

## СТАТЬИ

УДК 551.46.007

**ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
НА ШЕЛЬФЕ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ  
В 115-М РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»**

**<sup>1</sup>Римский-Корсаков Н.А., <sup>2</sup>Бурдян Н.В., <sup>1</sup>Лесин А.В., <sup>1</sup>Пронин А.А., <sup>1</sup>Анисимов И.М.**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru;*

<sup>2</sup>*Институт биологии Южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, e-mail: ibss@ibss-ras.ru*

В статье рассмотрены некоторые аспекты морских экспедиционных исследований морфологии рельефа и осадочного покрова дна внешнего шельфа полуострова Крым. Шельф равнинного Крыма имеет платформенную природу и относится к так называемому трансгрессивному типу, широко представленному в Мировом океане. Шельф же Горного Крыма представляет собой особую разновидность в связи с тем, что значительная часть Крымского мегантиклинория была в недавнее геологическое время опущена на дно Черного моря. Его рельеф и отложения формировались в ходе сложного взаимодействия тектонических движений, в том числе разрывных, среди которых есть сейсмогенерирующие, поэтому его исследование имеет значительное научное и практическое значение. Интерес представляют фрагменты затопленной гидрологической сети на шельфе, исследование которых позволяет решать проблемы развития речных долин Крыма. В связи с этим актуально изучение шельфа современными методами с упором на этапы его развития, запечатленные в рельефе, в донных отложениях и в верхней части геологического разреза. Очередной этап таких исследований был выполнен в декабре 2020 г. в 115-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Для исследований использовались сеймопрофилирующая система типа «спаркер», акустический профилограф, буксируемый гидролокатор бокового обзора и судовой эхолот. Получены новые данные о строении морского дна юго-восточного шельфа полуострова Крым.

**Ключевые слова:** Крым, шельф, разрывные тектонические движения, затопленная гидрологическая сеть, эхолот, гидролокатор, спаркер, акустический профилограф

**THE 115TH CRUISE OF THE R/V «PROFESSOR VODYANITSKY» GEOLOGICAL  
AND GEOPHYSICAL RESEARCH AT THE CRIMEAN PENINSULA SHELF**

**<sup>1</sup>Rimsky-Korsakov N.A., <sup>2</sup>Burdiyana N.V., <sup>1</sup>Lesin A.V., <sup>1</sup>Pronin A.A., <sup>1</sup>Anisimov I.M.**

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru;*

<sup>2</sup>*Kovalevsky Institute of Southern Seas Biology, Russian Academy of Science, Sevastopol, e-mail: ibss@ibss-ras.ru*

The article considers some aspects of marine expedition studies of the morphology of the relief and sedimentary cover of the bottom of the outer shelf of the Crimean peninsula. The shelf of the flat Crimea has a platform nature and belongs to the so-called transgressive type, which is widely represented in the World Ocean. The shelf of the Mountainous Crimea is a special kind due to the fact that a significant part of the Crimean mega anticlinorium was lowered to the bottom of the Black Sea in recent geological time. Its relief and sediments were formed during the complex interaction of tectonic movements, including discontinuous ones, among which there are seismic generating ones. Therefore, its research is of considerable scientific and practical interest. Fragments of the flooded hydrological network on the shelf are of interest, the study of which allows solving the problems of the development of the river valleys of the Crimea. In this regard, it is important to study the shelf by modern methods with an emphasis on the stages of its development, imprinted in the relief, bottom sediments and the upper part of the geological section. The next stage of such studies was carried out in December 2020 in the 115th flight of the NIS «Professor Vodyanitsky». For the research, a sparker-type seismic profiling system, an acoustic pofilograph, a towed side-view sonar and a ship's echo sounder were used. New data on the structure of the seabed of the south-eastern shelf of the Crimean Peninsula have been obtained.

**Keywords:** Crimea, shelf, discontinuous tectonic movements, submerged hydrological network, echo sounder, sonar, sparker, acoustic profiler

Исследования шельфа полуострова Крым и публикации результатов были сделаны более 25–30 лет назад. Большой фактический материал тех лет в основном посвящен изучению глубокой части геологического разреза шельфа и преимущественно носит нефте-газо-поисковый характер. Рельеф и отложения формировались в ходе сложного взаимодействия тектонических движений, в том числе разрывных, и экзогенных факторов – денудации и аккумуляции. Несмотря на существование об-

щих представлений о происхождении шельфа, многие особенности этого процесса пока не ясны и представляют собой крупную научную проблему. Среди разрывных нарушений шельфа и его обрамления есть сейсмогенерирующие. Поэтому его исследование представляет значительный научный и практический интерес. В специальном изучении нуждаются фрагменты затопленной гидрологической сети на шельфе, часто представляющие собой подводные продолжения заливов побережья. Некоторые во-

просы развития речных долин Крыма могут быть решены лишь при использовании результатов такого изучения. В настоящее время необходимо провести изучение шельфа современными методами и уделить повышенное внимание последним этапам его развития, запечатленным в рельефе, донных отложениях и верхней части геологического разреза. Кроме того, до недавнего времени прибрежный шельф в районах Севастополя и Балаклавы был закрыт для изучения. Между тем многие ключевые вопросы истории развития этого региона могут быть решены именно путем анализа материалов этих участков.

Основная цель исследований связана с необходимостью решения фундаментальной научной проблемы океанологии и морской геологии по изучению строения и истории формирования континентальной окраины, в частности шельфа полуострова Крым [1, 2].

В задачи исследования входят: эхолотный промер материковой отмели Крыма, гидроакустическое картирование дна и сейсмоакустическое зондирование шельфа, результаты которых позволят, в том числе, восстановить положение древней речной сети и определить связи береговых и субаквальных морфоструктур.

#### Материалы и методы исследования

На первом этапе исследований в 2020 г. были запланированы проведение экспедиционных океанографических и геофизических работ на участке материковой отмели Южного Крыма от Балаклавы до мыса Меганом и составление палеогеоморфологиче-

ской карты-схемы дна на участок материковой отмели Южного Крыма.

Полевые изыскания на этом этапе были выполнены в 115-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в период с 27 ноября по 17 декабря 2020 г. (21 сутки). Маршрут экспедиции представлен на рис. 1. На маршруте точками с номерами обозначены места станций. Вдоль маршрута велись геофизический эхолотный промер, сейсмоакустическое профилирование и гидролокационная съемка. Галсы промера на маршруте помечены коричневым цветом. Общая протяженность маршрутов геофизической съемки составила 443 морские мили.

Надо отметить, что использование для исследований океанского судна с неограниченным районом плавания позволило вести работы на всем протяжении и простиранности в глубину шельфа полуострова Крым при любом удалении от берега.

При выполнении полевых исследований был обеспечен уникальный диапазон характеристик геофизической съемки, начиная от нижней частоты диапазона сигналов зондирования сейсмопрофилографа типа «спаркер» 20 Гц и заканчивая рабочей частотой гидролокатора бокового обзора «ЙеллоуФинн» 400 кГц.

Для получения профилей рельефа дна вдоль маршрута движения судна при исследованиях морфологии рельефа дна использовался судовая навигационный эхолот FURUNO-FCV-2100L. Постоянный попутный промер глубин эхолотом позволил получать информацию о глубинах и оперативно корректировать ход геоморфологических исследований.

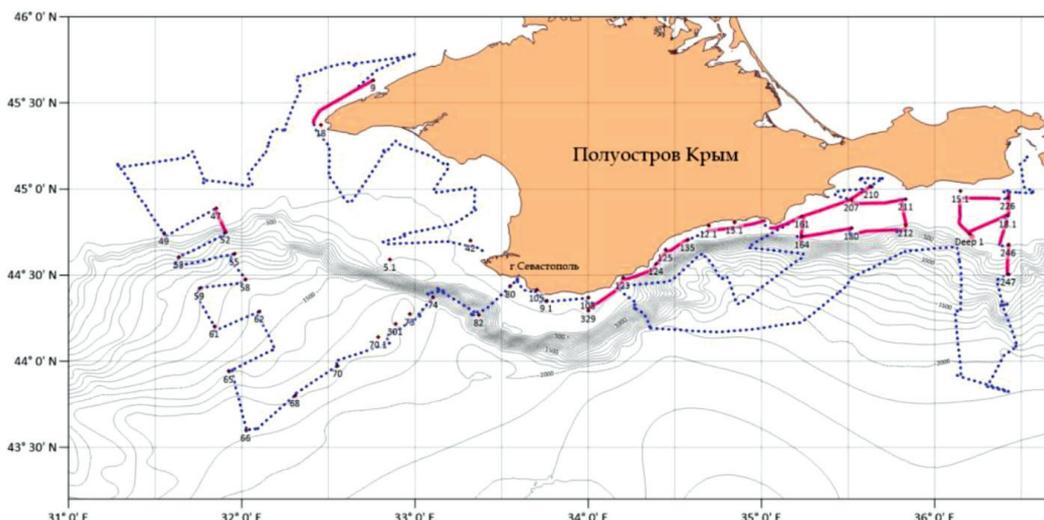


Рис. 1. Маршрут экспедиции 115-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Красным цветом выделены участки маршрута, на которых велось сейсмоакустическое зондирование

Любые морские работы и научные исследования имеют смысл, если получаемые при их выполнении данные обеспечены координатно-временной привязкой. В настоящее время привязка местоположения надводных плавсредств осуществляется исключительно с использованием космических навигационных систем (КНС). В отдельных случаях на стесненных фарватерах и внутренних водоемах для проводки судов используются радионавигационные системы и системы створных знаков.

На НИС «Профессор Водяницкий» в качестве судового приемника (СП) КНС используются две дублирующие друг друга навигационные системы: FURUNO GPS Navigator GP-80 и KODEN GPS/ГЛОНАСС навигатор KGP-925. Электронные блоки КНС установлены на капитанском мостике НИС, а приемные антенны – на специальных мачтах на пеленгаторной палубе. Навигационный пост оборудован судовой ПЭВМ с программой ДЕКАРТ НАВИГАТОР, служащей для сбора, обработки, отображения и хранения навигационной информации.

Для полного понимания современного строения континентальной окраины необходима информация о структуре слоев осадочных пород и коренного фундамента [3–5]. В целях получения таких данных широко применяются методы акустического профилирования и сейсмоакустического зондирования. Особенности работы с акустической аппаратурой заключаются в соблюдении баланса между глубиной проникновения зондирующего сигнала в осадочную толщу и разрешающей способностью получаемого отраженного сигнала. Для удовлетворения обоих этих требований необходимо использование методов исследований в нескольких диапазонах частот акустических волн: звуковых

и сейсмических. Обширные задачи, стоящие перед специалистами, исследующими геологическую историю полуострова Крым, обусловили необходимость развития геоакустический аппаратный комплекс для получения данных об осадочной толще на шельфе региона [6, 7].

Акустический профилограф (АП) АП-5Т предназначен для акустического зондирования верхней толщи рыхлых водонасыщенных осадочных отложений акустическими зондирующими импульсами с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Внешний вид буксируемой приемно-излучающей антенны АП приведен на рис. 2. Принцип действия прибора основан на проникновении мощных звуковых импульсов в донный грунт и формировании эхосигналов от границ раздела слоев осадков, различающихся по своим физическим свойствам. Измерения производятся на ходу судна. Отображение получаемой информации в реальном времени ведется на регистраторе со строчной разверткой, представляющем собой монитор ПЭВМ. Яркость строки пропорциональна амплитуде эхосигнала. Зондирующий акустический импульс излучается в направлении дна двумя кольцевыми пьезокерамическими преобразователями, образующими вместе с конусными рефлекторами антенну, установленную на обтекаемом буксируемом носителе. Следует отметить, что рассматриваемая буксируемая антенна может использоваться не только со штатным оригинальным судовым электронным блоком разработки ИО РАН, но и с приемно-излучающим блоком «Chirp II» фирмы DATASONICS, также генерирующим частотно-модулированные зондирующие сигналы и осуществляющим последующую корреляционную обработку эхосигналов.

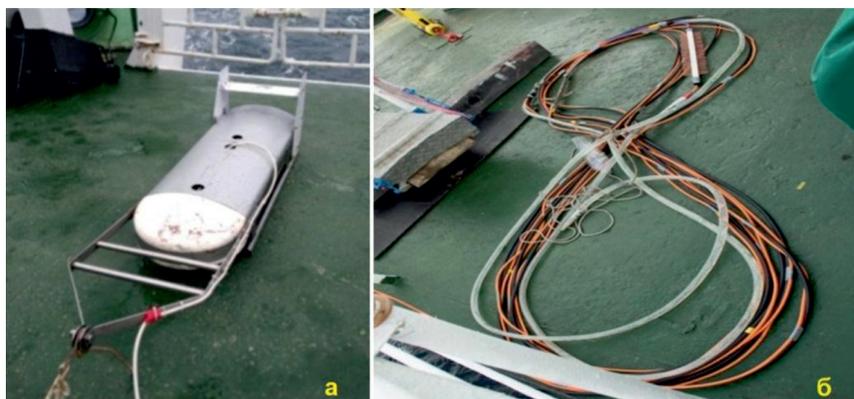


Рис. 2. Элементы геофизического комплекса на НИС «Профессор Водяницкий»: а – буксируемый носитель антенны акустического профилографа АП-5Т; б – приемная антенна (коса) с многоэлектродным излучателем МСИ-60 сейсмоакустического профилографа «Геонт-шельф»

В профилографе АП-5Т принятый акустический эхосигнал преобразуется антенной в электрический. Далее в судовом блоке осуществляется обработка принятого сигнала, и он поступает в ПЭВМ. Цикл «прием – передача» имеет частоту 1–2 Гц. Таким образом, при движении судна на экране ПЭВМ от строки к строке формируется изображение профиля осадочных отложений в диапазоне 750–375 м. Основные технические и эксплуатационные характеристики АП-5Т:

- несущая частота зондирующего импульса – 5 кГц;
- девиация частоты ЛЧМ сигнала – настраиваемая от 0 до 4 кГц;
- длительность импульса – настраиваемая от 1 до 9 мс;
- амплитуда зондирующего импульса – 500 В;
- пиковая электрическая мощность зондирующего импульса – 4,1 кВт;
- максимальная глубина погружения буксируемого носителя – 100 м;
- максимальная скорость буксировки – до 6 узлов;
- масса буксируемого носителя – 67,2 кг.

Сейсмоакустический профилограф (САП) ГЕОНТ-ШЕЛЬФ – «спаркер» – предназначен для получения геоакустической информации о строении осадочной толщи при геолого-геофизических исследованиях на акваториях. Рабочий диапазон частот прибора составляет 20–1200 Гц. Судовой приемо-передающий блок периодически запускает электроискровой низкочастотный источник зондирующих сигналов. В отличие от АП, в САП для приема эхосигналов используется приемная буксируемая коса (гидрофон (рис. 2)), которая принимает эхосигналы, отраженные от дна и подстилающих осадочных слоев, преобразует их

в электрические и передает их на вход приемного усилителя для регистрации данных на борту судна.

Сейсмоакустические сигналы проникают в осадочную толщу на глубину, определяемую мощностью конкретного излучателя. Отражающие границы появляются там, где имеется резкое изменение плотности в разрезе донных отложений. На этом явлении основан метод отраженных волн (МОВ). Трасса (строка, модулированная по яркости) – это результат одного излучения и приема отражения ряда волн от осадочной толщи на дне акватории. Длина развертки по времени меньше периода запуска излучателя. На экране монитора трассы поочередно справа налево набираются в пакет с периодом запуска излучателя и образуют оси синфазности, из которых в итоге получается изображенный разрез донных отложений по глубине во временных координатах.

Для глубин места (Крымского шельфа) до 200 м на основании результатов контрольного зондирования в 115-й рейсе НИС «ПВ» были приняты следующие параметры регистрации:

- энергия излучения не более 600 Дж при емкости накопителя  $C = 50$  Мкф;
- период излучения – 1 с;
- усиление – 2000;
- время регистрации – 600 мс;
- скорость судна не более 8 узлов.

Для обеспечения работы геофизических приборов на НИС «Профессор Водяницкий» использовались кормовая траловая лебедка со стальным тросом диаметром 5 мм (рис. 3а) и кормовая П-рама с подвешенным на ней канифас-блоком (рис. 3б). Траловая лебедка и П-рама применялись для спуска, подъема и буксировки носителя антенны акустического профилографа АП-5Т.

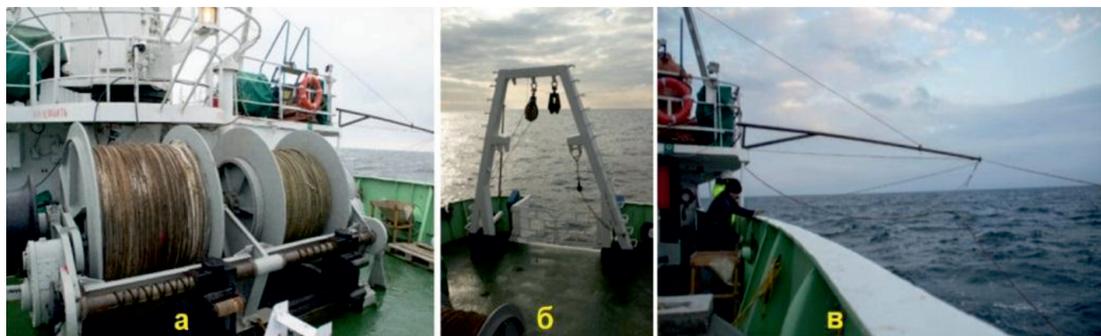


Рис. 3. Оборудование для спуска, подъема и буксировки геофизических приборов на НИС «Профессор Водяницкий»: а – кормовая траловая лебедка; б – кормовая П-рама; в – бортовой выстрел для буксировки излучателя и приемной антенны (косы) сейсмоакустического профилографа «Геонт-шельф»

Для буксировки приемной косы-гидрофона при выполнении сейсмоакустического профилирования с использованием электроискрового излучателя были изготовлены (электросваркой) специальный бортовой выстрел из двух стальных труб длиной 6 и 1,5 м диаметром 60 мм и укосины (рис. 4). Для установки основной трубы выстрела за бортом в горизонтальном положении, а также для запуска сейсмической косы была использована система оттяжек, которая при ослаблении натяжения позволяла зафиксировать выстрел над палубой в нерабочем

положении для безопасности палубных работ экипажа и маневрирования судна.

В процессе морских научных исследований на участке материковой отмели Южного Крыма от Балаклавы до мыса Меганом были получены важнейшие материалы и результаты, характеризующие строение шельфа. Получены сейсмогеологические разрезы осадочной толщи и эхолотные профили рельефа дна, участков преимущественно глубоководной части шельфа полуострова.

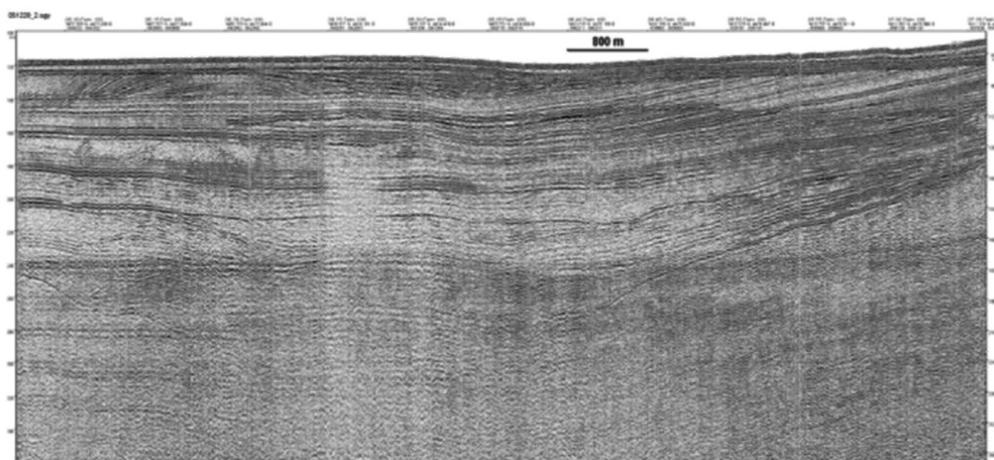


Рис. 4. Изображение разреза осадочных отложений внешнего шельфа на широтном маршруте вблизи Ялты от станции 329 до станции 123, полученное с помощью системы СПАРКЕР «Геонт-Шельф»

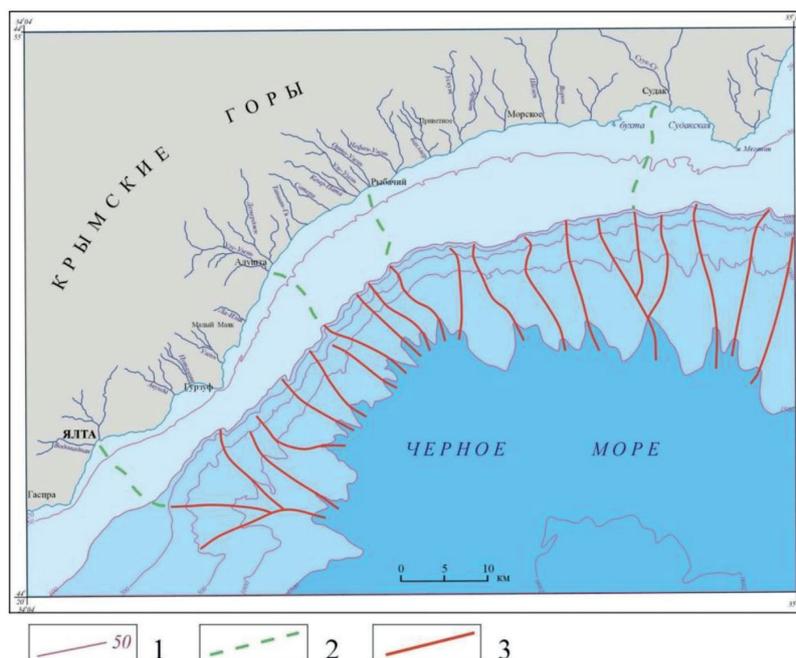


Рис. 5. Схема вероятного расположения палеодолин по данным сеймопрофилеирования и подводных каньонов на шельфе Южного Крыма (составлена В.Н. Коротавым). На рисунке обозначены: 1 – изобаты в метрах; 2 – палеодолины рек; 3 – тальвеги каньонов

На рис. 1 представлен маршрут экспедиции с помеченными галсами, на которых велось сейсмоакустическое зондирование с использованием сейсмопрофилографа типа «спаркер». Галсы сейсмопрофилирования помечены красным цветом. Общая протяженность маршрутов сейсмоакустического профилирования составляет 196 морских миль. На рис. 4 приведен сейсмоакустический разрез участка дна на маршруте от станции 329 до станции 123 в районе Ялты. На разрезе прослеживаются отражающие границы, соответствующие палеодолине реки Водопадная.

В ходе морских экспедиционных исследований были получены гидролокационные изображения и данные акустического профилирования актуальных участков шельфа полуострова Крым, позволяющие выявить и оценить направление и интенсивность переноса осадочного материала морфологически обособленных областей внешнего шельфа. На галсах на мелководных участках велась гидролокационная съемка с помощью гидролокатора бокового обзора «ЙеллоуФинн». Вдоль маршрута осуществлялся геофизический эхолотный промер. Общая протяженность маршрутов геофизического промера глубин – 443 морские мили. В результате выполнения полевых исследований, а также анализа фондовых и опубликованных данных составлена палеогеоморфологическая карта-схема дна на участок материковой отмели Южного Крыма (схема расположения древней гидрологической сети), представленная на рис. 5.

### Заключение

Полученные данные батиметрического, сейсмогеологического и геоморфологического картирования материковой отмели Крыма позволят повысить эффективность планирования инженерных изысканий,

а также оценок воздействия на экологию шельфа процессов возведения техногенных объектов, таких как подводные части причальных сооружений, укрепления берега и заграждений, буровые и добычные морские платформы, дамбы, подводные кабели и продуктопроводы, траншеи, карьеры, намывные массивы и пляжи.

*Работа выполнена в рамках государственных заданий (темы № 0128-2021-0011, № 0827-2019-0004 и № 0828-2020-0006) при поддержке РФФИ (проект № 20-05-00384 «А»).*

### Список литературы

1. Зенкович В.П. Берега Черного и Азовского морей. М.: Государственное изд-во географической литературы, 1958. 374 с.
2. Зенкович В.П. Морфология и динамика советских берегов Черного моря. Т. II (Северо-западная часть). М.: Изд-во АН СССР, 1960. 215 с.
3. Мысливец В.И. Динамика геоморфологических процессов в западной части Южного берега Крыма и антропогенный фактор // Пространство и время. 2014. № 2. С. 244–253.
4. Поротов А.В., Мысливец В.И., Зинько В.Н., Зинько А.В., Гайнанов В.Г., Зверев А.С. Развитие рельефа побережья Керченского пролива в районе мыса Камыш-Бурун в позднем голоцене (по данным геоархеологических и сейсмоакустических исследований) // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2014. № 2. С. 41–48.
5. Подымов И.С., Подымова Т.М. Статистические результаты исследований современных движений земной коры Азово-Черноморского побережья России // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XVI Всерос. научно-технической конференции. М.: ИД Академии Жуковского, 2019. Т. 1. С. 136–139.
6. Римский-Корсаков Н.А., Руссак Ю.С., Зарецкий А.В. Основные параметры процесса исследований дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований 2019. № 4. С. 38–43.
7. Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Мутовкин А.Д. Использование новейших технологий в исследовании осадочной толщи и рельефа дна западного шельфа Крыма // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XVI Всерос. научно-технической конференции. М.: ИД Академии Жуковского, 2019. Т. 1. С. 183–188.