
**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРИБОРОВ
И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕТОДИК**

УДК 681.883; 551.351; 534.222.2

© А. П. Волощенко, 2020

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ
МОРСКОГО ДНА**

В 2015–2016 гг. в районе мыса Панагия Таманского полуострова сотрудники Южного федерального университета совместно с Русским географическим обществом проводили археологические исследования гидроакустическими методами. В 2015 г. основная задача экспедиции заключалась в испытании и демонстрации возможностей гидролокатора бокового обзора серии "Неман". В результате был изучен подводный ландшафт района и составлена карта морского дна. Во второй год основная задача экспедиции заключалась в испытании и демонстрации возможностей параметрического профилографа серии "ПГЛ-101". В статье приведены и обсуждаются ранее не опубликованные материалы и результаты 2016 г., позволяющие по-новому взглянуть на возможности параметрического профилографа. В работе детально изучено строение верхней части осадочной толщи, залегающей северо-западнее мыса Панагия. Приведены наиболее наглядные данные профилирования. Дополнительно приведены данные акустической съемки района с использованием гидролокатора бокового обзора. Показана необходимость применения параметрического профилографа при проведении морских геолого-геоморфологических исследований. Показана необходимость создания и разработки новых образцов отечественного гидроакустического оборудования. Результаты экспедиции могут быть использованы при проведении широкого комплекса геолого-геоморфологических, палеогеографических, археологических и экологических исследований.

Кл. сл.: геологический разрез, осадочный слой, шельф, синклиналь, параметрический профилограф, гидролокатор бокового обзора

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежные участки шельфов внутренних морей находятся под сильным влиянием антропогенного пресса. Здесь осуществляется разведка и добыча полезных ископаемых, промышленное рыболовство и экологический мониторинг [1–3]. На побережье построены и функционируют крупнейшие портовые комплексы и другие крупные промышленные объекты, к которым проложены трассы судоходных каналов. В течение последних десятилетий эти территории являются объектом пристального научного интереса различных специалистов: геологов, географов, геофизиков, океанологов, биологов, археологов и т.д. При этом морские геологические исследования здесь проводятся достаточно редко [2, 4].

Одним из районов России, представляющих неоспоримый интерес для проведения морских гидроакустических исследований, является Таманский полуостров и прилегающий участок акватории Черного моря. Геологическое изучение этого района началось достаточно давно и продолжает проводиться в настоящее время [1, 5–8].

Экзогенные и эндогенные процессы и вызван-

ные ими колебания относительного уровня моря и абразия берегов существенно повлияли на очертания черноморского и азовского побережья Таманского полуострова за последние несколько тысяч лет. Эволюция дельты р. Кубань была одним из важнейших факторов, определявшим облик региона. Современные очертания полуострова формировались за счет аккумуляции речных наносов этой реки, отдельные рукава которой протекали между возвышенных участков суши и впадали в Черное или Азовское моря. На существенном отрезке позднего голоцена главным было черноморское русло Кубани. Вместе с тем, несомненно, существенное влияние на периодические изменения уровня моря и, как следствие этого, перестройку линии берега оказывали неотектонические движения [5]. В трансгрессивные фазы дельта в разной степени затоплялась морем, о чем свидетельствует система древних прибрежных валов, расположенных на различном расстоянии от современной линии берега [9].

Строение и условия формирования донных отложений шельфов Азовского и Черного морей и внутренних водоемов получили гораздо меньшее освещение в геологической литературе. Это об-

ясняется тем, что зачастую в качестве способов получения геологической информации применялись дистанционное зондирование земной поверхности, аэрофотосъемка и геофизическое зондирование, которые малоэффективны при исследовании структуры донных осадков [6]. Детальную информацию о строении рельефа дна и верхней части осадочной толщи, слагающей геологический разрез, могут предоставить современные дистанционные методы, основанные на применении разнообразных гидроакустических систем, использование которых становится обязательной практикой при проведении морских исследований [2, 3, 10, 11].

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2015–2016 гг. в районе мыса Панагия (рис. 1) Таманского полуострова сотрудники кафедры электрогидроакустической и медицинской техники Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета совместно с Русским географическим обществом проводили археологические исследования дистанционным гидроакустическим методом. Гидроаку-

стическое оборудование экспедиций состояло из высокоразрешающего гидролокатора бокового обзора (ГБО) серии "Неман" и узколучевого параметрического профилографа (ППФ) серии "ПГЛ-101" [12], располагавшихся на судне малого водоизмещения. В 2015 г. основная задача экспедиции заключалась в испытании и демонстрации возможностей ГБО серии "Неман". В результате был изучен подводный ландшафт района и составлена карта морского дна. Итоги экспедиции 2015 г. изложены в статье [13]. В 2016 г. основная задача экспедиции заключалась в испытании и демонстрации возможностей ППФ серии "ПГЛ-101". В результате было детально изучено строение верхней части осадочной толщи, залегающей северо-западнее мыса Панагия. Результаты экспедиции 2016 г. приведены в данной статье ниже.

Исследования проводились в прибрежной зоне с координатами 45.15° с.ш. и 36.61° в.д. (рис. 1). Площадь зоны работ составляла порядка 9 км^2 . Глубина моря менялась от 1 до 12 м.

От мыса более чем на 3 км на запад выступает риф Тутаева (рис. 1). Основная часть поверхности рифа находится на глубинах от 0.5 до 1.5 м. Некоторые скальные выходы выступают над поверхностью моря.

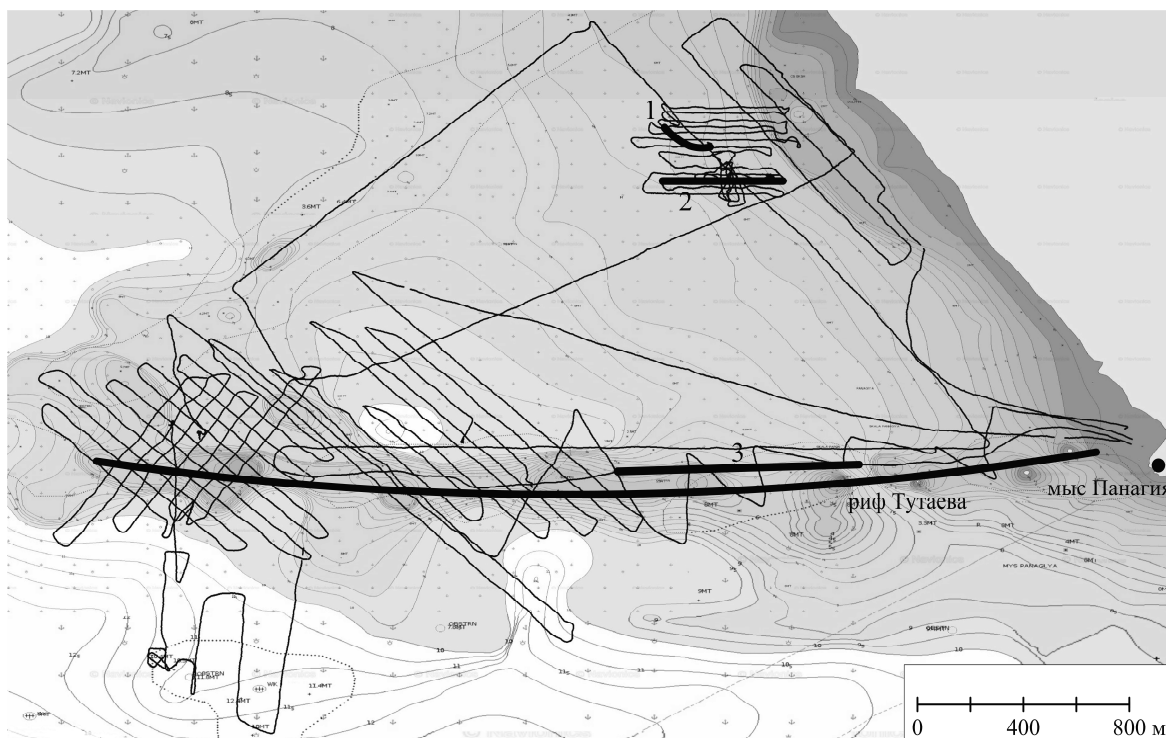


Рис. 1. Район работ экспедиции.

Черные тонкие линии — траектория движения (галсы) измерительного судна.

Черные утолщенные линии: индикация рифа Тутаева и областей локализации (1–3) обсуждаемых в статье данных измерений

Использованные при проведении морских экспедиционных исследований ГБО и ППФ являются результатом многолетней совместной работы инженеров и ученых ООО "НЕЛАКС" и АО "НИИП им. В.В. Тихомирова". Приборы способны излучать как тональный, так и линейно-частотно-модулированный (ЛЧМ) зондирующий сигналы. Стоит отметить, что после модернизации и оптимизации возможно размещение данного гидроакустического оборудования на автономных необитаемых подводных аппаратах [14].

ППФ применялся для профилирования толщи донных отложений. Он предназначен для использования в водоемах глубинами от 1 до 500 м. ППФ представляет собой акустическую систему, состоящую из двух каналов. Антенна ППФ состоит из набора пьезоэлементов, условно разделенных на два высокочастотных излучающих тракта. Она излучает два высокочастотных сигнала в диапазоне от 135 до 150 кГц. В результате нелинейного взаимодействия двух мощных высокочастотных сигналов накачки формируется низкочастотный сигнал разностной частоты от 7 до 15 кГц, с помощью которого осуществляется зондирование толщи донных осадков до 40 м (в зависимости от типа осадков). Вертикальная разрешающая способность параметрического профилографа определяется частотой девиации ЛЧМ-сигнала и достигает 15 см. Горизонтальная разрешающая способность у параметрического профилографа на по-

рядок выше, чем у линейного профилографа. Это преимущество обеспечивается узкой характеристикой направленности луча (менее 3°) и почти полным отсутствием боковых лепестков.

Для получения акустических изображений поверхности дна применялся ГБО с рабочими частотами 240 (левый борт) и 290 кГц (правый борт). Разрешающая способность по дальности у ГБО — 2.5 см. Во время морских исследований антенны ГБО и ППФ крепились на штангах по бортам судна. Глубина погружения антенн составляла 0.5 м. Сначала была проведена обзорная съемка, которая позволила выбрать наиболее подходящий для данного района режим профилирования ППФ: частотная девиация акустического сигнала — 8 кГц, длительность импульса — 2 мс, период излучения — 5 изл./с. Скорость движения судна во время съемки составляла 2–3 узла. Позиционирование судна обеспечивалось дифференциальным GPS-приемником TRIMBLE DSM 232, который позволяет определять местоположение с погрешностью не более 1 м. Информация о текущем времени и координатах WGS-84 во время сбора данных записывалась в индивидуальный файл каждого галса. Программное обеспечение в процессе съемки в реальном времени выводило на экран монитора информацию о структуре дна и позволяло регулировать усиление, подстраивать параметры отображения информации и т.д. Полученные данные записывались и хранились в цифровом виде

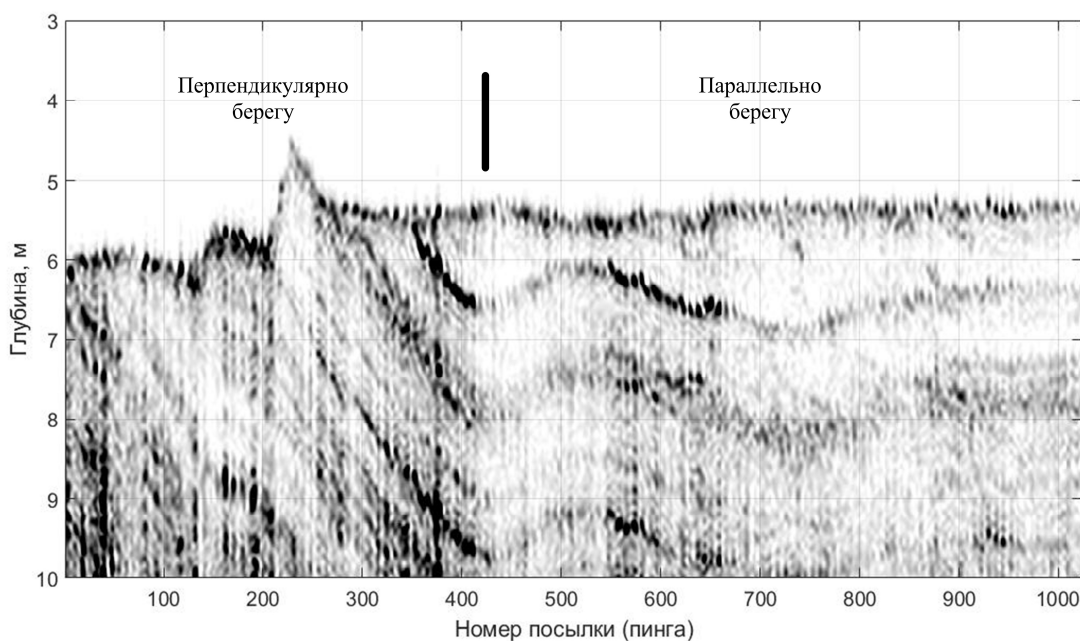


Рис. 2. Профилограмма участка морского дна со слоями осадочных пород (45.15° с.ш., 36.62° в.д.).

Область локализации данных — 1 на рис. 1

на жестком диске ноутбука. Исследования участков дна проводились по системе галсов, которые представляли собой линии параллельные и перпендикулярные берегу. Расстояние между галсами менялось от 25 до 50 м в зависимости от района работ. Шаг зондирования не превышал 0,5 м вдоль каждого галса. Исследуемая площадь покрывалась сеткой галсов судна, на борту которого установлена гидроакустическая аппаратура (рис. 1). В результате исследований была получена карта исследуемого района. Она состояла из панорамы дна, полученной при помощи ГБО, и разрезов осадочной толщи, полученных при помощи ППФ. В зависимости от акустических свойств донных отложений, глубина профилирования составляла до 20 м. Карта позволяет определить изменчивость донных осадков и оценить их структуру, тип, состав.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные зондирования показывают характерные особенности строения рельефа дна и верхней части осадочной толщи в районе работ. Слои, слагающие верхнюю часть геологического разреза, имеют складчатое залегание (рис. 2). Слои смяты в складки, имеющие юго-западное простирание. На рис. 2 приведена профилограмма галса (1, рис. 1), пройденного перпендикулярно (левая часть рис. 2) и параллельно берегу (правая часть рис. 2).

В районе рифов на морском дне обнажаются выходы слоев мшанковых известняков, залегающих в крыльях синклинальных складок (область сканирования 2 рис. 1) — рис. 3. Судно двигалось от берега. В депрессиях морского дна между основаниями соседних рифов аккумулируются пески (рис. 4).

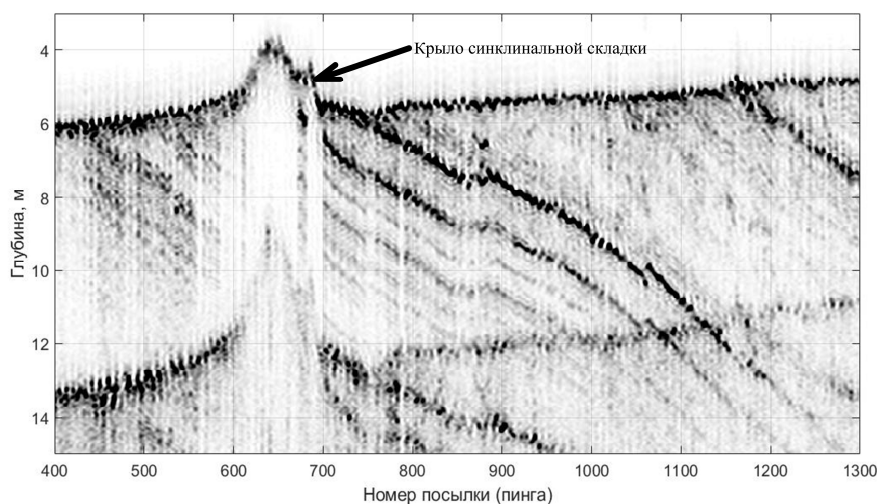


Рис. 3. Профилограмма участка морского дна с выходами слоев мшанковых известняков (45.15° с.ш., 36.62° в.д.). Область сканирования 2 на рис. 1

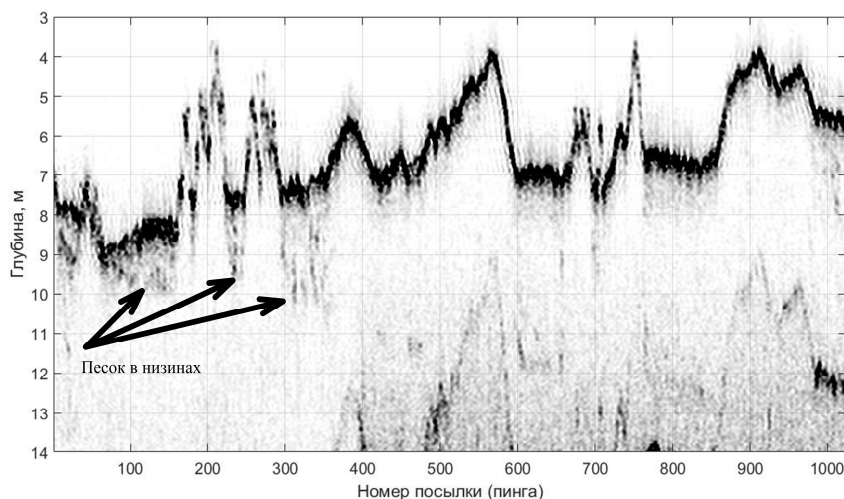


Рис. 4. Профилограмма участка морского дна параллельно рифу Тутаева (45.14° с.ш., 36.62° в.д.). Область сканирования 3 на рис. 1

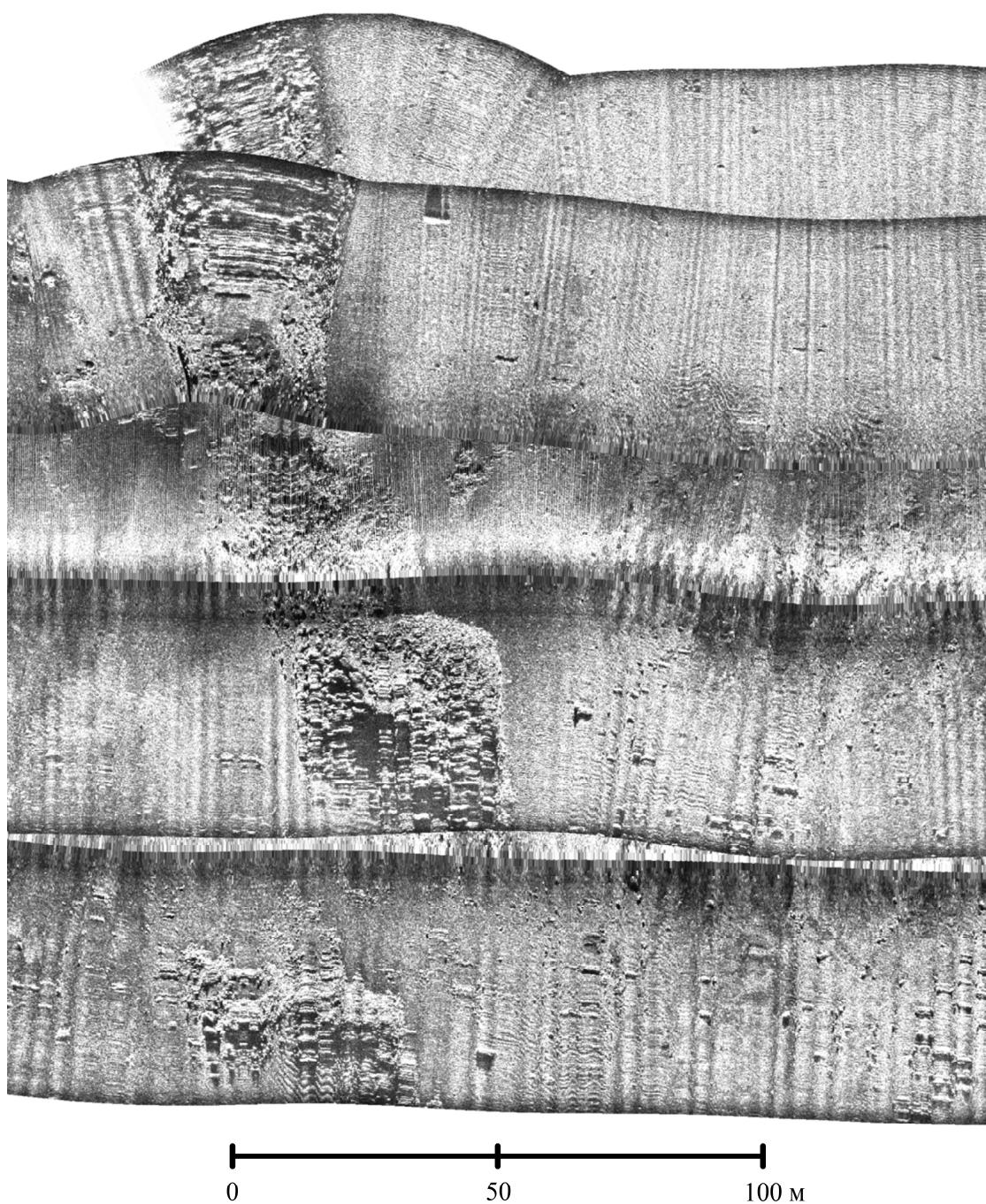


Рис. 5. Эхограмма ГБО участка морского дна (45.15° с.ш., 36.62° в.д.)

Дополнительную информацию для интерпретации и уточнения отмеченных выше объектов можно получить, анализируя акустические изображения морского дна, полученные с помощью ГБО. На рис. 5 показана эхограмма дна, соответствующая

району с профилограммы на рис. 3. Данные представлены в виде фрагмента карты морского дна. На рис. 5 отчетливо видны крылья синклинальной складки, отмеченной на рис. 3. Согласно результатам анализа дистанционного зондирования

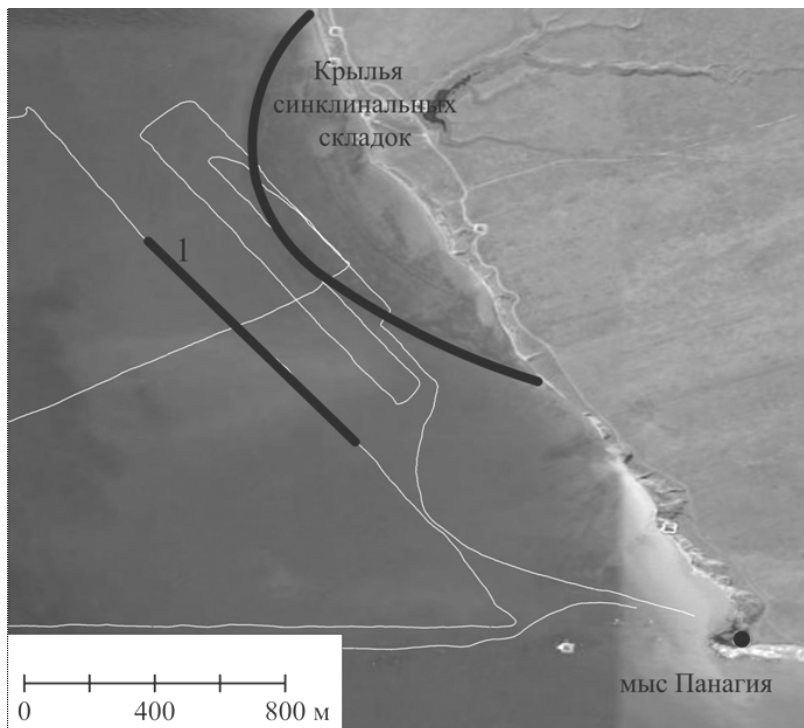


Рис. 6. Спутниковый снимок с нанесенными на него обозначениями синклинали и траектории (галсами) измерительного судна

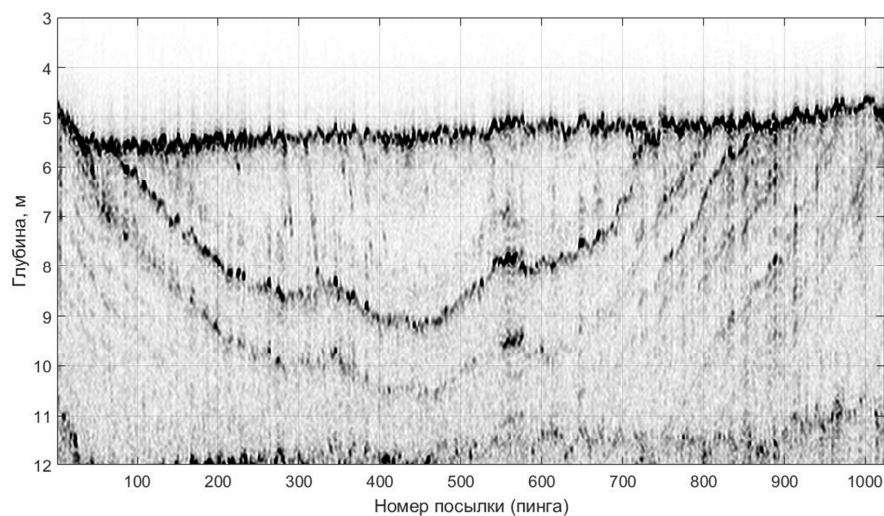


Рис. 7. Профилограмма участка морского дна с синклинали (45.15° с.ш., 36.62° в.д.) по галсу 1 на рис. 6

земной поверхности со спутников (рис. 6), синклинали складка по форме напоминает полукруг, удаленный на 300 м от берега и упирающийся концами в него. Анализ галса, пройденного параллельно берегу (1, рис. 6), показывает, что данное обстоятельство оказывает влияние на форму залегания осадочных слоев (рис. 7). Из записи профилограммы на рис. 7 видно синклинали складку и слои мшанковых известняков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание технологий, позволяющих проводить комплексное обследование обширных участков морского дна с использованием гидроакустической техники, — одна из основных задач морской геологии. Технологии должны позволять исследовать состояние поверхности морского дна и структуру толщи под ним, искать и находить неодно-

родности и объекты как на дне, так и в слое грунта. Проведенные исследования показали высокую эффективность применяемого параметрического профилографа "ПГЛ-101" для изучения и дальнейшего развития представлений о структуре и свойствах донных осадков.

Полученная в ходе экспедиции геологическая информация может быть использована для создания единой геоакустической модели [15] Таманского полуострова, которая суммирует имеющиеся геологические, геофизические, гидрологические и петрофизические данные о регионе. Результаты исследований будут интересны для геоморфологии и палеогеографии при изучении изменения и реконструкции геологического облика Таманского полуострова. Неполнота сохранившихся письменных источников порождает неоднозначные историко-географические реконструкции ландшафтно-геоморфологического облика Таманского полуострова [6]. Полученные новые материалы позволяют оценить произошедшие изменения в облике данного участка побережья.

Применение гидроакустических технологий исследований с помощью параметрического профилографа позволит повысить эффективность существующих трудоемких и дорогостоящих методов экологического мониторинга [16], основанных на непосредственном взятии проб. Дистанционные методы позволяют получить данные об экологическом состоянии морского дна на достаточно обширных площадях и существенно сократить время проведения работ [11].

В настоящее время большинство водных геологических и археологических работ на шельфе и во внутренних водоемах Российской Федерации носят единичный характер. Одной из причин сложившейся ситуации является отсутствие отечественных гидроакустических приборов, не уступающих зарубежным образцам по характеристикам. В то же время полученные результаты по акустическому изучению морского дна показывают неоспоримую важность данного рода исследований. Они перспективны для освоения комплексов различных полезных ископаемых во внутренних водоемах и прибрежной зоне моря [17], для археологических и геоэкологических исследований [6]. Для достижения всех выше обозначенных целей необходимо применение современной техники [10, 12], способной давать информацию об объектах как на поверхности морского дна, так и в толще осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каевицер В.И., Слобцов И.Б., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. Подводные грязевые вулканы Таманского полуострова (по данным гидролокационных исследований) // Вулканология и сейсмология. 2016. № 4. С. 27–33. DOI: 10.7868/S0203030616040039
2. Кожухов И.В., Фирсов Ю.Г., Гордиенко Н.Ю. Северный регион Российской Федерации как зона экологического риска и новый технологический этап освоения Арктики // Эксплуатация морского транспорта. 2013. Т. 72, № 2. С. 73–78.
3. Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А., Клюев М.С., Евсенок Е.И. Высокора разрешающая геоакустическая система для геолого-археологического изучения дна // Процессы в геосредах. 2016. № 6. С. 156–161.
4. Дмитриевский Н.Н., Ананьев Р.А., Либлин Н.В., Росляков А.Г. Использование сейсмоакустического комплекса для исследований верхней осадочной толщи и рельефа морского дна в Восточной Арктике // Океанология. 2013. Т. 53, № 3. С. 412–417. DOI: 10.7868/S0030157413020019
5. Болиховская Н.С., Горлов Ю.В. и др. Изменения ландшафтно-климатических условий Таманского полуострова на протяжении последних 6000 лет // Проблемы истории, филологии, культуры. 2002. № 12. С. 257–271.
6. Горлов Ю.В. Географическая ситуация на Таманском полуострове во второй половине голоцена // Проблемы истории, филологии, культуры. 2008. № 21. С. 415–437.
7. Попков В.И. Постседиментационный характер развития внутриплитных дислокаций как отражение импульсивности деформационных процессов // Geodynamics & Tectonophysics. 2013. Т. 4, № 3. С. 327–339. DOI: 10.5800/GT-2013-4-3-0104
8. Шарданова Т.А., Соловьева Н.А. Влияние неотектоники и эвстатики на формирование отложений сарматского, мэотического и понтического ярусов Таманского полуострова // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2006. № 5. С. 36–43.
9. Балабанов И.П., Измайлов Я.А. Изменение уровня и гидрохимического режима Черного и Азовского морей за последние 20 тыс. лет // Водные ресурсы. 1988. № 6. С. 54–61.
10. Солдатов Г.В. Определение параметров донных осадков дистанционными методами в целях экологического мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 9. С. 88–93.
11. Солдатов Г.В., Тарасов С.П. Экологические мониторинговые исследования водной среды обитания методом гидроакустической диагностики // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 10. С. 228–233.
12. Демидов А.И. и др. Гидроакустические системы дистанционного зондирования дна водоемов и водной толщи // Сборник докладов IV Всероссийской конференции "Радиолокация и радиосвязь". М.: ИРЭ РАН, 2010. С. 63–67.
13. Матвиенко Ю.В., Воронин В.А., Тарасов С.П., Скнар А.В., Тутьнин Е.В. Пути совершенствования гидроакустических технологий обследования морского дна с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов // Подводные исследования и робототехника. 2009. № 2. С. 4–15.

1. Каевицер В.И., Слобцов И.Б., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. Подводные грязевые вулканы Таманского полуострова (по

14. *Свининников А.И., Яроцук И.О.* Геоакустическая модель шельфа Японского моря (на примере залива Посьета) // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2006. № 3. С. 85–93.
15. *Головкина Е.М., Набоженко М.В.* Современное состояние донных сообществ Керченского пролива (российский сектор) и заливов Таманского полуострова // Наука Юга России. 2012. Т. 8, № 2. С. 53–61.
16. *Бойко Н.И., Коркошко А.В.* Киммерийские титан-циркониевые россыпи Таманского полуострова // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2007. № 1. С. 20–24.

Южный федеральный университет, г. Таганрог

Контакты: *Волощенко Александр Петрович*,
arvoloshhenko@sfedu.ru

Материал поступил в редакцию 21.11.2020

APPLICATION OF A PARAMETRIC PROFILOGRAPH TO STUDY THE FINE STRUCTURE OF THE SEABED

A. P. Voloshchenko

Southern Federal University, Taganrog, Russia

In 2015–2016 in the area of Cape Panagia of the Taman Peninsula, employees of the Southern Federal University, together with the Russian Geographical Society, carried out archaeological research using hydroacoustic methods. In 2015 the main task of the expedition was to test and demonstrate the capabilities of the side-scan sonar of the Neman series. As a result, the underwater landscape of the area was studied and a map of the seabed was compiled. In the second year, the main task of the expedition was to test and demonstrate the capabilities of the parametric profilograph of the PGL-101 series. The article presents and discusses previously unpublished materials and results of 2016, which provide a fresh look at the capabilities of the parametric profilograph. The structure of the upper part of the sedimentary stratum lying north-west of Cape Panagia was studied in detail. The most illustrative profiling data are presented. Additionally, the data of acoustic survey of the area using side-scan sonar are presented. The necessity of using a parametric profilograph in carrying out marine geological and geomorphological studies is shown. The necessity of creating and developing new samples of domestic hydroacoustic equipment is shown. The results of the expedition can be used in carrying out a wide range of geological and geomorphological, paleogeographic, archaeological and ecological research.

Keywords: geological section, sedimentary layer, shelf, syncline, parametric profilograph, side-scan sonar

INTRODUCTION

The coastal areas of the shelves of the inland seas are strongly influenced by anthropogenic pressure. Exploration and extraction of minerals, commercial fishing and environmental monitoring are carried out here [1–3].

The largest port complexes and other large industrial facilities have been built and are operating on the coast, to which the routes of navigable canals are laid. Over the past decades, these territories have been the object of close scientific interest of various specialists: geologists, geographers, geophysicists, oceanologists, biologists, archaeologists, etc. At the same time, marine geological research is carried out here quite rarely [2, 4].

One of the regions of Russia that is of undeniable interest for marine hydroacoustic research is the Taman Peninsula and the adjacent area of the Black Sea. Geological exploration of this area began a long time ago and continues to be carried out at the present time [1, 5–8].

Exogenous and endogenous processes and fluctuations in the relative sea level caused by them and coastal abrasion have significantly affected the outlines of the Black and the Azov coasts of the Taman Peninsula over the past several thousand years. Evolution of the Kuban river delta was one of the most important factors determining the appearance of the region. The modern outlines of the peninsula were formed due to the accumulation of sediments of this river, separate branches of which flowed between elevated land areas and fell into the Black or the Azov

seas. For a significant part of the late Holocene, the main channel of the Kuban River was the one that flows into the Black Sea. At the same time, undoubtedly, neotectonic movements exerted a significant influence on the periodic changes in the sea level and, as a consequence, the restructuring of the coastline [5]. In transgressive phases delta was flooded by the sea to varying degrees, as evidenced by of system of ancient coastal ramparts located at different distances from the modern coastline [9].

The structure and conditions of formation of bottom sediments on the shelves of the Azov and the Black seas and inland waters have received much less coverage in the geological literature. This is due to the fact that remote sensing of the Earth's surface, aerial photography and geophysical sounding were often used as methods for obtaining geological information, but they are ineffective in studying the structure of bottom sediments [6]. Detailed information on the structure of the bottom topography and the upper part of the sedimentary strata that composes the geological section can be provided by modern remote sensing methods based on the use of various hydroacoustic systems, implication of which is becoming a mandatory practice in marine research [2, 3, 10, 11].

EQUIPMENT AND METHODS OF RESEARCH

In the summer of 2016, in the area of Cape Panagia (Fig. 1) of the Taman Peninsula, employees of the Department of Electrohydroacoustic and Medical Technology of the Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrumentation of the Southern Federal

Fig. 1. Area of work of the expedition.

Black thin lines — trajectory (tacks) of the measuring vessel.

Black thickened lines — the Tutaev reef and

1–3 — areas of collecting measurement data discussed in the article

University together with the Russian Geographical Society carried out archaeological research by remote hydro-acoustic method. One of the tasks of the expedition was a detailed study of the structure of the upper part of the sedimentary strata lying northwest of Cape Panagia.

The studies were carried out in the coastal zone with coordinates 45.15° N. and 36.61° E. (Fig. 1). The area of the work zone was about 9 km^2 . The sea depth varied from 1 to 12 m.

The Tutaev reef juts out more than 3 km to the west from the cape (Fig. 1). The main part of the reef surface is located at depths from 0.5 to 1.5 m. Some rocky outcrops protrude above the sea surface. In the inner part of the reef, about 0.8–1.0 km from the coast, at a depth of about 5 meters, among the stones, several ancient anchors of various types and their details were discovered.

The expedition's hydroacoustic equipment, which consisted of a high-resolution side-scan sonar (SSS) of the Neman series and a narrow-beam parametric profilograph (PPF) of the PGL-101 series [12], was located on a small-displacement vessel. It should be

noted that after modernization and optimization, it is possible to place this hydroacoustic equipment on autonomous unmanned underwater vehicles [13]. Used in the conduct of marine expeditionary research, SSS and PPF are the result of many years of joint work of engineers and scientists of NELAX LLC and JSC Research institute of instrument engineering named after V. V. Tikhomirov. The devices are capable of emitting both tonal and chirp probing signals.

The PPF was used for profiling the thickness of bottom sediments. It is intended for use in reservoirs with depths from 1 to 500 m. PPF is an acoustic system consisting of two channels. The PPF antenna consists of a set of piezoelectric elements, conventionally divided into two high-frequency radiating paths. It emits two high frequency signals ranging from 135 to 150 kHz. As a result of the nonlinear interaction of two powerful high-frequency pump signals, a low-frequency signal with a difference frequency from 7 to 15 kHz is formed, which is used to probe the thickness of bottom sediments up to 40 m (depending on

Fig. 2. Profilogram of the seabed area with layers of sedimentary rocks (45.15° N, 36.62° E). Data detection area — 1 in Fig. 1

the type of precipitation). The vertical resolution of the parametric profiler is determined by the frequency of the chirp signal deviation and reaches 15 cm. The horizontal resolution of the parametric profilograph is an order of magnitude higher than that of the linear profiler. This advantage is provided by a narrow beam pattern (less than 3°) and an almost complete absence of side lobes.

To obtain acoustic images of the bottom surface, SSS was used with operating frequencies of 240 (port side) and 290 kHz (starboard side). The range resolution of the SSS is 2.5 cm. During the marine research, the SSS and the PPF antennas were mounted on rods along the sides of the vessel. The immersion depth of the antennas was 0.5 m. First, a survey was carried out, which made it possible to choose the most suitable PPF profiling mode for the given region: the frequency deviation of the acoustic signal — 8 kHz, the pulse duration — 2 ms, and the emission period — 5 rad / s. The vessel speed during the survey was 2–3

knots. The positioning of the vessel was provided by the differential GPS receiver TRIMBLE DSM 232, which allows determining the location with an error of no more than 1 m. Information about the current time and WGS-84 coordinates during data collection was recorded in an individual file of each tack. During the shooting, the software displayed information about the bottom structure on the monitor screen in real time and made it possible to adjust zooming, change the information display parameters, etc. The received data was recorded and stored in digital form on the laptop hard drive. Investigations of the bottom sections were carried out according to a system of tacks, which were lines parallel and perpendicular to the coast. The distance between the tacks varied from 25 to 50 m, depending on the area of work. The sounding step did not exceed 0.5 m along each tack. The investigated area was covered with a net of tacks of the vessel, on board of which the hydroacoustic equipment was installed (Fig. 1). As a result of the research, a map of

the study area was obtained. It consisted of a bottom panorama obtained using the SSS and sections of the sedimentary strata obtained using the PPF. Depending on the acoustic properties of bottom sediments, the profiling depth was up to 20 m. The map allows to determine the variability of bottom sediments and assess their structure, type, composition.

ANALYSIS OF RESULTS

The obtained sounding data show the characteristic features of the structure of the bottom relief and the

Fig. 3. Profilogram of a seabed area with outcrops of layers of bryozoan limestones (45.15° N, 36.62° E). Scan area 2 in Fig. 1

Fig. 5. SSS-echogram of the seabed (45.15° N, 36.62° E)

Fig. 7. Profilogram of the seabed with a synclinal fold (45.15° N, 36.62° E) along tack 1 in Fig. 6

In the area of reefs on the seabed, outcrops of layers of bryozoan limestones occurring in the wings of synclinal folds are exposed (scan area 2, Fig. 1) — Fig. 3. The vessel was heading away from the shore. Sands accumulate in depressions in the seabed between the bases of adjacent reefs (Fig. 4). Sands accumulate in depressions in the seabed between the bases of adjacent reefs (Fig. 4).

Additional information for the interpretation and refinement of the objects noted above can be obtained by analyzing acoustic images of the seabed obtained using the SSS. Fig. 5 shows the echogram of the bottom, corresponding to the area in the profilogram in Fig. 3. The data is presented as a fragment of the seabed map. Fig. 5 clearly shows the wings of the synclinal fold marked in Fig. 3. According to the results of the analysis of remote sensing of the Earth's surface from satellites (Fig. 6), the synclinal fold resembles a semicircle in shape, located 300 m away from the coast and abutting with its ends against it. Analysis of the tack traversed parallel to the coast (1, Fig. 6) shows that this circumstance affects the shape of the sedimentary layers (Fig. 7). Profilogram record shows (Fig. 7) a synclinal fold and layers of bryozoan limestones.

CONCLUSION

Creation of technologies that allow conducting a comprehensive survey of vast areas of the seabed

upper part of the sedimentary strata in the area of work. The layers composing the upper part of the geological section are continuously folded (Fig. 2). The layers are crumpled into folds with a southwest trend. Fig. 2 shows a profilogram of a tack (1, Fig. 1), passed perpendicularly (left part of Fig. 2) and parallel to the coast (right part of Fig. 2).

Fig. 4. Profilogram of the seabed area parallel to the Tutaevev reef (45.14° N, 36.62° E). Scan area 3 in Fig. 1

Fig. 6. Satellite image with synclinal fold and trajectory (tacks) of the measuring vessel marked on it

using sonar technology is one of the main tasks of marine geology. Technologies should allow investigating the state of the seabed surface and the structure of the strata beneath it, looking for and finding heterogeneities and objects both at the bottom and in the soil layer. The studies have shown the high efficiency of the applied parametric profiler PGL-101 for the study and further development of ideas about the structure and properties of bottom sediments. The geological information obtained during the expedition can be used to create a unified geoacoustic model [14] of the Taman Peninsula, which summarizes the available geological, geophysical, hydrological and petrophysical data on the region. The research results will be of interest to geomorphological and paleogeographic studies of change and reconstruction of the geological appearance of the Taman Peninsula. The incompleteness of the remained written sources gives rise to ambiguous historical and geographical reconstructions of the landscape and geomorphological appearance of the Taman Peninsula [6]. The new obtained materials make it possible to assess the changes in the appearance of this part of the coast.

The use of hydroacoustic research technologies using a parametric profilograph will increase the efficiency of existing labor-intensive and expensive methods of environmental monitoring [15], based on direct sampling. Remote sensing methods make it possible to obtain data on the ecological state of the seabed over a fairly large area and significantly reduce time of work [11].

At present, most of water geological and archaeological works on the shelf and in inland water bodies of the Russian Federation are of a single nature. One of the reasons for this situation is the lack of domestic hydroacoustic devices that are not inferior to foreign samples in terms of characteristics. At the same time, the results obtained on the acoustic study of the seabed show the undeniable importance of this kind of research. They are promising for the development of complexes of various minerals in inland water bodies and the coastal zone of the sea [16], for archaeological and geocological research [6]. To achieve all of the above goals, it is necessary to use modern devices [10, 12], capable of providing information about objects both on the surface of the seabed and in the sediment layer.

REFERENCES

1. Kaevitser V.I., Krivtsov A.P., Razmanov V.M., Smol'yaninov I.V., Elbakidze A.V., Slovtsov I.B. [Underwater mud volcanoes in the Taman peninsula: sonar surveys]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of volcanology and seismology], 2016, no. 4, pp. 27–33. DOI: 10.7868/S0203030616040039 (In Russ.).
2. Kozhuhov I.V., Firsov Y.G., Gordienko N.Y. [Northern region of Russia as a zone of ecological risk and a new technologic stage in the Arctic exploration]. *Ekspluatatsiya morskogo transporta* [Journal Maritime Transport Operation], 2013, vol. 72, no. 2, pp. 73–78. (In Russ.).
3. Schreider A.A., Schreider A.I.A., Klyuev M.S., Evsenko E.I. [High-resolution geoacoustic system for geological and archaeological study of the bottom]. *Protsessy v geosredakh* [Processes in GeoMedia], 2016, no. 6, pp. 156–161. (In Russ.).
4. Dmitrevskiy N.N., Ananyev R.A., Libina N.V., Roslyakov A.G. [Utilizing a seismoacoustic complex for the study of the upper sedimentary stratum and seafloor relief in east arctic]. *Okeanologiya* [Oceanology], 2013, vol. 53, no. 3, pp. 412–417. DOI: 10.7868/S0030157413020019 (In Russ.).
5. Bolikhovskaya N.S., Gorlov Yu.V., et al. [The Taman Peninsula landscape and climate changes in the course of the recent 6000 years]. *Problemy istorii, filologii, kul'tury* [Journal of Problems of History, Philology, Culture], 2002, no. 12, pp. 257–271. (In Russ.).
6. Gorlov Yu.V. [Geographical situation on the Taman Peninsula in the second half of holocene]. *Problemy istorii, filologii, kul'tury* [Journal of Problems of History, Philology, Culture], 2008, no. 21, pp. 415–437. (In Russ.).
7. Popkov V.I. [The post-sedimentary character of development of intraplate dislocations as a reflection of impulsiveness of deformation processes]. *Geodynamics & Tectonophysics*, 2013, vol. 4, no. 3, pp. 327–339. DOI: 10.5800/GT-2013-4-3-0104 (In Russ.).
8. Shardanova T.A., Solovyeva N.A. [Influence of neotectonics and eustatics on the formation of deposits of the sarmatian, meotic and pontic stages of the Taman Peninsula]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya* [Bulletin of Moscow University. Series 4: Geology], 2006, no. 5, pp. 36–43. (In Russ.).
9. Balabanov I.P., Izmaylov Ya.A. [Changes in the level and hydrochemical regime of the Black and Azov seas over the past 20 thousand years]. *Vodnye resursy* [Water resources], 1988, no. 6, pp. 54–61. (In Russ.).
10. Soldatov G.V. [Defining the parameters of sediments remote sensing for environmental monitoring]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki* [News of SFedU. Engineering sciences], 2011, no. 9, pp. 88–93. (In Russ.).
11. Soldatov G.V., Tarasov S.P. [Hydroacoustic method for remote ecological seabed monitoring]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki* [News of SFedU. Engineering sciences], 2009, no. 10, pp. 228–233. (In Russ.).
12. Demidov A.I. et al. [Hydroacoustic systems for remote sensing of the bottom of reservoirs and water column]. *Sbornik dokladov IV Vserossijskoj konferencii "Radiolokaciya i radiosvyaz"* [Proc. of reports of the IV All-Russian conference "Radar and radio communication"]. Moscow, IRE RAN Publ., 2010, pp. 63–67. (In Russ.).
13. Matvienko Yu.V., Voronin V.A., Tarasov S.P., Sknarya A.V., Tutynin E.V. [The ways of the improvement hydroacoustic technologies for sea bottom investigations with using AUV]. *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika* [Underwater Investigations and Robotics], 2009, no. 2, pp. 4–15.
URL: http://jmtf.febras.ru/journal/2_8_2009/4_15.pdf (In Russ.).
14. Svininnikov A.I., Yaroshchuk I.O. [Geoacoustic modeling of the Sea of Japan shelf (for Possyet Bay taken as an example)]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], 2006, no. 3, pp. 85–93. (In Russ.).
15. Golovkina E.M., Nabozhenko M.V. [Contemporary condition of benthic communities of Kerch Strait (the Russian sector) and gulfs of the Taman Peninsula]. *Nauka Yuga Rossii* [Journal of Science of the South of Russia], 2012, vol. 8, no. 2, pp. 53–61. (In Russ.).
16. Boiko N.I., Korkoshko A.V. [Kimmeriantitanium-zirconium placers of Tamansky Peninsula]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2007, no. 1, pp. 20–24. (In Russ.).