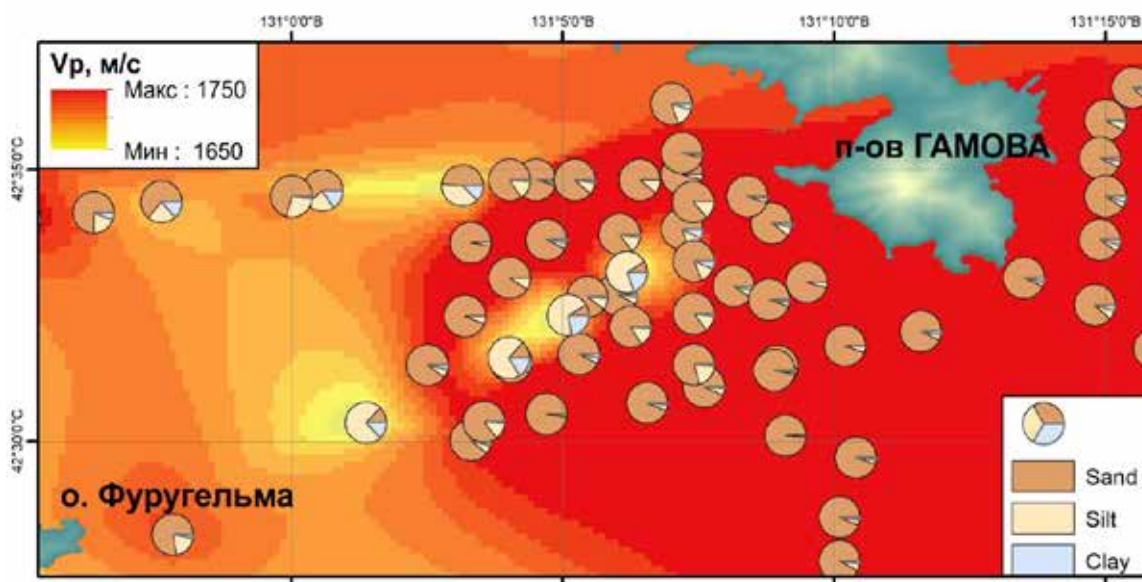


Рис. 3. Распределение продольной скорости звука, рассчитанное по данным гранулометрического состава осадка, и точки отбора проб донных отложений

Всего на всей территории залива Петра Великого было проанализировано 462 пробы донного осадка с известным гранулометрическим составом и вычислены упругие характеристики. Вычисленные значения упругих свойств донных отложений залива Петра Великого легли в основу сформированной геoaкустической модели [14]. На акустическом полигоне подверглись анализу 53 пробы донных отложений. Распределение продольной скорости звука на акустическом полигоне рассчитано с помощью стандартного метода «естественной окрестности» в геоинформационной системе ArcGis (рис. 3).

На площади 130,5 км² на акустическом полигоне проведены акустические исследования с помощью двухчастотного эхолота. В результате акустических измерений получены данные по интенсивности обратного рассеяния при нормальном падении луча на частотах 50 и 100 кГц. Существует зависимость упругих свойств осадков дна моря и отражающей способности через коэффициент отражения Релея:

$$R = \frac{\rho_1 \rho_2 - \sqrt{C_1^2 C_2^2 - \sin^2 \theta} (\sqrt{1 - \sin^2 \theta})^{-1}}{\rho_1 \rho_2 + \sqrt{C_1^2 C_2^2 - \sin^2 \theta} (\sqrt{1 - \sin^2 \theta})^{-1}}, \quad (2)$$

где R – отношение амплитуды отраженной волны к падающей волне, ρ_1 и C_1 – плотность и скорость звука в придонной воде, ρ_2 и C_2 – плотность и скорость звука в осадках. Угол отражения или падения — θ . На рис. 4 показано вычисленное распределение скоростей продольных волн в поверхностном слое дон-

ных отложений по известным данным отражающих свойств на основе модели Био–Столла [5]. Эффективная плотность рыхлых осадков в высокочастотной области находится следующим выражением, согласно [6]:

$$\rho_{eff} = \rho_f \frac{\alpha(1-\beta)\rho_s + \beta(\alpha-1)\rho_f}{\beta(1-\beta)\rho_s + (\alpha-2\beta + \beta^2)\rho_f}, \quad (3)$$

где ρ_f – плотность воды, равно 1000 кг/м³, ρ_s – плотность песчинок, составляющих донные отложения, соответствует 2650 кг/м³ для алевроитового песка; α – проницаемость среды, можно определить как 1/15~1/25 от среднего диаметра зерна песчинок, β – пористость. Для расчета пористость взята равной 0.4.

Согласно [8, 9], если исключить проницаемость, но учитывать внутреннее трение в рыхлых осадках, в формуле (3) получим эффективную плотность, которая используется в расчете коэффициента отражения при нормальном падении по формуле (2). Величина скорости продольной волны в данном случае не вещественная, а комплексная. А плотность донных отложений – это эффективная плотность двухфазной среды. Используя данную методику расчета скоростей продольных волн верхнего слоя донных отложений по данным акустического зондирования качественная картина не отличается от расчета по модели Био–Столла (рис. 4). Уменьшился диапазон значений скоростей продольных волн на 80 м/с, и минимальное значение скорости продольной волны уменьшилось на 20 м/с.

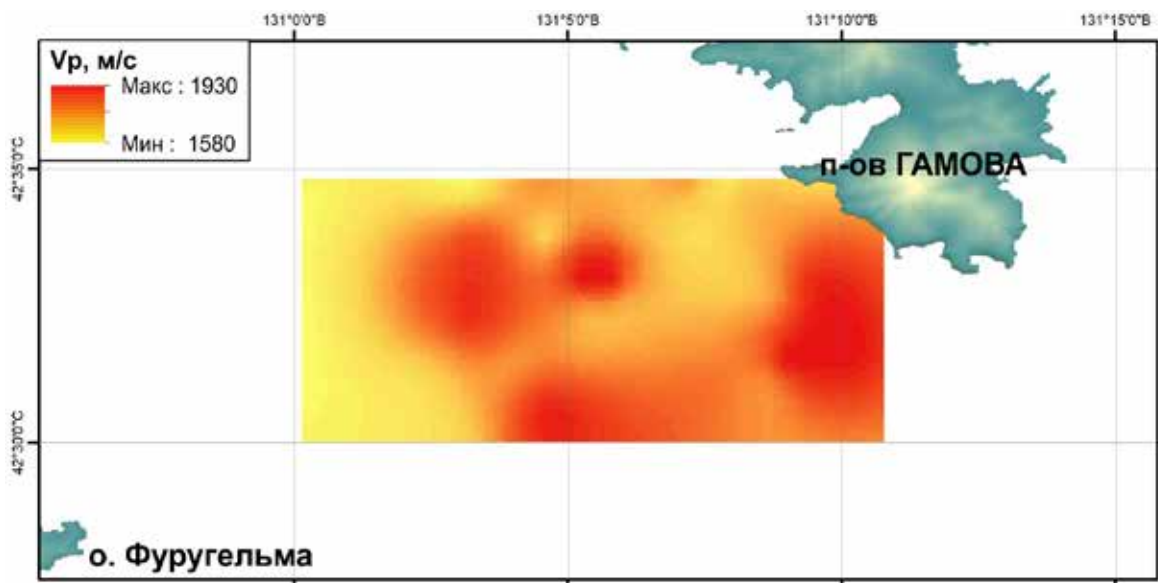


Рис. 4. Распределение скорости продольной волны, рассчитанное по данным акустических исследований

■ Обсуждение результатов

В рамках создания геоакустической модели залива Петра Великого были рассчитаны значения скоростей продольных волн осадков по методу Гамильтона–Бачмана [14]. Минимальные значения скоростей (от 1474 м/с) продольные волны принимают в Амурском заливе и на континентальном шельфе, где наблюдается илистое дно. Максимальные значения – до 1750 м/с – в центральной части залива, где происходит активное разрушение скалистой береговой линии залива, и вблизи островов. В том числе наблюдаются высокие значения продольной скорости волны вблизи п-ова Гамова. На акустическом полигоне скорости продольной волны меняются от 1650 до 1750 м/с (рис. 3). Высокие значения скоростей продольной волны обусловлены высоким содержанием среднезернистого песка в пробах донных отложений. Содержание тонкого материала в осадках залива Посъета незначительно и в основном концентрируется в небольших выемках и канавах, которые наблюдаются в заливе. Содержание небольшого количества илистого материала в пробах донных отложений обусловлено тем, что в залив Посъета не впадают крупные реки. Выделенный по батиметрической съемке вал, протянувшийся от мыса Шульца до о-ва Фуругельма, состоит из среднезернистого песка со скоростями продольной волны более 1700 м/с. В районе впадин с обеих сторон от вала в пробах донных отложений присутствует небольшое количество илистой компоненты, за счет чего скорости продольных волн в осадках составляет менее 1700 м/с. Также низкие значения скоростей продольной волны в осадках наблюдаются в районе о-ва Фуругельма, по всей видимости, за счет выноса тонкого материала из неглубоких бухт Рейд Паллада и Экспедиции, куда впадают небольшие речки Болотная и Тесна.

Скорости продольной волны донных отложений, рассчитанные по данным акустических исследований с помощью двухчастотного эхолота, показаны на рис. 4. Использовались два варианта расчета на основе модели Био–Столла и упрощенной модели, сформулированной Шоком [9, 10]. Качественно поля скоростей продольной волны верхнего слоя осадков, рассчитанные различными методами, схожи. Однако количественно имеется значительное расхождение. Диапазон значений скоростей продольных волн осадков, рассчитанный по акустическим данным с помощью различных моделей, более 300 м/с. Минимальные значения могут соответствовать пескам

с преобладающим содержанием компоненты «Silt» или же небольшой примеси во фракции «Sand» компоненты «Clay». Вычисленные с помощью акустического метода высокие значения скорости продольной волны (более 1850 м/с) не соответствуют акустическим характеристикам рыхлых донных отложений поверхности дна моря. Столь высокие скорости продольных волн могут быть у консолидированных пород или в слоях рыхлых отложений, погребенных на более чем 1 км от поверхности дна.

Заключение

Исследование упругих характеристик донных отложений имеет важное прикладное значение. Геоакустическая модель залива Петра Великого используется в теоретической и прикладной акустике [11]. Поэтому необходимо быть уверенными в точности полученных данных. Использование различных методов и подходов, их сравнение позволяет увеличить достоверность полученных результатов. Как показали исследования на акустическом полигоне, наиболее близкие значения скоростей продольной волны получены на основе метода Гамильтона–Бачмана. Рассчитанные скорости продольной волны акустическими методами качественно, но не количественно близки к методу Гамильтона–Бачмана. Исходя из того, что максимальные значения скоростей продольной волны, полученных акустическими методами, выходят за пределы возможного, существует ошибка определения упругих свойств пород. Возможно, ошибка определения скоростей продольной волны обусловлена использованием высокочастотного излучателя. В работе [10] отмечается, что метод Био–Столла на высоких частотах может работать некорректно. Кроме того, неровности морского дна могут вносить погрешность в измерения, так как часть энергии, переданной под разными углами, возвращаясь к преобразователю, рассеивается. Однако имеется важное преимущество акустического метода определения упругих характеристик донных отложений – это детализация измерений. Также возможно уточнение зон со сложным геологическим строением в местах выходов коренных пород и переслаиванием различных по составу геологических слоев.

Работа выполнена по госзаданию номер: ААА-А-А20-120021990003-3 «Изучение фундаментальных основ возникновения, развития, трансформации и взаимодействия гидроакустических, гидрофизических и геофизических полей Мирового океана».

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеева Н.С. Распространение звука в мелком море. Акустика океана. М.: Наука, 1982. С 107–118.
2. Долгих Г.И., Чупин В.А. Экспериментальная оценка преобразования гидроакустического излучения в сейсмоакустическую волну // Акуст. журн. 2005. № 5. С. 628–632.
3. Лысанов Ю.П. О геоакустической модели верхнего слоя осадков в мелких морях // Океанология. 1980. Т. 25, № 3. С. 714–716.
4. Biot M. A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low frequency range // J. Acoust. Soc. Am. 1956. Vol. 28. P. 168–178.
5. Stoll R.D. Sediment Acoustics. New York: Springer, 1989. 153 p.
6. Williams K.L. An effective density fluid model for acoustic propagation in sediments derived from Biot theory // J. Acoust. Soc. Am. 2001. Vol. 110 (5). P. 2276–2281.
7. Hamilton E.L., Bachman R. T. Sound velocity and related properties of marine sediments // J. Acoust. Soc. Am. 1982. Vol. 72 (6). P. 1891–1904.
8. Лисютин В.А., Ластовенко О.Р. Оценка влияния внутреннего и вязкого трения на дисперсию и затухание звука в неконсолидированных морских осадках // Акуст. журн. 2020. Т. 66, № 4. С. 420–436. DOI: 10.31857/S0320791920040061.
9. Schock S.G. A Method for estimating the physical and acoustic properties of the sea bed using chirp sonar data // IEEE J. of Ocean. Eng. 2004. Vol. 29 (4). P. 1200–1217.
10. Schock S.G. Remote estimates of physical and acoustic sediment properties in the South China Sea using chirp sonar data and the Biot model // IEEE J. of Ocean. Eng. 2004. Vol. 29 (4). P. 1218–1230.
11. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Чупин В.А., Швырёв А.Н., Ярошук И.О. О перспективах применения лазерных деформографов для диагностики морского дна // ДАН. 2013. Т. 452, № 3. С. 321–326. DOI: 10.7868/S0869565213280165.
12. Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швырёв А.Н., Ярошук И.О. Использование гидрофизического исследовательского комплекса в натурном эксперименте на шельфе Японского моря // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 2 (32). С. 56–61. DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.007.
13. Коротченко Р.А., Самченко А.Н., Ярошук И.О. Пространственно-временной анализ геоморфологии океанического дна залива Петра Великого Японского моря // Океанология. 2014. Т. 54, № 4. С. 538–545. DOI: 10.7868/S0030157414030046
14. Самченко А.Н. Геоакустическое моделирование на шельфе с помощью геоинформационных систем // Вестн. Инженерной школы ДВФУ. 2017. № 4. С. 131–138. DOI: doi.org/10.5281/zenodo.1119189.
15. Свининников А.И., Ярошук И.О. Геоакустическая модель шельфа Японского моря // Вестник ДВО РАН. 2006. №3. С. 85–93.
16. Hamilton E.L. Vp/Vs and poisson's ratios in marine sediments and rocks // J. Acoust. Soc. Am. 1979. Vol. 66. P. 1093–1101.
17. Hamilton E.L. Geoacoustic modeling of the sea floor // J. Acoust. Soc. Am. 1980. Vol. 68. P. 1313–1340.

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

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., Ярошук И.О. УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДНА АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) // Подводные исследования и робототехника. 2023. № 2 (44). С. 75–82. DOI: 10.37102/1992-4429_2023_44_02_07. EDN: VKDHHI.

ELASTIC CHARACTERISTICS OF THE BOTTOM AT THE ACOUSTIC POLYGON IN PETER THE GREAT BAY (SEA OF JAPAN)

A.N. Samchenko, I.O. Yaroshchuk

The paper considers various remote and direct methods and approaches to obtaining the elastic properties of loose bottom sediments of the sea bottom. Some of the considered options for obtaining the elastic properties of the bottom were applied on an acoustic test site. The acoustic test site is located in the Peter the Great Bay of the Sea of Japan. The results of calculating the elastic properties of sediments by direct and indirect methods are shown. The direct method was proposed by Hamilton and Bachman. The velocities of the longitudinal, transverse waves and density are calculated based on empirical dependencies with the granulometric composition of samples of bottom sediments. Indirect methods for restoring the elastic properties of the bottom are based on data from high-frequency acoustic studies. The calculation of porosity, density, longitudinal and transverse velocities in bottom sediments was carried out using empirical communication models with a normal reflection coefficient from the bottom. The obtained results of calculating the elastic properties of the bottom by various methods are also compared. The obtained data on the elastic properties of bottom sediments served as the basis for the geoacoustic model of the bottom of the acoustic test site and the Peter the Great Bay as a whole.

Keywords. bottom elastic characteristics, high-frequency acoustics, granulometric composition, geoacoustic model, Peter the Great Bay

References

1. Ageeva N.S. Propagation of sound in a shallow sea. Ocean acoustics. M.: Nauka, 1982. P. 107-118.
2. Dolgikh G.I., Chupin V.A. Experimental assessment of the transformation of hydroacoustic radiation into a seismoacoustic wave. Acoust. journal. 2005 No. 5. P. 628-632.
3. Lysanov Yu.P. On the geoacoustic model of the upper layer of sediments in shallow seas. Okeanologiya, 1980. Vol. 25. No. 3. P. 714-716.
4. Biot M.A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low frequency range. J. Acoust. Soc. Am. 1956. Vol. 28. P. 168-178.
5. Stoll R. D. Sediment Acoustics. New York: Springer, 1989. 153 p.
6. Williams K.L. An effective density fluid model for acoustic propagation in sediments derived from Biot theory. J. Acoust. Soc. Am. 2001. Vol. 110 (5). P. 2276-2281.
7. Hamilton E.L., Bachman R. T. Sound velocity and related properties of marine sediments. J. Acoust. Soc. Am. 1982. Vol. 72 (6). P. 1891-1904.
8. Lisyutin V.A. Lastovenko O.R. Evaluation of the effect of internal and viscous friction on the dispersion and attenuation of sound in unconsolidated marine sediments, Acoust. Journal. 2020. Vol. 66, No. 4. P. 420-436. DOI: 10.31857/S0320791920040061
9. Schock S.G. A Method for estimating the physical and acoustic properties of the sea bed using chirp sonar data. IEEE J. of Ocean. Eng. 2004. Vol. 29 (4). P. 1200-1217.
10. Schock S.G. Remote estimates of physical and acoustic sediment properties in the South China Sea using chirp sonar data and the Biot model. IEEE J. of Ocean. Eng. 2004. Vol. 29 (4). P. 1218-1230.
11. Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Pivovarov A.A., Samchenko A.N., Chupin V.A., Shvyryov A.N., Yaroshchuk I.O. The Feasibility of Laser Strainmeters for Sea Floor Diagnostics. Doklady Earth Sciences. 2013, Vol. 452, No. 1, pp. 971-975. DOI: 10.1134/S1028334X13090158
12. Pivovarov A.A., Samchenko A.N., Shvyrev A.N., Yaroshchuk I.O. The use of a hydrophysical research complex in a full-scale experiment on the shelf of the Sea of Japan. Underwater research and robotics. 2020. No. 2 (32). pp. 56-61.
13. Korotchenko R.A., Samchenko A.N., Yaroshchuk I.O. The spatiotemporal analysis of the bottom geomorphology in Peter the Great Bay of the Sea of Japan // Oceanology. 54 (4), pp. 497-504. DOI: 10.1134/S0001437014030047.
14. Samchenko A.N. Geoacoustic modeling on the shelf using geoinformation systems. Bulletin of the FEFU School of Engineering. 2017. No. 4. C. 131-138. DOI: doi.org/10.5281/zenodo.1119189.

15. Svininnikov A.I., Yaroshchuk I.O. Geoacoustic model of the shelf of the Sea of Japan. Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006. No. 3. P. 85-93.

16. Hamilton E.L. Vp/Vs and poisson's ratios in marine sediments and rocks. J. Acoust. Soc. Am. 1979. Vol. 66. P 1093-1101.

17. Hamilton E.L. Geoacoustic modeling of the sea floor. J. Acoust. Soc. Am. 1980. Vol. 68. P. 1313-1340.

About the authors

SAMCHENKO Alexander Nikolaevich, Ph.D., senior researcher Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Address: 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russia

Scientific fields: shelf geology and geophysics

Phone: +7(423) 231-26-17.

E-mail: samchenko@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0002-5184-0718

YAROSHCHUK Igor Olegovich, Doctor of sciences, physics and mathematics, Senior researcher, Head of the Laboratory Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Address: 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russia

Scientific fields: statistical hydroacoustics, statistical modeling, seismoacoustics, oceanology

Phone: +7(423) 231-26-17. **Fax:** +7(423) 231-26-17

E-mail: yaroshchuk@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0002-3212-9752

Recommended citation:

Samchenko A.N., Yaroshchuk I.O. ELASTIC CHARACTERISTICS OF THE BOTTOM AT THE ACOUSTIC POLYGON IN PETER THE GREAT BAY (SEA OF JAPAN). Underwater investigations and robotics. 2023. No. 2 (44). P. 75–82. DOI: 10.37102/1992-4429_2023_44_02_07. EDN: VKDHHI.

