

СТАТЬИ

УДК 551.46

**ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ
АКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ****Пронин А.А.***Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: pronin@ocean.ru*

Рассмотрены технические аспекты постобработки данных акустического профилирования толщи водонасыщенных донных отложений, получаемых с помощью буксируемых акустических профилографов, в частности акустического профилографа АП-5, разработанного в Институте океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук. Предложена методика «технического» дешифрирования первичных данных, которая позволяет значительно упростить процесс обмена материалами съёмки и их обработки, между специалистами разного профиля, участвующими в процессе интерпретации. Для обмена результатами работы предложено использовать программу Surfer, фирмы Golden Software, Inc., которая широко применяется в практике океанологических исследований и хорошо известна большому кругу специалистов различного профиля, работающих в сфере морских исследований. Приведены примеры обработки данных по предлагаемой методике на основе материалов, полученных при проведении прибрежно-морских экспедиций на шельфе полуострова Крым в 2017 г. на МНИС «Ашамба» и в 2018–2019 гг. на НИС «Пеленг». Показана целесообразность применения специальных цветографических обозначений и условных знаков при дешифрировании материалов акустического профилирования, что позволяет более полно отразить различные аспекты первичных данных с целью их использования специалистами, которые проводят дальнейшую интерпретацию.

Ключевые слова: донные осадки, акустическое профилирование, подводные буксируемые аппараты, шельф полуострова Крым, морские экспедиционные исследования

TECHNICAL ASPECTS POST PROCESSING DATE ACOUSTICAL PROFILING**Pronin A.A.***Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: pronin@ocean.ru*

The technical aspects of post-processing of acoustic profiling data for the thickness of water-saturated bottom sediments obtained using towed acoustic profilographs, in particular, the AP-5 acoustic profilograph developed at the Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov Russian Academy of Sciences. A technique of «technical» decoding of primary data is proposed, which allows to significantly simplify the process of exchanging survey materials and their processing between specialists of different profiles involved in the interpretation process. It is proposed to use Surfer, Golden Software, Inc., a company that is widely used in oceanological research practice and is well known to a wide range of specialists in various fields working in the field of marine research to exchange work results. Examples of data processing, according to the proposed methodology, based on materials obtained during the coastal-sea expedition on the shelf of the Crimean peninsula in 2017 at the MNIS «Ashamba» and in 2018-2019 at the R / V «Peleng» are given. The expediency of using special colorographic symbols and conventional signs for decoding of acoustic profiling materials is shown, which allows to more fully reflect various aspects of the primary data for the purpose of their use by specialists who conduct further interpretation.

Keywords: bottom sediments, acoustic profiling, underwater towed vehicles, shelf of the Crimean peninsula, marine expeditionary studies

В настоящее время при проведении океанологических исследований все более широкое применение находят технические средства акустического зондирования – эхолоты, гидролокаторы бокового обзора и акустические профилографы. Акустическое профилирование толщи водонасыщенных донных отложений является одним из основных методов, применяемых при изучении подповерхностного строения донного грунта. В нашей стране аппаратура для проведения акустического профилирования дна для научных исследований, впервые была создана и применена Н.А. Римским-Корсаковым [1]. В 1990-х гг. началось применение

аппаратуры для акустического профилирования на реках и других внутренних водоемах [2], для решения как научных, так и прикладных задач.

В последующие десятилетия эта область получила бурное развитие, в настоящее время акустические профилографы (преимущественно зарубежного производства) имеются на научно-исследовательских судах, а также во многих организациях, выполняющих изыскательские работы, связанные со строительством гидросооружений, обслуживанием нужд нефтегазового комплекса и другими задачами.

Использование акустического профилирования доказало свою эффективность для

проведения работ различного назначения, как научно-исследовательских, так и прикладного характера – для изыскательских целей, поиска и пр. Одним из наиболее востребованных направлений для применения подобных приборов являются геолого-геоморфологические исследования шельфа, эстуарных зон и русел рек.

Оптимальным для решения задачи наиболее полной и достоверной интерпретации данных акустического профилирования толщи донных отложений является его проведение группой экспертов – специалистов ряда отраслей знания – геологов, геоморфологов, биологов, инженеров и др., которые в процессе непосредственного общения могут обмениваться информацией. При проведении крупных комплексных экспедиций, на больших научно-исследовательских судах, так и поступают при интерпретации данных наиболее интересных, ключевых участков. Во всех остальных случаях приходится обрабатывать данные последовательно, передавая материалы от специалиста к специалисту.

В Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН довольно давно известна и широко применяется методика обработки комплекса данных, полученных с помощью эхолотирования, гидролокационной съемки поверхности дна и акустического профилирования толщи донных отложений [3–5]. При многочисленных положительных качествах этой методики, ограничением ее применения является наличие специального программного обеспечения (ПО), которое даже при свободном его распространении, не всегда применяется специалистами смежных областей, так как требует времени и определенных усилий для его освоения. С другой стороны, в научной практике известно применение специалистами различных отраслей знания одного и того же программного пакета для обработки и представления результатов исследований. В частности, в области наук о Земле к такому ПО можно отнести программу Surfer, фирмы Golden Software, Inc. Эту программу используют практически все специалисты, работающие в области океанологии. Она широко применяется в гидрофизике, гидрохимии, экологии донных сообществ и других дисциплинах для обработки и представления данных по разрезам. Таким образом, целью данной работы было создание методики последовательной обработки данных акустического профилирования, в которой предусматривается, что обмен данными и суммирование результатов происходит в общеизвестной программе Surfer, а отдельные

участники процесса могут применять специализированное ПО.

Материалы и методы исследования

В данной статье описана методика обработки данных акустического профилирования, выполненная на шельфе Крыма в 2017–2019 гг., в экспедициях на МНИС «Ашамба» и НИС «Пеленг» на примере 8-й версии программы Surfer. Это связано с тем, что в силу известных причин не все научные учреждения могут своевременно обновлять применяемое ПО. Тем не менее ее возможностей вполне хватает для качественной постобработки данных, хотя применение современных версий, несомненно, делает работу более удобной, быстрой и обладает рядом дополнительных возможностей. Описываемая методика не является исчерпывающей и описывает только первый, «технический» этап обработки данных, который осуществляется специалистами в области подводной техники. Результатом их работы является представление полученных данных в виде удобном и понятном для специалистов других направлений – геологов, геоморфологов, биологов и т.д. Кроме программы Surfer, на этом этапе используется специализированное ПО – Ehograf, Winrastr и KRAVCH-1, созданное специалистами ИО РАН им. П.П. Ширшова.

Результаты исследования и их обсуждение

На начальном этапе обработки общую информацию о полученных файлах данных необходимо систематизировать в таблице. Начинать её построение желательно во время выполнения съемки. Наиболее важной информацией в таблице являются координаты начала и конца файлов, входящих в разрезы. Причем они необходимы в географической, прямоугольной и линейной (метры от начальной точки разреза) системах координат. Также таблица должна содержать данные о диапазоне работы профилографа, курс (путевой угол), скорость и т.д. Важными являются сведения о маневрах судна, которые могут быть вызваны ситуациями, связанными с безопасностью судоходства, расхождением судов и т.п. Отсутствие этих сведений может привести к существенным ошибкам при интерпретации данных. При заполнении таблицы производится сверка данных со схемой (картой) галсов, которую удобно строить в программе Surfer, используя опцию Post map, которая позволяет строить карты «точек наблюдений», в нашем случае точек, где есть определения спут-

никовой системы навигации во время выполнения съёмки. Для их построения используются файлы с расширением .nav, которые автоматически создаются в процессе движения по галсу программой «Ehograf». Отбраковываются файлы, где существенно менялись скорость и направление движения судна. При необходимости их можно будет использовать позже, если, по результатам дешифрирования, возникнут вопросы, разрешить которые можно только с использованием данных, содержащихся в этих файлах. Далее файлы, которые признаны безоговорочно годными, обрабатываются в программе «Winrastg» или KPAVCH-1, в зависимости от вида оборудования, с помощью которого производилась съёмка. В этих программах, с учетом навигационной привязки, строятся масштабированные файлы изображений толщи донных отложений в графических форматах BMP или JPEG, которые затем импортируются в Surfer. Для программы Winrastg их удобно строить в черно-белой палитре, где максимуму сигнала соответствует черный тон. Программы «Winrastg» и KPAVCH-1 позволяют создать на профилограммах сетку графления по глубине и расстоянию, но удобнее это сделать позже, в программе «Surfer». Полученные изображения толщи донных отложений импортируются в программу «Surfer» с помощью команд Plot – Map-Base Map. Координаты импортированных изображений «Surfer» строят в условной системе координат, которая зависит от характеристик исходного .bmp файла и не связана с навигационными параметрами. Эту систему координат необходимо преобразовать в прямоугольную систему координат с осями оцифрованными в метрах (или в метрах для шкалы глубин и километрах для шкалы расстояний). Для этого используются вкладки Property – Base Map. Для оси расстояний это не представляет труда, просто для данного файла подставляются значения в метрах начала и конца части разреза из таблицы исходных данных. Для оси глубин эта операция немного сложнее. Необходимо началу развертки профилографа на изображении присвоить значение заглупления антенны, а концу – максимальное значение диапазона развертки. В общем случае, граница импортированного изображения может не соответствовать началу развертки, тогда, с помощью функции Map-Digitaze определяют координату положения антенны в условных единицах. Далее определяется величина диапазона развертки в условных единицах (как разность максимального значения ди-

апазона и значения координаты антенны). После этого определяется коэффициент пересчета от условных единиц к метрам и вычисляется значение нуля условной системы координат в метрах (оно может быть отрицательным). Далее эти операции продельвается последовательно со всеми файлами разреза, и результаты сохраняются в отдельной папке. Следует сказать, что файлам и папкам необходимо присваивать осмысленные имена, информирующие об их содержимом и этапе обработки. В противном случае через некоторое время будет трудно разобраться в большом количестве файлов. Алгоритм присвоения имён желательно описать в отдельном файле Read me, где будет сохраняться сопутствующая информация о ходе обработки данных. Следующим шагом, после перевода всех файлов разреза в линейную систему координат, будет оцифровка поверхности дна и границ слоев донных отложений, которая выполняется с помощью функции Map-Digitaze. Выполнение оцифровки поверхности дна и акустических границ между слоями донных отложений возможно в нескольких вариантах. Наиболее правильным является вариант, когда акустические изображения из отдельных файлов собираются в один суммарный и по нему проводится оцифровка слоев. На практике это не всегда выполнимо, если данные имеют большой объем. В этом случае оцифровку целесообразно проводить, оцифровывая каждый слой последовательно по всем файлам разреза, начиная с поверхности дна (рис. 1).

В процессе получения фрагментов профиля разреза их необходимо собирать в отдельном окне плот документа. Это необходимо для недопущения ошибок в обработке отдельных файлов, которые будет трудно выявить в суммарном файле. При этом удобно иметь рабочую систему, в которой каждый файл и каждый слой имеет свое цветографическое обозначение. Иногда возникают затруднения при стыковке слоев оцифрованных в отдельных файлах. В этом случае удобно поместить на плот сборки отдельное изображение, которое оцифровывается, что позволит легче выявить залегание слоев.

При оцифровке необходимо учитывать, что на изображениях могут присутствовать артефакты, которые могут искажать реальную картину. Прежде всего, к ним надо отнести помехи связанные с изменением скорости и направлением движения судна, вследствие которых на записях могут появляться возвышенности и депрессии (рис. 3).

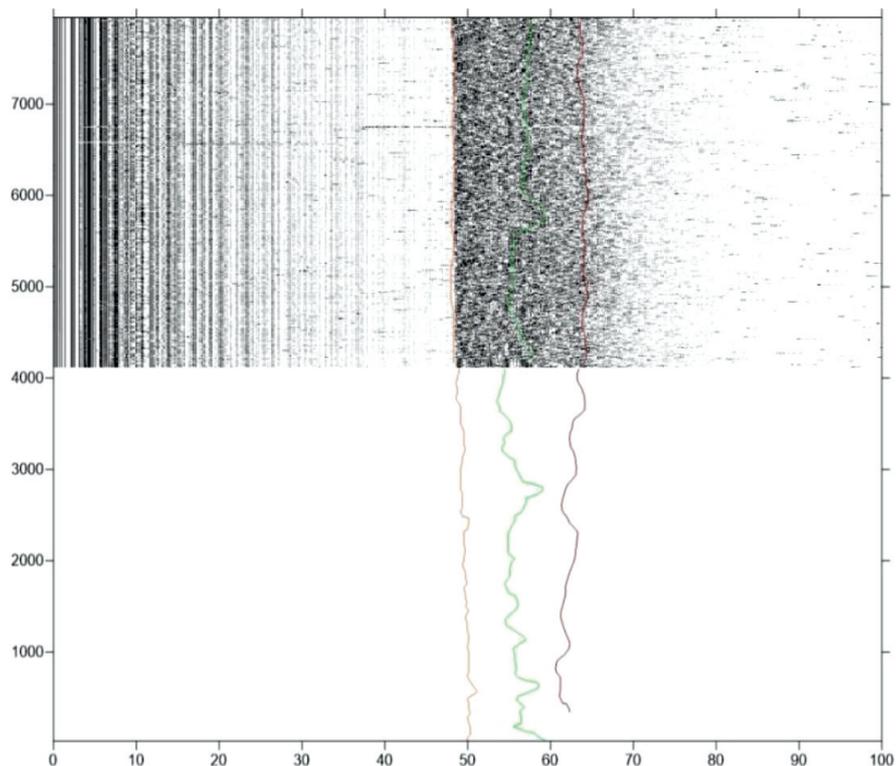


Рис. 1. Последовательная оцифровка отражающих границ на соседних файлах разреза. Слева шкала расстояний от начала разреза, внизу шкала глубин. Обе шкалы в метрах

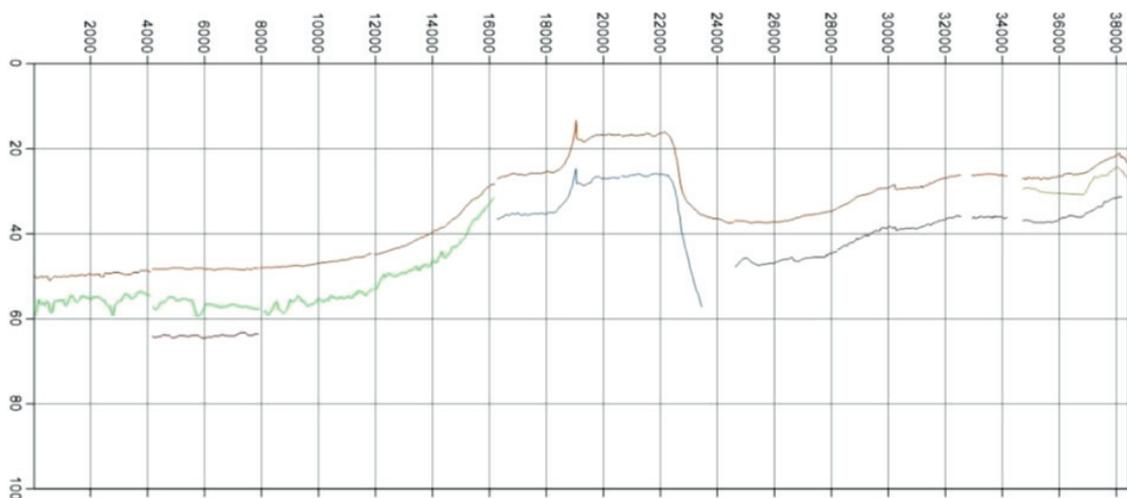


Рис. 2. Сводное изображение, выделенных при первичном дешифрировании отражающих границ. Шкала расстояния от начала разреза и шкала глубин заняли привычные места – расстояния по горизонтали, глубины по вертикали. Обе шкалы в метрах

При проведении работ на реках, в стеснённых акваториях, могут присутствовать помехи, создаваемые близко проходящими судами, гидротехническими сооружениями и т.п. Многие неоднозначные моменты, возникающие при обработ-

ке данных, позволяет прояснить информация, содержащаяся в специализированной литературе. В частности, при обработке материалов по шельфу Крыма существенно помогли сведения, содержащиеся в источниках [6–8].

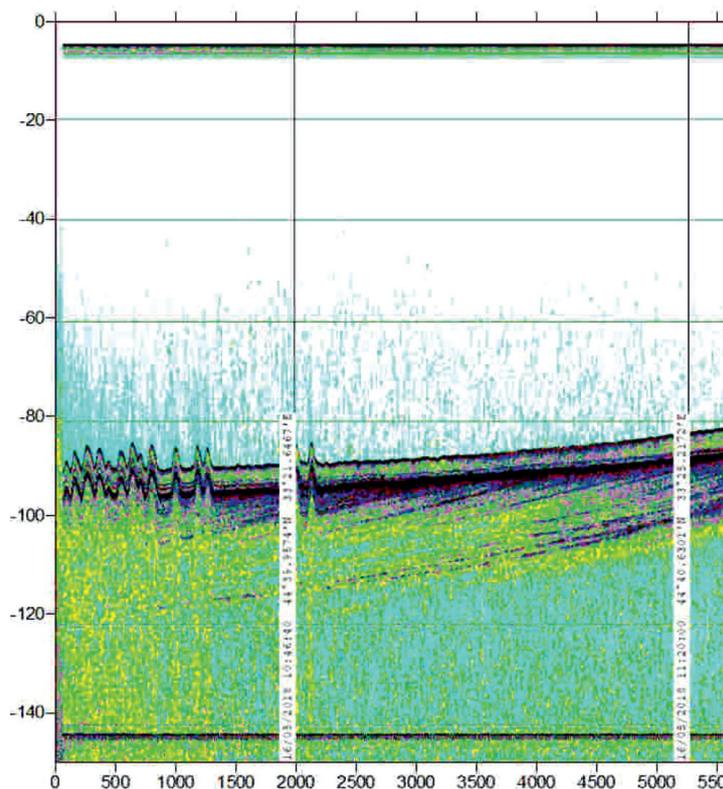


Рис. 3. Пример изображения помех, вызванных нестабильным движением подводного носителя

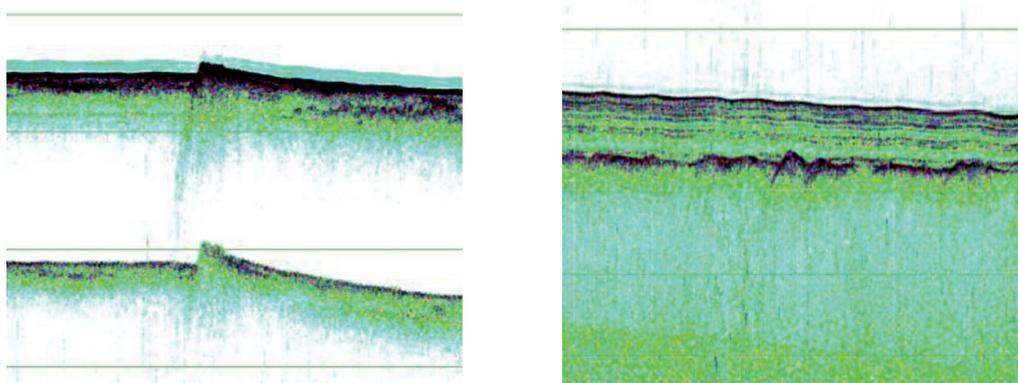


Рис. 4. Пример изображений объектов, которые не выражаются в масштабе разреза, но важны для понимания геолого-геоморфологической обстановки района. Проявления тектонических движений земной коры (разлом) на поверхности дна (слева); ряд разломов, погребенных в осадках (справа)

При оцифровке слоев оператор сталкивается с ситуациями, когда он обнаруживает объекты, которые не входят в системы классификации, которая принята в данном случае, или объекты не могут быть видны при принятом масштабе разреза. Такие аномальные объекты нельзя игнорировать, они могут существенно прояснить картину при последующем

анализе данных другими специалистами. Эти объекты можно показать условными знаками и в приложении к материалам дешифрирования дать их акустические изображения. Условными знаками также удобно отображать сопутствующую информацию, например типы донных грунтов, известных по данным пробоотбора или из других источников.

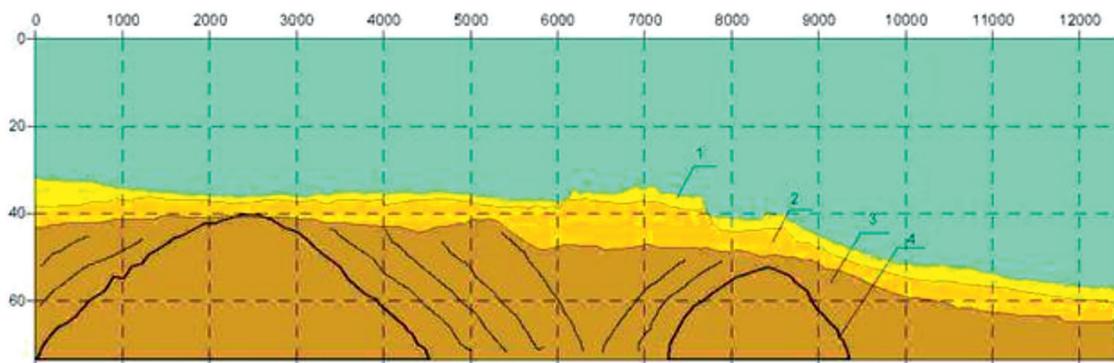


Рис. 5. Итоговый разрез, построенный с применением, описанной методики [9]. Геолого-литологический разрез внутреннего шельфа на Керченском полигоне в районе – мыса Кызыл-Аул. 1 – современные черноморские отложения (джеметинские и каламитские слои), 2 – древнечерноморские отложения (бугазские и новоэвксинские слои), 3 – коренные неогеновые породы (сарматские слои), 4 – диапировая складчатость

Материалы первичной обработки передаются для последующей работы специалистам геолого-геоморфологической направленности. В них входят: полученные схемы отражающих границ, изображения осадочной толщи, схемы планового положения галсов с расположением отдельных файлов акустического профилирования, схемы планового положения выявленных объектов и легенда их классификации. Файлы данных передаются в форматах принятых в ПО Surfer. При необходимости эти же файлы могут быть продублированы в известных графических форматах BMP или JPEG. На рис. 5 показан пример разреза, построенного по данной методике.

Выводы

Применение данной методики для первичной обработки материалов акустического профилирования толщи водонасыщенных донных отложений показало свою эффективность и удобство при совместной работе группы специалистов. К её положительным качествам нужно отнести возможность на любом этапе обработки вернуться к первичным данным и внести необходимые исправления.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0011) при частичной поддержке РФФИ (проект Арктика № 18-05-60070 и проект РГО-а № 17-05-41041).

Автор выражает благодарность Н.А. Римскому-Корсакову, В.Н. Коротаеву, В.В. Иванову за помощь и многочисленные консультации, а также коллегам – А.Д. Муттовкину, И.М. Анисимову и В.Ю. Кузьмину,

совместно с которыми проводились экспедиционные работы.

Список литературы

1. Римский-Корсаков Н.А. Особенности геологических исследований дна акустическими профилографами с борта подводных буксируемых аппаратов // Океанология. 1983. Т. XXIII. № 5. С. 887–892.
2. Коротаев В.Н., Зайцев А.А., Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А. Морфология русла и стратиграфия отложений в западной подсистеме водотоков дельты р. Волги // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1996. № 5. С.53–59.
3. Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А. О методологии исследований дна акваторий и водных объектов гидролокационными методами. ВИНТИ, 22.12.2010. № 718-B2010.
4. Бабич Д.В., Иванов В.В., Коротаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А. Инженерные изыскания при исследовании русловых процессов на Нижней Волге // Инженерные изыскания. 2014. № 2. С. 35–41.
5. Пронин А.А., Белевитнев Я.И., Сурин Н.М. Модернизация методики сбора, обработки и представления данных при исследовании морфолитодинамики русел рек и морских прибрежных акваторий // Современные методы и средства океанологических исследований: сб. ст. XIV международной научно-технической конференции (МСОИ 2015)». Т. 1. М., 2015. С. 297–301.
6. Авдеев А.И., Белокопытов В.Н. Морфометрические характеристики и расчлененность дна северной части Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 2011. № 4. С. 43–63.
7. Иванов В.Е. Особенности осадконакопления в устьях рек юго-западного Крыма в позднем плейстоцене и голоцене // Геология полезных ископаемых Мирового океана. 2014. № 1 (35). С. 94–107.
8. Yamko V. Geological and geomorphological factors and marine conditions of the Azov-Black Sea Basin and coastal characteristics as they determine prospecting for scaled prehistoric sites on the continental shelf. Quaternary Paleoenvironments. 2018. P. 431–478.
9. Иванов В.В., Коротаев В.Н., Мысливец В.И., Порохов А.В., Пронин А.А., Римский Корсаков Н.А., Тихонова Н.Ф. Геофизические и гидрографические изыскания на восточном шельфе полуострова Крым (Феодосия, Керчь, Анапа) // Океанологические исследования. 2018. Т. 46. № 1. С. 82–101.