

УДК 551.35 (262.5): 551.79

СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРЫМСКОГО ШЕЛЬФА МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОГО СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

© 2023 г. А. В. Хортов^{1,*}, Н. А. Римский-Корсаков¹, А. А. Пронин¹, А. Д. Мутовкин¹

Представлено академиком М.А. Федонкиным 17.05.2023 г.

Поступило 17.05.2023 г.

После доработки 22.05.2023 г.

Принято к публикации 23.05.2023 г.

Представлены результаты и технология сейсмоакустических исследований шельфа юго-восточной части Крыма, выполненные в 2020–2022 гг. сотрудниками Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, с использованием оригинального комплекса технических средств, включающего сейсмоакустический и акустический профилографы. Результаты обследования дали возможность рассмотреть положение палеодолин, выполнить сейсмостратиграфическую привязку отражающих горизонтов с выделением основных сейсмокомплексов в плейстоцен-голоценовой части разреза. Сейсмофациальный анализ волнового поля позволил уточнить палеогеографические условия формирования палеодолин.

Ключевые слова: шельф, Крым, осадочная толща, непрерывное сейсмоакустическое профилирование, спаркер, акустический профилограф, эхолот, гидролокатор, клиноформа, сейсмокомплекс, сейсмofация, отражающий горизонт, плейстоцен, голоцен

DOI: 10.31857/S2686739723601023, EDN: DXNJEM

ВВЕДЕНИЕ

Цель исследования связана с необходимостью решения фундаментальной научной проблемы океанологии и морской геологии по изучению строения и истории формирования морской континентальной окраины, в частности, шельфа полуострова Крым. Важной составляющей исследования является получение высококачественных сейсмоакустических профилей в пределах полигонов Крымского шельфа для обоснования стратиграфии и литологии отложений плейстоцен-голоценовых комплексов осадочных образований Черного моря. Исследования выполнялись отрядом Института океанологии РАН в экспедициях научно-исследовательского судна (НИС) “Профессор Водяницкий” (115, 116, 124 и 126-е рейсы) в 2020–2023 гг. в соответствии с Планом морских экспедиций на научно-исследовательских судах Минобрнауки России. При этом решались задачи промера глубин, непрерывного сейсмического профилирования и акустического зондирования осадочных отложений, а также па-

норманной съемки поверхности дна с помощью гидролокатора бокового обзора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для непрерывного сейсмопрофилирования использовался сейсмоакустический комплекс “Геонт-шельф” на основе электроискрового излучателя (“спаркер”) и приемной сейсмокося. Устройство и принцип работы комплекса подробно рассмотрены в статьях [1–3]. Информация, полученная с помощью сейсмоакустического комплекса “Геонт-шельф”, дополнялась данными акустического зондирования профилографом АП-5Т [4, 5].

ИЗУЧЕННОСТЬ РАЙОНА РАБОТ

Рассматриваемый регион расположен на стыке южного крыла мегантиклинория Горного Крыма и Черноморской впадины, включающей краевые прогибы Сорокина и Керченско-Таманский [6–9].

Район является сложным в тектоническом, геоморфологическом и седиментологическом отношениях объектом исследования. Он представляет собой погруженное южное крыло Крымского мегантиклинория, которое характеризуется

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: khortov.av@ocean.ru

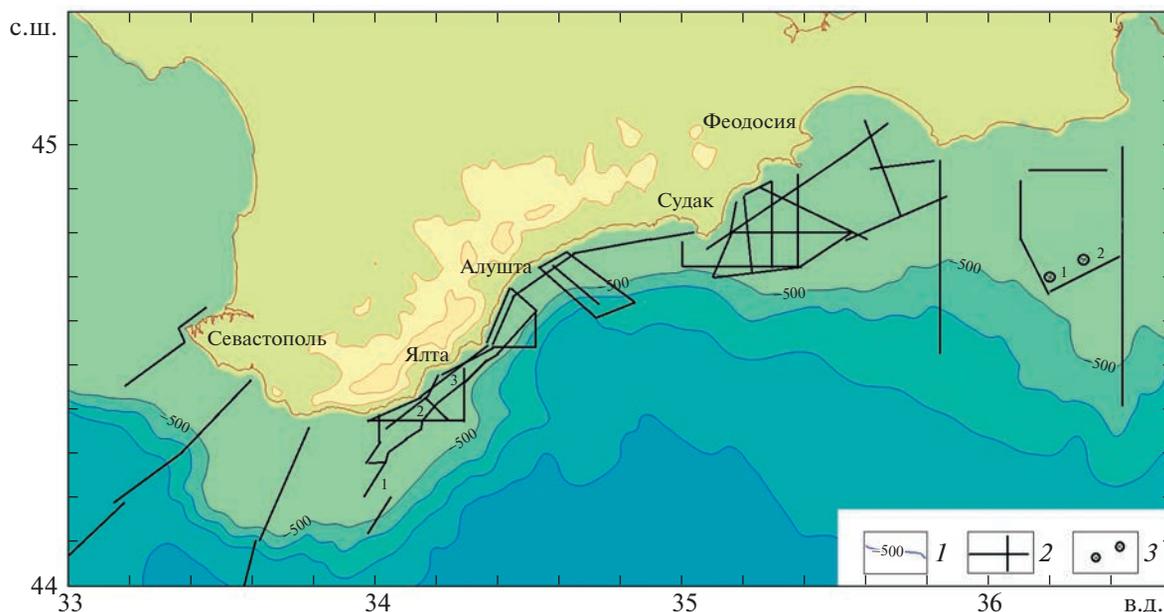


Рис. 1. Схема района исследований. Условные обозначения: 1 – изолинии глубин моря, м; 2 – профили НСАП; 3 – скважины ИГИ.

повышенной сейсмичностью и контрастным рельефом дна. На участке исследования мыс Сарыч–Ялта–Феодосия шельф выглядит как довольно узкий, континентальный склон крутой с углами наклона $10\text{--}20^\circ$ и прорезан многочисленными подводными долинами и тальвегами каньонов [10–12]. Подножие склона имеет оползневой облик и служит местом разгрузки мутьевых потоков.

За несколько десятилетий исследований крымского шельфа накопились региональные данные о строении осадочной толщи, выявленные путем интерпретации сейсмических материалов и данных инженерного бурения. По ним установлены глубина залегания и морфология поверхности таврической серии, мощность и особенности строения плиоцен-четвертичных отложений; сделаны выводы об особенностях осадочного процесса в четвертичное время [13–15].

В результате интерпретации съемок непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП) и эхолотных промеров (рис. 1) установлены основные черты морфологии, направления и густоты подводных долин; произведена их типизация.

По результатам многочисленных опробований дна грунтовыми трубками и данных инженерно-геологического бурения изучены общие особенности строения разрезов верхнечетвертичных осадков, их состав и условия образования [16–19].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сейсмоакустические исследования с различным разрешением по вертикали, проведенные в крымском секторе Черноморской впадины, позволили выявить строение верхней части осадочного разреза на глубину до 300 м. На основе сейсмостратиграфического анализа здесь выделена серия сейсмических комплексов неоген-голоценового возраста. По данным НСАП, на шельфе в районе Алушки в нижней части разреза хорошо видна поверхность таврической серии (отражающий горизонт V (ОГ-V)), которая у южных берегов Крыма является поверхностью акустического фундамента. Она погружается от береговой зоны, где выходит на дно, к бровке шельфа, где залегает на глубине несколько сотен метров (рис. 2).

Выше со стратиграфическим и угловым несогласием залегает слоистая толща, ограниченная отражающими горизонтами ОГ-А–ОГ-А6, с субпараллельными протяженными, местами клиноформенными, бугристыми отражающими горизонтами. Мощность толщи на шельфовом участке района исследования достигает 150 м.

В пределах крымского шельфа уверенно выделяются семь основных сейсмокомплексов (СК), отождествляемых с голоценовыми (древнечерноморскими и новочерноморскими –IVdc-nc) отложениями, новоэвксинскими (III4ne), карангатско-узларскими (III3 kg-III1-6 uz) и древнеэвксинско-чаудинскими (Ide-cd) отложениями.

В склоновой части эти отложения размыты, и на поверхность дна выходят более древние апшеронские породы; породы таврической серии (ОГ-V),

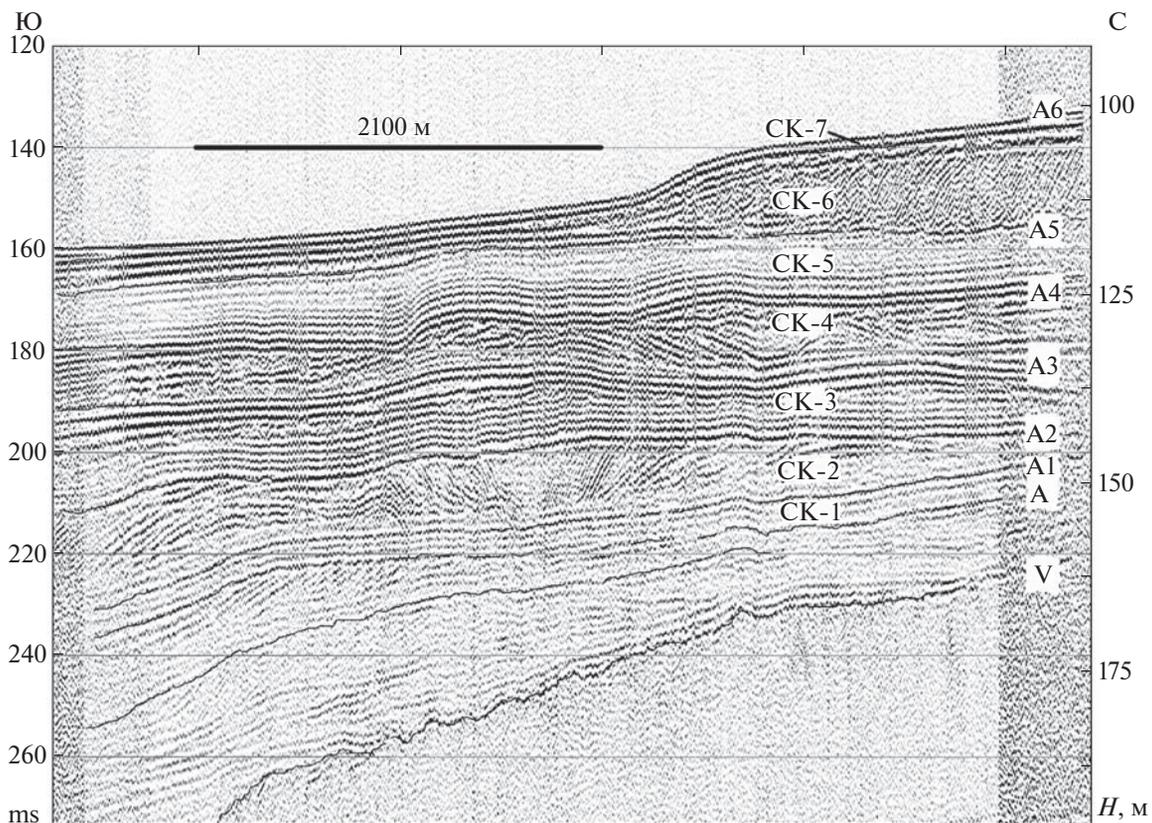


Рис. 2. Фрагмент профиля 1 НСАП в районе Алушки, показывающий сейсмокомплексы в шельфовой части района исследования. Положение профиля 1 показано на рис. 1.

которые у южных берегов Крыма, как отмечалось, являются поверхностью акустического фундамента.

В пределах осадочной толщи выделяются несколько поверхностей размыва. Во внешней части шельфа с ними связаны крупные аккумулятивные клиноформы. Судя по косослоистой записи (многочисленные косо наклоненные отражающие горизонты), они сложены грубозернистыми прибрежными фациями, которые образовывались в периоды низкого стояния уровня моря в ледниковые эпохи плейстоцена [20–22].

На сейсмоакустических профилях НСАП рейсов 115, 116 и 124 НИС «Профессор Водяницкий» в пределах траверса мыс Ай-Тодор–Ялта–Алушта выявлены погребенные палеоруслу с характерной U-образной формой. Одно из зафиксированных палеорусел на меридиане мыса Ай-Тодор (Ласточкино Гнездо) плейстоценовой палеодолины показано на рис. 3.

Другое плейстоценовое палеоруслу, зафиксированное на меридиане города Ялта, показано на рис. 4. К погребенному руслу приурочены скопления газа, который в сейсмическом поле выражаются в виде аномалий, типа «яркое пятно».

Еще одно палеоруслу обнаружено на шельфе Крыма южнее города Алушта, на широте поселка Малый Маяк.

Плейстоценовые палеоруслу Ай-Тодорское, Ялтинское и Маячное представляют, по-видимому, разветвленную сеть палеодолины реки Водопадная.

На приведенных разрезах НСАП отчетливо выделяются следующие сейсмокомплексы:

СК-7, ограниченный в разрезе сейсмическими горизонтами А6 и поверхностью дна, слагают новочерноморские (IV \check{v} č) и древнечерноморские (IVdč) слои голоцена, представленные илами с ракушкой и текучими глинами с органикой (суммарная мощность слоя по данным опробования и бурения на площадке ИГИ составляет 0.75–1.18 м). (табл. 1).

В открытом море подводный склон покрывается полосой средне- и мелкозернистых песков, иногда – с большим количеством ракушки. Пески переходят в песчанистые и алевропелитовые илы, которые слагают большую часть шельфа.

Грунтовые трубки на шельфе проходят 3 м, не достигая подошвы новочерноморских отложений. По-видимому, мощность их достигает иногда 10 м. Древнечерноморские илы – терриген-

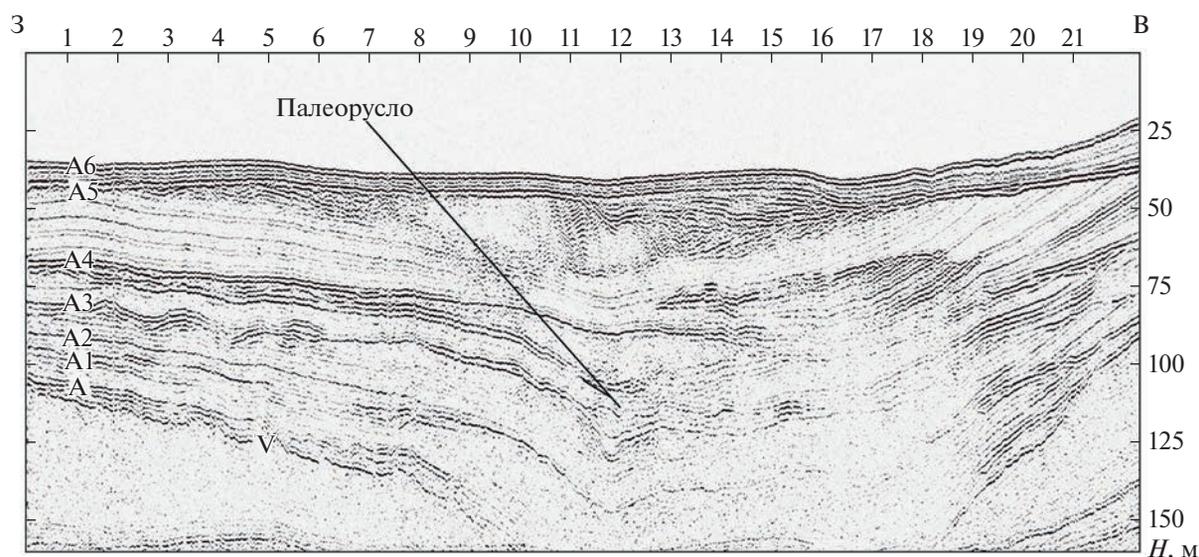


Рис. 3. Фрагмент профиля 2 НСАП, показывающий палеорусло в районе мыса Ай-Тодор. Положение профиля 2 показано на рис. 1.

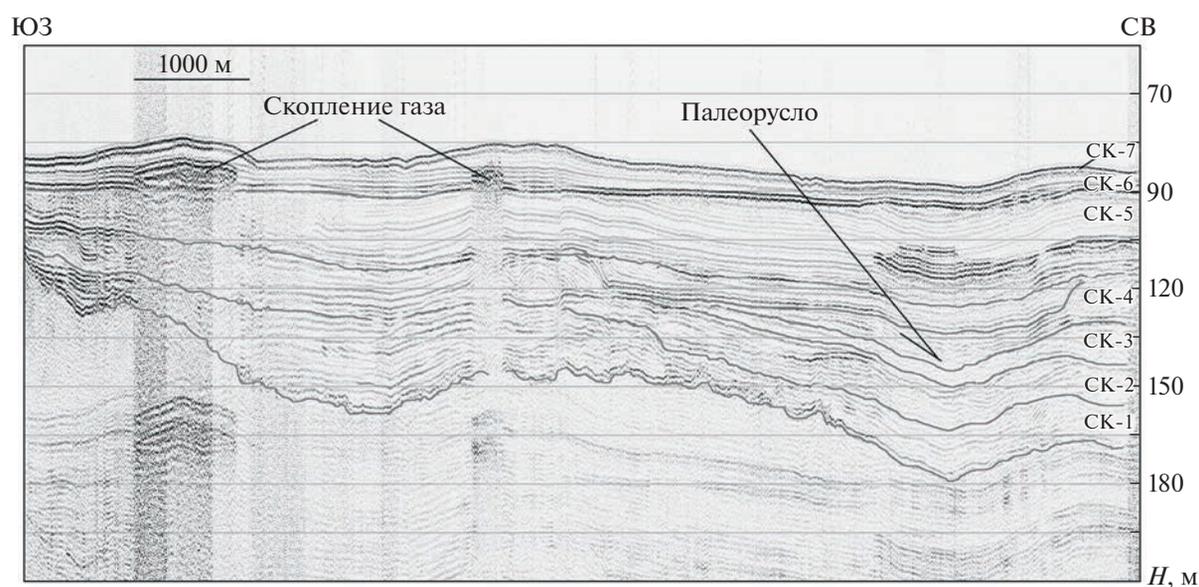


Рис. 4. Фрагмент профиля 3 НСАП, показывающий палеорусло на меридиане города Ялта. Положение профиля 3 показано на рис. 1.

ные (темно-серые, бурые, до светло-бурого сапропелевые и желтовато-серые, темно-желтые и темно-коричневые – сапропелевидные) иногда с прослоями темно-серого среднезернистого песка с резким ровным контактом; залегают на новоэвксинских осадках.

В сейсмической записи СК-7 выглядит как покровно-облекающая фация, нивелирующая рельеф подстилающих отложений.

СК-6, ограниченный в разрезе отражающими горизонтами ОГ-А6 и ОГ-А5, представлен:

– поздними новоэвксинскими слоями (Шне²) – текучие суглинки и глины, тонким слоем переменной мощности, подстилающие черноморские слои и нивелирующие неровности эрозионной поверхности в подошве;

– ранними новоэвксинскими слоями (Шне¹) – мягкопластичные глины с прослоями песка, содержащего включения ракушки и гальку (глины соответствуют развитию трансгрессии новоэвксинского бассейна, а песок с ракушкой – временной остановке трансгрессии). Запись довольно

Таблица 1. Стратиграфия плейстоцен-голоценовых отложений района работ

| Сейсмокомплексы | Стратиграфия слоев по определению фауны скв. Глубокая 2 | Индексы | Уровень подошвы слоев от поверхности дна, м |
|-----------------|---|--------------------|---|
| СК-7 | Новочерноморские | IVnč | 0.40–0.75 |
| СК-6 | Древнечерноморские | IVdč | 0.75–1.20 |
| | Поздние новоэвксинские | IIIne ² | 1.40–1.80 |
| СК-4 | Ранние новоэвксинские | IIIne ¹ | 4.55–17.15 |
| СК-3 | Узунларские | IIuz | 20.85–35.60 |
| СК-3 | Древнеэвксинские | Iде | 39.25 > 50 |

высокоамплитудная, от параллельно-слоистой до пологоволнистой, местами с линзовидным рисунком отражений. Образует клиноформное аккумулятивное тело с косослоистой записью.

СК-5, ограниченный в разрезе отражающими горизонтами ОГ-А5 и ОГ-А4, соответствует полному карангатскому ритму осадконакопления верхнего неоплейстоцена (IIIkg), включающему осадки мелководных и глубоководных фациальных зон. В шельфовой части на фоне параллельно-слоистых отражений в пределах комплекса регистрируются линзовидные тела с косослоистыми отражениями. Сейсмокомплекс местами представлен хаотическими сейсмофациями с отдельными слабыми отражениями. Залегает несогласно на нижележащих отложениях конуса, заполняя неровности рельефа.

Глубже залегающие сейсмокомплексы соответствуют отложениям более древних неоплейстоценовых этапов существования черноморского бассейна:

СК-4, ограниченный в разрезе сейсмическими горизонтами А4 и А3, соответствует узунларскому этапу и характеризуется параллельно-слоистой записью; несогласно залегает на подстилающих отложениях, формирует аккумулятивное тело с налеганием на нижнюю часть материкового склона. Характер записи в пределах конуса – от бугристого до хаотического; выше по склону появляются слоистые сейсмофации.

СК-3, ограниченный в разрезе отражающими горизонтами А3 и А2, соответствует древнеэвксинскому этапу; отличается низкоамплитудной записью с сейсмофациальным рисунком отражений от бугристого-слоистого до слоистого. Верхняя часть иллюстрируется параллельно-слоистым типом записи с высокоамплитудными выдержанными отражениями. В пределах комплекса отмечены клиноформные аккумулятивные тела, связанные с отложением грубозернистых фаций в период регрессии.

СК-2, ограниченный в разрезе отражающими горизонтами ОГ-А2 и ОГ-А1, соответствует верх-

нечаудинскому этапу. Верхнечаудинские отложения представляют собой аккумулятивные валлообразные образования с хаотичной или мелкобугристой формой записи, отвечающей регрессивному циклу. Отложения сейсмокомплекса облекают неровности подстилающей поверхности.

СК-1, ограниченный в разрезе отражающими горизонтами ОГ-А1 и ОГ-А, представляет собой среднечаудинские отложения, несогласно залегающие на складчатое основание разреза таврической серии, отделенное от вышележащих слоев четко выраженной поверхностью размыва.

С учетом изученности верхней части грунтовой толщи соседних участков прилегающего южно-крымского и керченско-таманского шельфа, а также результатов исследований фауны остракод в ближайших к району работ скважинах “Глубокая-1” и “Глубокая-2” можно утверждать, что в строении разреза выделенных сейсмокомплексов участвуют голоценовые ново- и древнечерноморские грунты (СК-7), новоэвксинские грунты верхнего неоплейстоцена (СК-6), карангатские и узунларские (СК-5, СК-4) и древнеэвксинские (СК-3) отложения среднего неоплейстоцена.

Сейсмокомплексы СК-2 и СК-1 представлены, по-видимому, более древними, ранними неоплейстоценовыми отложениями чаудинского ритма.

Таким образом, выделенные сейсмокомплексы соответствуют неоплейстоценовым и голоценовым этапам существования черноморского бассейна.

Нижние слои, ограниченные отражающими горизонтами ОГ-А и ОГ-V, по-видимому, имеют неогеновый возраст.

ВЫВОДЫ

1. На юго-восточном шельфе Крыма, на траверсе Алупка–Ялта–Алушта, выявлена погребенная речная долина, прежде лишь намечаемая рядом исследователей по изобатам западин. Уточнить ее положение в пределах шельфа поможет

регулярная сеть профилей НСАП, выполнение которых планируется в следующих рейсах НИС “Профессор Водяницкий”.

2. Обнаруженная на шельфе юго-восточного Крыма палеодолина, по-видимому, связана с палеодолиной реки Водопадная. Выявленные палеорусла были зафиксированы по результатам 115-го рейса НИС “Профессор Водяницкий” и подтверждены работами 116-го и 126-го рейсов. В разрезе палеорусел выделяются семь сейсмо-стратиграфических комплексов (СК-1–СК-7), нижнеплейстоцен-голоценового возраста, слагающих разрез осадочного чехла юго-восточного шельфа Крыма.

3. Толща осадков, в составе сейсмокомплексов СК-1 и СК-2, представлена, отложениями единого ритма – длительного чаудинского трансгрессивного этапа (конец плиоцена–ранний плейстоцен) существования обширного солоноватоводного водоема чаудинского бассейна, который развивался в раннечаудинскую и позднечаудинскую эпохи. От последующего древнеэвксинского водоема чаудинский отделен глубокой и продолжительной регрессией, во время которой уровень моря упал на 40–60 м, что установлено по глубине врезания палеодолин на побережьях и шельфе по материалам НСАП. В период с начала среднего плейстоцена до первой половины позднего плейстоцена на месте Черного моря существовал обширный полуморской и морской водоем. По ряду характеристик бассейн резко отличался от предыдущего (древнеэвксинского) и последующего (новоэвксинского) водоемов. Зафиксированные на профилях НСАП косослоистые тела, представляющие собой аккумулятивно-абразионные образования, формировались в регрессивные эпохи, отвечающие четвертичным оледенениям.

4. При оценке разнородности слоистых пачек отложений в осадках, объединенных в составе сейсмокомплексов СК-3, СК-4 и СК-5 и определенного в скважинах ИГИ на структуре “Глубокая” возрастного диапазона накопления осадков, можно заключить, что период накопления отложений охватывает непрерывный этап истории существования осадочного бассейна (древнеэвксинского, узунларского, карангатского и посткарангатского). Этап раскрывает последовательность развития бассейна от солоноватоводного водоема к полуморскому и к нормально морскому.

5. Согласно данным бурения сейсмокомплекс СК-6 является новоэвксинским и фиксирует низкое стояние уровня Черного моря во время последней стадии валдайского оледенения. В это время формируются барьерные формы берегового рельефа. В ходе развития голоценовой трансгрессии эти барьерные формы распались на ряд локальных абразионно-аккумулятивных образо-

ваний, которые представляют собой серию древних генераций береговых валов.

6. Полученные в 115-м, 116-м, 124-м и в 126-м рейсах НИС “Профессор Водяницкий” батиметрические и сейсмогеологические данные по шельфу Крыма уточняют имеющиеся сеймо-стратиграфические и палеогеографические сведения о строении и плейстоцен-голоценовой истории развития акватории Черного моря.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам АО “Южморгеология” С.К. Шельтингу, А.А. Шейкову, Г.Е. Карпенко за ценные консультации.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования проведены в рамках государственного задания по темам № FMWE-2021-0010, № FMWE-2021-0004, а также при финансовой поддержке проекта РФФИ № 20-05 00384_А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мутовкин А.Д., Пронин А.А., Хорттов А.В. Сейсмоакустические исследования плейстоцен-голоценовых тложений Крымско-Керченского шельфа / В сборнике: Геология морей и океанов. Материалы XXIV международной научной конференции (школы) по морской геологии. 2022. С. 295–298.
2. Римский-Корсаков Н.А., Бурдиян Н.В., Лесин А.В., Пронин А.А., Анисимов И.М. Геолого-геофизические исследования на шельфе полуострова Крым в 115-м рейсе НИС “Профессор Водяницкий” // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 8. С. 38–43.
3. Римский-Корсаков Н.А., Бурдиян Н.В., Пронин А.А., Мутовкин А.Д., Лесин А.В., Тихонова Н.Ф. Технологии и результаты геолого-геофизических исследований в 116 рейсе НИС “Профессор Водяницкий” // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 11. С. 84.
4. Иванов В.В., Коротаев В.Н., Мысливец В.И., Поротов 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, издательство. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва), 2018. Т. 46. № 1. С. 82–101.
5. Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Хорттов А.В., Литвинюк Д.А., Коротаев В.Н., Поротов А.В., Мутовкин А.Д. Технологии и результаты сейсмоакустического профилирования на шельфе Крыма в 124 рейсе НИС “Профессор Водяницкий” // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 2. С. 37–43.
6. Андреев В.М., Шельтинг С.К., Глебов А.Ю., Неводниченко С.П. Государственная геологическая карта

- РФ масштаба 1:200000. Лист К-37-III (Долина Кумани). СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 48 с.
7. Хорттов А.В., Леончик М.И. Региональные сейсмо-разведочные работы МОГТ в Черном море // Океанология. 2018. Т. 58. № 4. С. 1–3.
 8. Хорттов А.В., Шлезингер А.Е. Глубинное строение и особенности образования Черноморской топодепрессии в связи с перспективами нефтегазоносности / Научно-технический сборник “Вести газовой науки”. 2015. № 2 (22). С. 63.
 9. The State Geological Map of Ukraine in the scale 1:200000, map sheets L-36-XXVIII (Evpatoriya), L-36-XXXIV (Sevastopol). Crimean Series. Explanatory Notes. Kyiv: State Geological Survey of Ukraine, SE “Pivdenekogeotsentr” – UkrSGRI, 2006 (2009). 182 p.
 10. Мысливец В.И. и др. Морфоструктура и строение осадочного покрова внутреннего шельфа Западного Крыма // Океанология. 2019. Т. 59. № 6. С. 1063–1073.
 11. Пасынков А.А., Вахрушев Б.А. Факторы и критерии морфоструктурного районирования и основные типы морфоструктур северо-запада Черного моря // Геоморфология. 2019. № 3. С. 68–82.
 12. Пасынкова Л.А. Каньоны континентального склона Черного моря // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского Серия География. 2013. Т. 26 (65). № 3. С. 260–266.
 13. Сорокин В.М., Курпин П.Н. О характере подъема уровня Черного моря в голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2007. № 5. С. 40–46.
 14. Сорокин В.М., Старовойтов А.В., Росляков А.Г. Осадочные процессы на континентальной окраине Крыма в Черном море // Вестн. моск. ун-та. сер. 4. Геология. 2009. № 1. С. 3–11.
 15. Щербаков Ф.А. Материковые окраины в позднем плейстоцене и голоцене. - М.: Наука, 1983. 213 с.
 16. Шнюков Е.Ф. и др. Литолого-стратиграфическая характеристика донных отложений крымского шельфа и глубоководной части Черного моря // Геол. журн. 2003. № 1. С. 9–23.
 17. Геологическая история Черного моря по результатам глубоководного бурения. Под редакцией Ю.П. Непрочнова. М.: Наука, 1980. 212 с.
 18. Программа работ по выполнению морских инженерных изысканий на участке недр Глубокая, расположенном на шельфе Черного моря. ООО “ЦМИ МГУ”. 2019. 309 С. istina.msu.ru/projects/264053847/
 19. Проведение камеральных и лабораторных геохимических исследований образцов, отобранных на участке недр Глубокая, расположенном на шельфе Черного моря. Отчет по договору 01-10-2019/ФР-1/3 (550). Ахманов Г.Г. и др. ЦМИ МГУ, 2020.
 20. Андреев В.М., Забелина В.В., Хахалев Е.М., Шельтинг С.К. Позднеплейстоценовый глубоководный конус выноса Кубани // Геология морей и океанов: Мат-лы XV междунар. науч. конф. (школы) по морской геологии. М., 2003. Т. 1. С. 186–187.
 21. Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 166 с.
 22. Янина Т.А. Биостратиграфия и корреляция плейстоценовых отложений Понто-Каспия // Геология морей и океанов. Т. 1. М.: ГЕОС, 2005. С. 260–261.

RESULTS OF SEISMOSTRATIGRAPHIC INVESTIGATIONS OF THE CRIMEAN SHELF BY THE METHOD OF CONTINUOUS SEISMO-ACOUSTIC PROFILING.

A. V. Khortov^{a,#}, N. A. Rimsky-Korsakov^a, A. A. Pronin^a, and A. D. Mutovkin^a

^a*P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: khortov.av@ocean.ru*

Presented by Academician of the RAS M.A. Fedonkin May 17, 2023

The article discusses the results of seismoacoustic studies of the shelf of the southeastern part of Crimea, carried out in 2020–2023 by employees of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS as a seismoacoustic profiler. The obtained data made it possible to refine the position of the paleovalleys, to perform a seismostratigraphic reference of the reflecting horizons with the identification of the main seismic complexes in the pleistocene-holocene part of the section. Seismic facies analysis of the wave field made it possible to clarify the paleogeographic conditions for the formation of paleovalleys.

Keywords: shelf, Crimea, sedimentary strata, continuous seismoacoustic profiling, sparker, acoustic profiler, echo sounder, sonar, clinoform, seismocomplex, seismic facies, reflecting horizon, pleistocene, holocene