

СТРОЕНИЕ ШЕЛЬФА КРЫМА ПО ДАННЫМ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ

© 2025 г. А. В. Хортов^{1,*}, А. А. Пронин^{1, **}, Н. А. Римский-Корсаков^{1, ***},
В. Н. Коротаев^{2, ****}, В. И. Руднев^{1, *****}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Географический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

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

**e-mail: pronin@ocean.ru

***e-mail: nrk@ocean.ru

****e-mail: vlastkor@mail.ru

*****e-mail: evsgeol@rambler.ru

Поступила в редакцию 10.04.2024 г.

После доработки 28.05.2024 г.

Принята к публикации 22.11.2024 г.

Представлены результаты сейсмоакустических исследований шельфа Крыма, выполненные в 2018–2023 гг. сотрудниками Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. По результатам сейсмостратиграфического анализа в осадочном чехле выделены семь сейсмокомплексов. Выделены трансгрессивные и регрессивные циклы в плейстоцен–голоценовое время и связанные с ними абразионно-аккумулятивные процессы. Обнаружены следы погребенных речных палеодолин и их продолжение в виде подводных каньонов на склоне и в абиссальной котловине. Основные закономерности смены литофаций верхнеплейстоцен–голоценовых отложений связаны с новейшими блоковыми движениями. Отмечены проявления дегазации, приуроченные к району повышенной сейсмичности.

Ключевые слова: шельф, Крым, непрерывное сейсмоакустическое профилирование, сейсмокомплекс, отражающий горизонт, бровка шельфа, каньон, палеорусло, плейстоцен, голоцен

DOI: 10.31857/S0030157425040151

ВВЕДЕНИЕ

Целью исследований стала необходимость детализировать положение морфоэлементов шельфа и склона, уточнить сейсмостратиграфическую привязку отражающих горизонтов в плейстоцен–голоценовой части разреза, а также рассмотреть неотектонические аспекты формирования материковой окраины Крыма. При этом решались задачи промера глубин, непрерывного сейсмического профилирования (НСАП) и акустического зондирования осадочных отложений, а также панорамной съемки поверхности дна с помощью гидролокатора бокового обзора.

Следует отметить, что близкие по целям исследования в этом районе проводились рядом научно-исследовательских организаций. Среди них следует выделить работы ГНЦ АО Южмор-

геология, Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова, Института геологических наук НАН Украины и др. [1, 2, 13, 20, 24, 25].

Важной отличительной особенностью выполненного исследования является получение высококачественных сейсмоакустических профилей в пределах полигонов Крымского шельфа для обоснования стратиграфии отложений плейстоцен–голоценовых комплексов осадочных образований Черного моря, установления связи береговых и субаквальных морфоструктур. Исследования выполнялись отрядом Института океанологии РАН в экспедициях научно-исследовательских судов (НИС) “Пеленг” Севастопольского отделения ГОИН и “Профессор Водяницкий” ФИЦ ИнБЮМ РАН (115, 116, 124 и 126-е рейсы) в 2018–2023 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 панорамной съемки поверхности дна с помощью гидролокатора бокового обзора (рис. 1). Полученные результаты перечисленных съемок интерпретировались с учетом данных инженерного и нефтегазопоискового бурения [15, 21, 25]. В результате интерпретации сейсмоакустических профилей на материковой окраине Крыма в интервале, соответствующем четвертичному периоду, были выделены семь основных сейсмокомплексов (СК), отождествляемых с плейстоцен–голоценовыми отложениями.

В процессе сейсмофациального анализа исследуемого интервала были установлены трансгрессивно–ретрессивные циклы. Было замечено, что ретрессивно–трансгрессивные процессы существенно влияли на условия осадконакопления. Образование при этом аккумулятивных тел связано с выдвижением дельт рек к внешнему краю шельфа во время низкого стояния уровня моря.

Анализ полученных сейсмических материалов также показал, что для района исследований характерна тесная связь геоморфологического и тектонического строения, а интенсивное проявление эрозионных, абразионно–оползневых и селевых экзогенных геологических процессов обусловлено современной активизацией тектонических движений. Активизация меридиональ-

ных и широтных глубинных разломов в позднем плейстоцене – голоцене определила блоковое строение шельфа. Под воздействием новейших тектонических процессов произошло заложение горстово–грабеновых структур материковой отмели. С новейшими блоковыми тектоническими движениями связаны закономерности смены литофаций верхнеплейстоцен–голоценовых отложений.

Выявленные зоны активной дегазации недр приурочены преимущественно к прибрежной части шельфа, находящейся в зоне повышенной сейсмичности, вблизи орогена Горного Крыма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для непрерывного сейсмопрофилирования (НСАП) использовался сейсмоакустический комплекс “Геонт–шельф” на основе электрического излучателя (“спаркер”) и приемной сейсмокосы. Глубинность применяемой методики наблюдения составляет 350 м. Устройство и принцип работы комплекса, включающие вопросы регистрации и обработки полученных данных, подробно рассмотрены в статьях [12, 16].

Информация, полученная с помощью сейсмоакустического комплекса “Геонт–шельф”, дополнялась данными акустического зондирования профилографом АП-5Т [9, 10, 15, 17]. Информативный интервал записи составляет 50 м.

При небольшой глубинности метода, для акустического профилирования характерна высокая

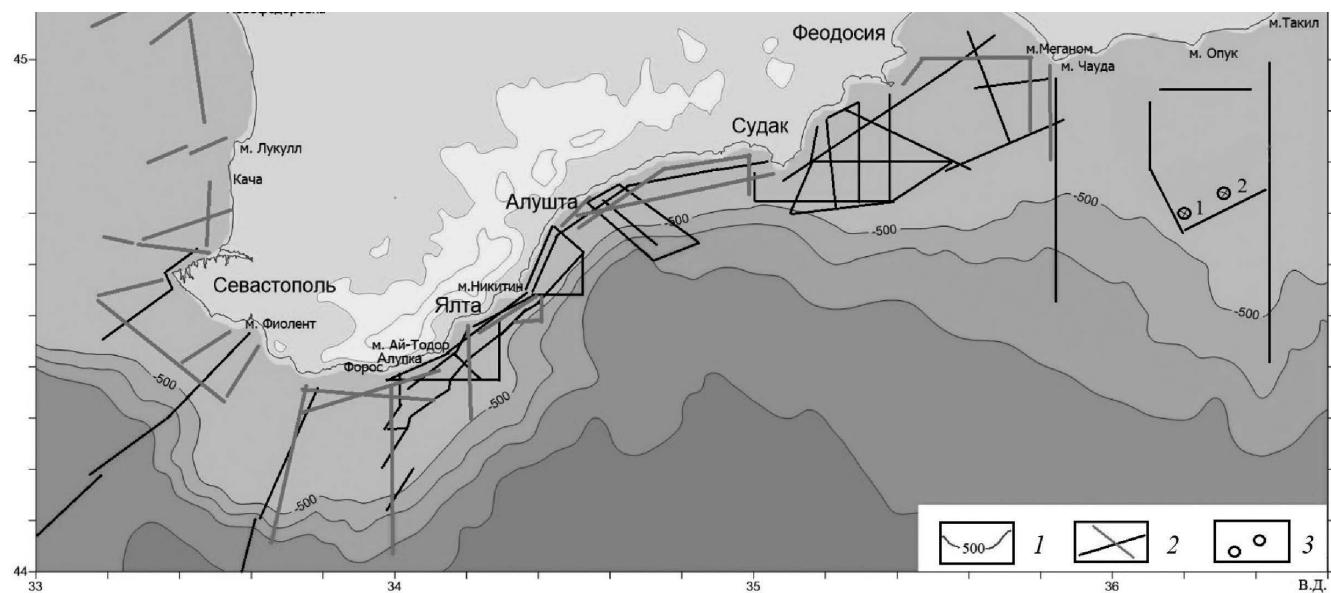


Рис. 1. Схема работ НИС “Професор Водяницкий” в 2018–2023 гг. Условные обозначения: 1 – изобаты; 2 – сейсмоакустические профили комплекса “Геонт–шельф” и акустические профили профилографа АП-5Т; 3 – скважины инженерно–геологических изысканий (ИГИ).

разрешающая способность (1–2 м). Полученные данные были дополнены результатами предшествующих геоморфологических, геологических, геофизических исследований, анализом литературного и картографического материала.

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 Алупки 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 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–A – ОГ–A₆, 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 (IVdč-nč), но-

воздвихинскими (IIIne), карангатско–узуларскими (IIIkg–Iuz) и древнезвукинско–чаудинскими (Ide–Icd) отложениями.

В склоновой части эти отложения размыты, и на поверхность дна выходят более древние апшеронские породы; породы таврической серии (ОГ–V), которые у южных берегов Крыма, как отмечалось, являются поверхностью акустического фундамента.

На приведенных разрезах НСАП отчетливо выделяются следующие сейсмокомплексы:

СК-7, ограниченный в разрезе сейсмическими горизонтами ОГ–A₆ и поверхностью дна, слагают новочерноморские (IVnč) и древнечерноморские (IVdč) слои голоценов, представленные илами с ракушкой и текущими глинами с органикой (суммарная мощность слоя по данным опробования и бурения на площадке ИГИ составляет 0.75–1.18 м) (таблица 1).

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

Суммарная мощность осадков голоценового возраста обычно составляет 0.4–0.8 м, увеличиваясь до 3–4 м на участках понижения рельефа и резко уменьшаясь на крутых участках склона. Грунтовые трубки на шельфе проходят 3 м, не достигая подошвы новочерноморских отложений. Древнечерноморские илы – терригенные (темно-серые, бурые, до светло-бурового сапропелевые и желто-вато-серые, темно-желтые и темно-коричневые

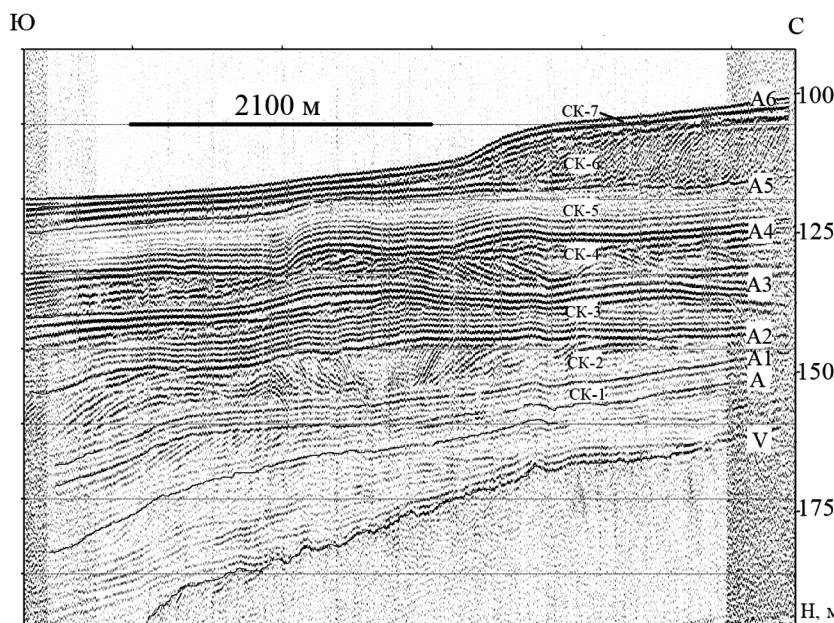


Рис. 2. Выделение сейсмокомплексов в шельфовой части района исследования на меридиане г. Алупка.

Таблица 1. Стратиграфия плейстоцен–голоценовых отложений района инженерно-геологической скважины скв. Глубокая 2

| 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 |
| | Древнечерноморские | IVdč | 0.75–1.20 |
| СК-6 | Поздние новоэвксинские | IIIne ² | 1.40–1.80 |
| | Ранние новоэвксинские | IIIne ¹ | 4.55–17.15 |
| СК-4 | Узунларские | IIuz | 20.85–35.60 |
| СК-3 | Древнэвксинские | IIde | 39.25–>50 |

сапропелевидные) иногда с прослойми темно-серого среднезернистого песка с резким ровным контактом, — залегают на новоэвксинских осадках [24]. В сейсмической записи СК-7 выглядит как покровно-облекающая фация, нивелирующая рельеф подстилающих отложений.

На акустических профилях высокого разрешения, выполненных в западной части Крыма, отмечается неровный характер поверхности дна, а также наличие ступени, что свидетельствует о ее абразионно-денудационном характере. Основание уступа на глубине 50 м совпадает с береговой линией раннего голоцена (рис. 3).

В этой части шельфа по данным акустического профилирования СК-7 представляет собой слоистую осадочную клиноформу, которая с угловым несогласием залегает на породах раннего неогена и выклинивается на бровке шельфа.

Клиноформа перекрывает слой, ограниченный клифом с подножием на глубине около 70 м, из чего можно сделать вывод, что этот подстилающий комплекс отложений представляет собой береговую линию регressiveного догооценового бассейна.

Отражающий горизонт ОГ-А6 маркирует поверхность несогласия, связанную с перерывом в осадконакоплении (предголоценовое понижение

ние уровня ниже современной отметки –80 м), после которого стала накапливаться толща СК-7 (рис. 4).

Осушение шельфа в позднем плейстоцена и понижение базиса эрозии активизировало эрозионно-аккумулятивную деятельность рек западного побережья Крыма. Акустическое профилирование в Каламитском заливе выявило затопленную гидросеть [11]. На акустических профилях на широте п. Новофедоровка, отчетливо выделяются эрозионные врезы и погребенные палеодолины крупных рек (рис. 5).

В южной и в юго-восточной части Крыма ниже сейсмокомплекса СК-7 по данным сейсмоакустического профилирования выделяются следующие сейсмокомплексы.

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

- поздними новоэвксинскими слоями (IIIne²) — текучие суглинки и глины, тонким слоем переменной мощности подстилающие черноморские слои и нивелирующие неровности эрозионной поверхности в подошве;

- ранними новоэвксинскими слоями (IIIne¹) — мягкопластичные глины с прослойми песка, содержащими включения ракушки и гальку (глины соответствуют развитию трансгрессии

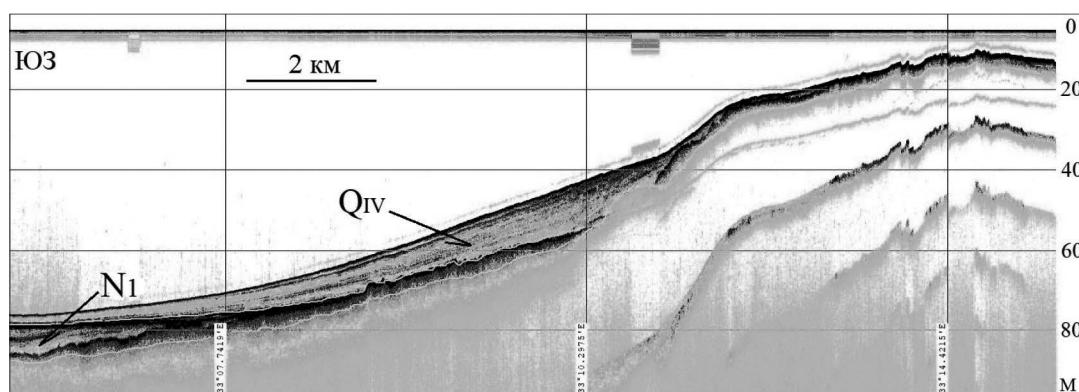


Рис. 3. Голоценовая клиноформа на меридиане г. Евпатория, перекрывающая с угловым несогласием отложения неогена.

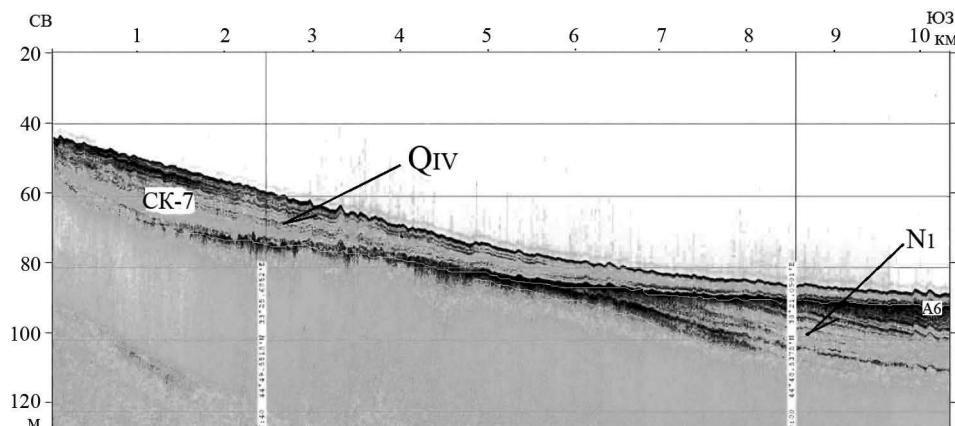


Рис. 4. Голоценовая клиноформа, перекрывающая коренные отложения неогена на широте м. Лукулл.

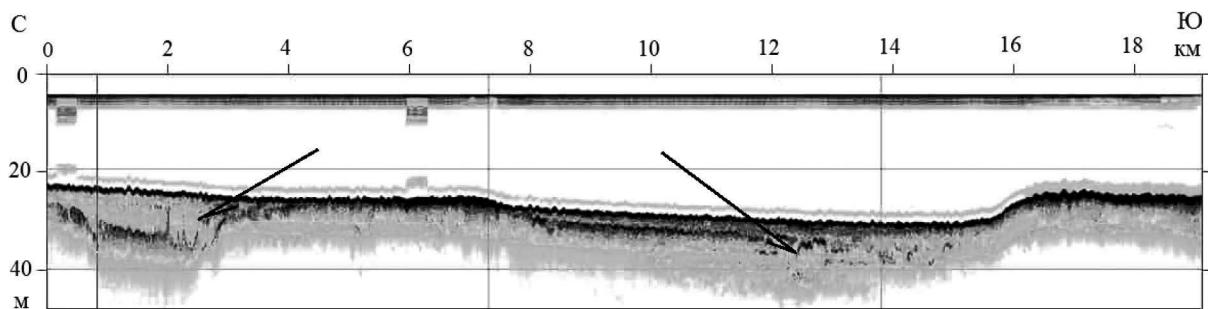


Рис. 5. Погребенная палеодолина (справа) и эрозионный врез (слева) в районе п. Новофедоровка.

новоэвксинского бассейна, а песок с ракушкой – временной остановке трансгрессии);

Сейсмическая запись в пределах СК-6 довольно высокоамплитудная, от параллельно-слоистой до пологоволнистой, местами с линзовидным рисунком отражений. В пределах СК-6 выделяется крупное клиноформное аккумулятивное тело с косослоистой записью.

Ранние новоэвксинские слои (III^{ne}¹) объединяют отложения эпохи начала трансгрессии новогоэвксинского бассейна. В разрезе отражается ритмический характер осадконакопления. Глинистый грунт составляет основу ритмов, в основании которых залегают слои песка с включениями ракушки и гальки (рис. 6).

Изученный интервал подразделяется на три слоя, соответствующих этапам и ритмам осадконакопления. Согласно данным бурения сейсмокомплекс СК-6 является новоэвксинским и фиксирует низкое стояние уровня Черного моря во время последней стадии валдайского оледенения [15, 25].

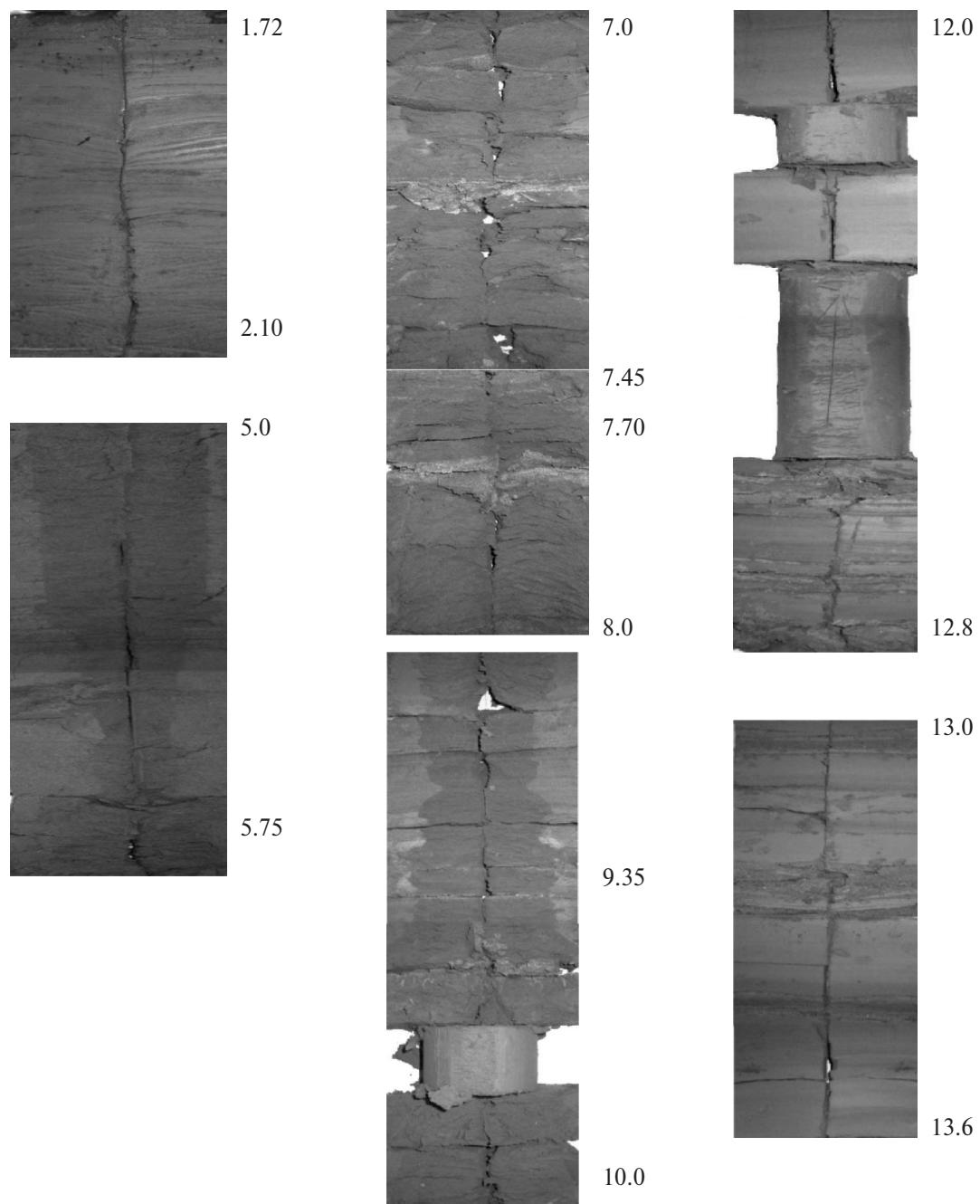
В это время формируются барьерные формы берегового рельефа. В ходе развития голоценовой трансгрессии эти барьерные формы распались на ряд локальных абразионно-аккумулятивных образований, которые представляют собой серию древних генераций береговых валов.

СК-5, ограниченный в разрезе отражающими горизонтами ОГ-А5 и ОГ-А4, соответствует полному карангатскому ритму осадконакопления верхнего неоплейстоцена (III^{kg}), 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 ОГ-А4 и ОГ-А3, соответствует узларскому этапу (II^{uz}) и характеризуется параллельно-слоистой записью; несогласно залегает на подстилающих отложениях, формирует аккумулятивное тело с наледанием 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 ОГ-А3 и ОГ-А2, соответствует



Мелководные новоэвксинские (Шne¹) отложения: тонкослоистые глины (1.72–2.10 м) и пески пылеватые (5.0–5.75 м).

Глубоководные новоэвксинские (Шne¹) глинистые отложения: (суглинок и глина) с прослойками светло-серого песка.

Глубоководные новоэвксинские (Шne¹) глины.

Рис. 6. Колонка ранне-новоэвксинских (Шne¹) отложений, показывающая смену мелководных условий осадконакопления более глубоководными. Скважина ИГИ Глубокая-2.

древнеэвксинскому этапу; отличается низкоамплитудной записью с сейсмофациальным рисунком отражений от бугристо-слоистого до слоистого. Верхняя часть иллюстрируется параллельно-слоистым типом записи с высокоамплитудными выдержаными отражениями. В пределах комплекса отмечены клиноформные

аккумулятивные тела, связанные с отложением грубозернистых фаций в период регрессии.

Вскрытая бурением нижняя часть комплекса СК-3 по своему положению соответствует подошве комплекса, а по стратиграфической привязке относится к древнеэвксинским отложениям среднего неоплейстоцена (IIde). Изученная часть

разреза представлена мелким песком. Породы водонасыщенные, зеленовато-серые, с редкими прослойками суглинка, примесью мелкой раковинной крошки, редкими гальками твердых пород (до 1 см) и обрывками остатков водорослей. Тонкие прослойки песка, неравномерно распределенные по слою, делают его неоднородным, что в сочетании с галькой, придает керну из этого интервала несколько раздробленный вид (рис. 7).

СК-2, ограниченный в разрезе отражающими горизонтами ОГ-А2 и ОГ-А1, соответствует верхнечаудинскому этапу (Icd³). Верхнечаудинские отложения представляют собой аккумулятивные валообразные образования с хаотичной или мелко бугристой формой записи, отвечающей регressiveному циклу. Отложения сейсмокомплекса облекают неровности подстилающей поверхности.

СК-1, ограниченный в разрезе отражающими горизонтами ОГ-А1 и ОГ-А, представляет собой среднечаудинские отложения (Icd²), несогласно залегающие на складчатом основании разреза таврической серии, либо на отложениях неогенового возраста, отделенных от вышележащих слоев четко выраженной поверхностью размыва.

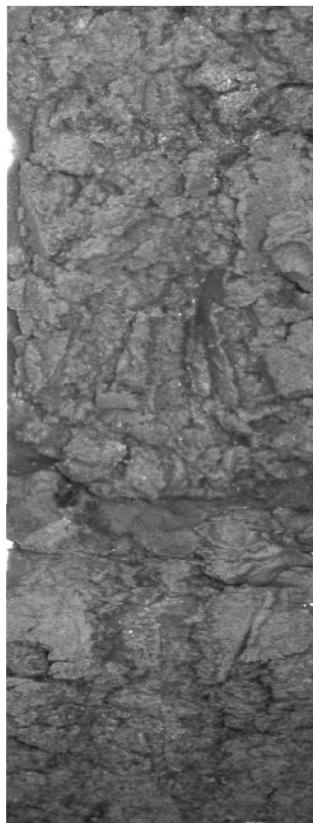


Рис. 7. Колонка древнеэвксинских (IIde) отложений, показывающая базальные пески из подошвы комплекса СК-3. Скважина ИГИ Глубокая-2. Интервал 49.0–49.65 м.

С учетом изученности отложений 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 отложения (СК-7), новоэвксинские отложения 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 морского бассейна.

Нижние слои, ограниченные отражающими горизонтами ОГ-А и ОГ-В, по-видимому, имеют неогеновый возраст и залегают на породах таврической серии.

Таким образом, в пределах крымско-кавказского шельфа выделяются семь основных сейсмокомплексов, отождествляемых с голоценовыми (древнечерноморскими и новочерноморскими – IVdc-nc) отложениями, новоэвксинскими (III ne) и карангатско-узуларскими (III kg-II uz) и древнеэвксинско-чаудинскими (Ide-Icd) отложениями.

В склоновой части материковой окраины Крыма эти отложения размыты и на поверхность дна выходят более древние, возможно, неогеновые отложения.

Восточнее, в прикерченской части шельфа голоцен–новоэвксинские отложения залегают на палеоцен–эоценовых образованиях. В склоновых частях они обнажаются и являются поверхностью транзита осадков в глубоководную часть Черноморской впадины.

Сейсмостратиграфический анализ выделенных поверхностей несогласий показал, что 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].

На сейсмоакустических профилях в пределах траперсса мыс Ай-Тодор–Ялта–Алушта выявлены

погребенные палеорусла крымских рек с характерной U-образной формой.

Плейстоценовое палеорусло, зафиксированное на меридиане города Ялта, показано на рис. 8. К рыхлым песчанистым отложениям, слагающим погребенное палеорусло, приурочены скопления газа, которые в сейсмическом поле выражаются в виде аномалий типа “яркое пятно”.

Еще одно палеорусло обнаружено на шельфе Крыма, в районе города Алушты, на траверзе поселка Малореченское.

Плейстоценовые палеорусла Ай-Тодорское, Ялтинское и Малореченское представляют собой разветвленную сеть палеодолин, впадающих в Черное море современных рек.

По ряду сейсмофациальных признаков погребенное продолжение палеогидросети также намечается в западной и в восточной части шельфа Крыма.

Выявленная в юго-восточной части шельфа Крыма группа речных дельт, связанных с формированием аллювиального устьевого конуса выноса на открытом морском побережье, относится к так называемым дельтам выдвижения (protruding deltas), или дельтовым устьевым системам. Происхождение этой группы дельт определяется особенностями структурно-геологического строения прибрежной равнины, когда реки при выходе к морю пересекали горные сооружения. Их суженные участки (долины прорыва) переходили непосредственно в приустьевые расширения русла на открытом побережье, а сами дельты, начиная эволюционное развитие как дельты заполнения, в дальнейшем развивались как выдвигающиеся дельты.

Отсутствие следов их продолжения в прибрежной части шельфа объясняется их размывом вследствие современных неотектонических событий.

В прикерченской части шельфа отчетливо выделяется погребенный верхнеплейстоценовый конус выноса, образование которого связано с регрессией моря в доголоценовое время (рис. 9).

Прослеживаемый по сейсмическим данным в субширотном направлении от таманского шельфа до меридиана м. Опук подводный конус выноса мог быть образован палеодельтой реки Кубань во время валдайского оледенения [1].

Выполненные с помощью профилографа и спаркера сейсмоакустические исследования придонной части показывают, что для материки-вой окраины Крыма характерно блоковое строение фундамента, перекрытого плейстоцен-голоценовыми отложениями. Размеры блоков могут достигать от нескольких до десятков километров.

Дифференцированные вертикальные тектонические движения здесь играли и продолжают играть решающую роль в определении условий осадконакопления в пределах каждого отдельного блока.

То, что основные закономерности смены литофаций верхнеплейстоцен-голоценовых отложений на шельфе Крыма связаны с новейшими блоковыми тектоническими движениями, отмечалось нами ранее в работах [6, 7, 21].

Также проявление неотектонических событий находит свое отражение в развитии придонных газовых скоплений, газовых сипов, грязевых вулканов в зонах активной разломной тектоники. На широтном профиле от меридиана м. Башенный до меридиана м. Чауда отчетливо

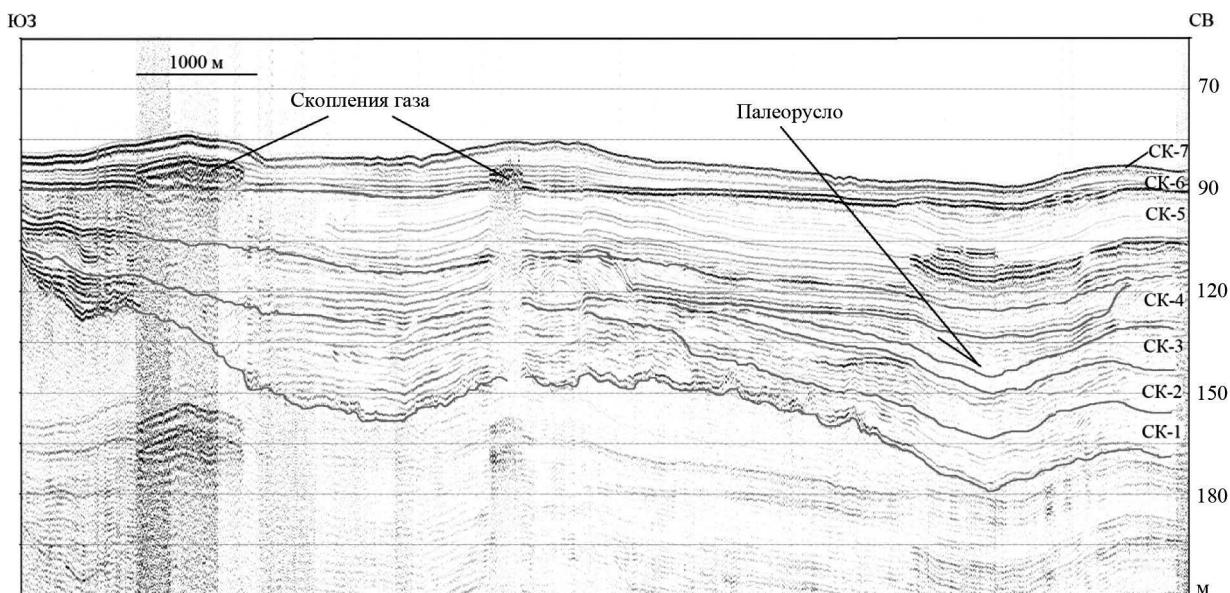


Рис. 8. Погребенное палеорусло в отложениях среднего плейстоцена на меридиане города Ялты.

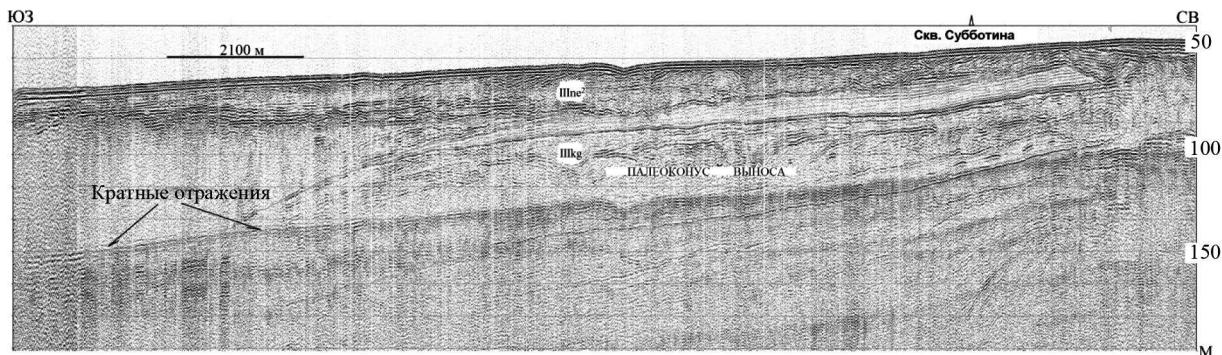


Рис. 9. Верхнеплейстоценовый подводный конус выноса палеоКубани.

выделяются приподнятые и опущенные блоки фундамента, разделяемые вертикальными разломами. К приподнятым блокам приурочены скопления метана, которые на сейсмоакустических профилях выглядят в виде динамически затемненных вертикальных зон, зачастую с полной потерей корреляции отражающих горизонтов (рис. 10). Стрелками показано направление движения в современное время.

Как следствие активизации неотектоники наблюдаются многочисленные проявления дегазации с выходом газа на поверхность дна в прибрежных частях шельфа (рис. 11).

Скопление метана в придонной части, выходы газа на поверхность дна отчетливо наблюдаются по данным акустического профилирования преимущественно в прибрежной части шельфа вблизи

Горного Крыма, т. е. в районе наибольшей сейсмической активности [3, 18].

Проявления блоковой тектоники находят свое отражение в строении бровки шельфа. Резкий перегиб, чаще всего, обусловлен процессами новейшей тектоники и связан со сбросами (рис. 12).

Плавный перегиб шельфа, сглаженный голоценовой седиментацией и наращающий зону внешнего шельфа, напротив свидетельствует о стабильности данного участка шельфа в новейшее время. На профиле на рис. 13, в интервале записи 70–120 м, соответствующем верхнеплейстоценовым отложениям, отчетливо выделяются косослоистые сейсмофации.

Как уже отмечалось, зафиксированные на профилях НСАП такого облика косослоистые тела, представляющие собой аккумулятивные

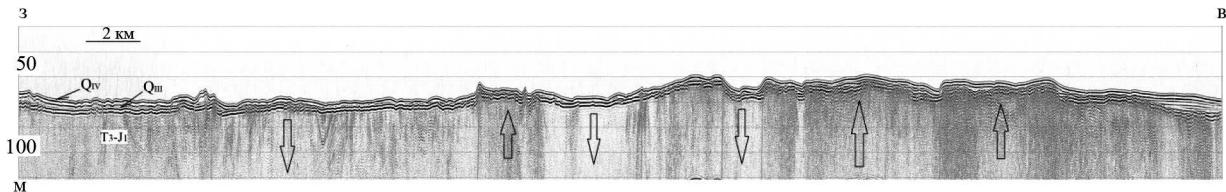


Рис. 10. Фрагмент широтного сейсмоакустического профиля, показывающий блоковое строение юго-восточной материковой окраины Крыма.

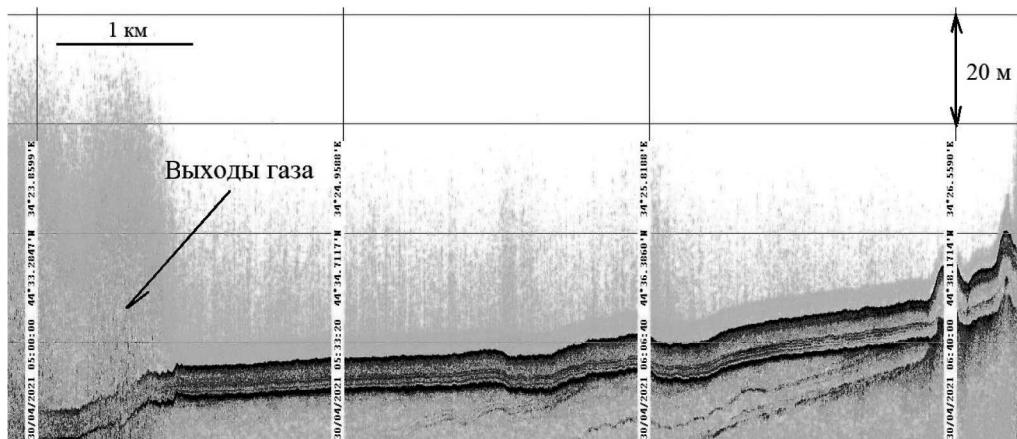


Рис. 11. Выброс метана в районе горы Аюдаг.

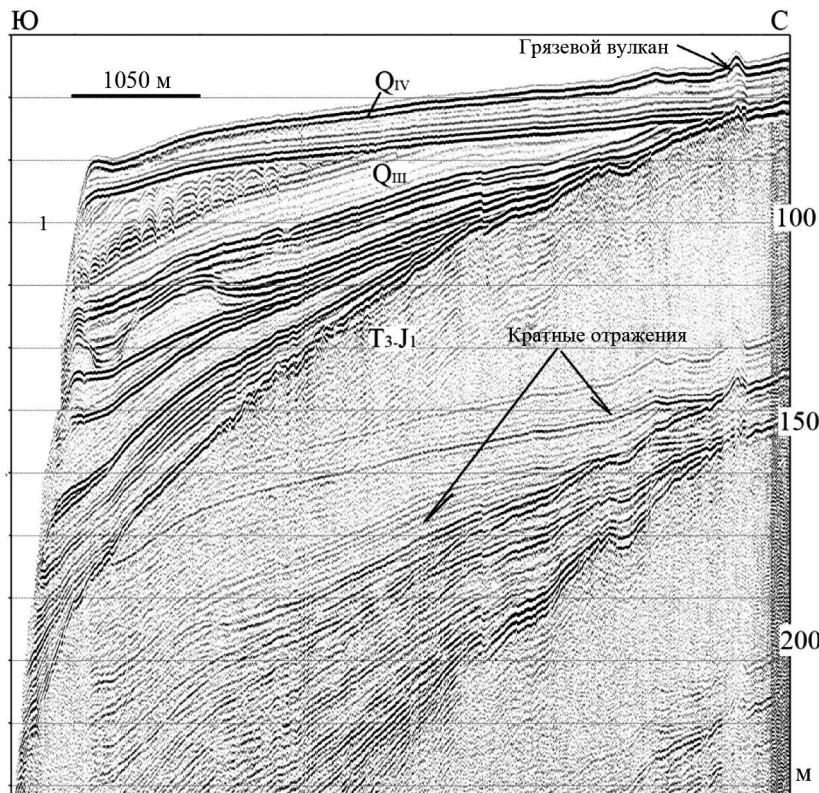


Рис. 12. Резкий перегиб шельфа в районе г. Алушты, связанный со сбросом.

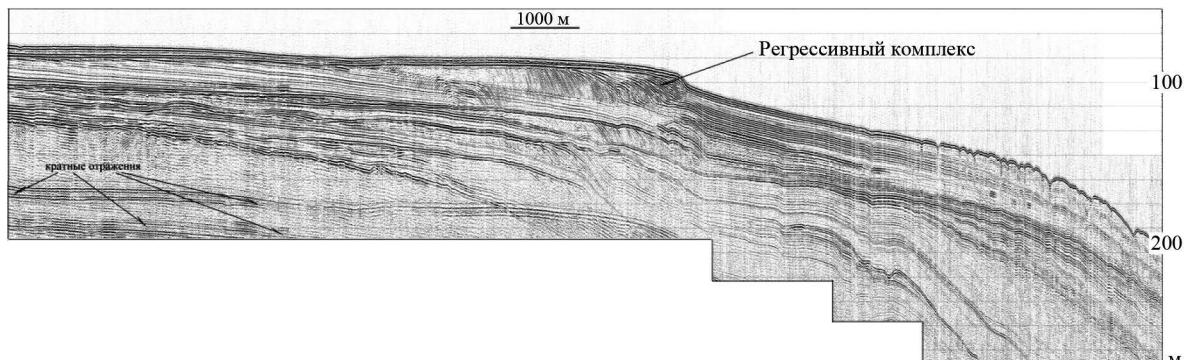


Рис. 13. Плавный перегиб шельфа в районе мыса Форос.

образования, формировались в регрессивные эпохи, отвечающие четвертичным оледенениям.

Основные абразионные элементы поверхности шельфа (террасы и разграничающие их уступы) сформировались в плейстоцене. Морские осадки, древнее карангатских, могли сохраняться только на опускающихся участках шельфа или на краю поднимающихся с малыми скоростями. На остальном шельфе они были разрушены и переотложены в период карангатской трансгрессии.

На сейсмической записи видно, что характер слоистости меняется при переходе от внешней части погруженного шельфа к крутым склонам. Это указывает на смену мелководных фаций на

глубоководные. Многие участки, разделяющие долины и каньоны, а также террасовидные ступени материкового склона, отмечены записями типа “бульжной мостовой” (рис. 14).

По масштабам проявления осадочных процессов материковой окраины Крыма можно выделить участки обрывистого и плавного перегиба бровки шельфа. На обрывистом участке гравитационные процессы обусловлены наличием крутого материкового склона и представлены, как правило, оползневыми образованиями (рис. 15). Крутое строение бровки шельфа характерно для района Горного Крыма, от мыса Ай-Тодор до мыса Меганом.

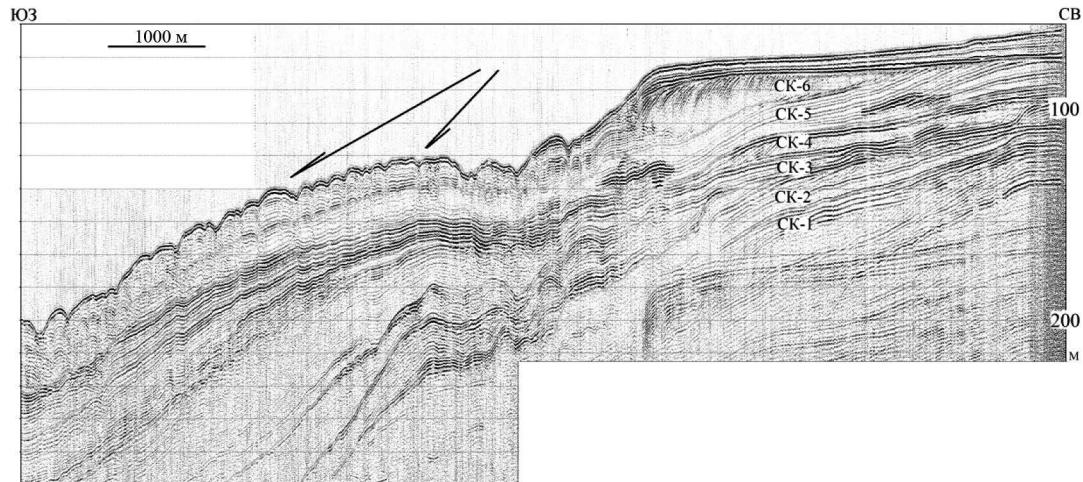


Рис. 14. Смена сейсмофаций в пределах материкового склона Крыма на меридиане мыса Никитин.

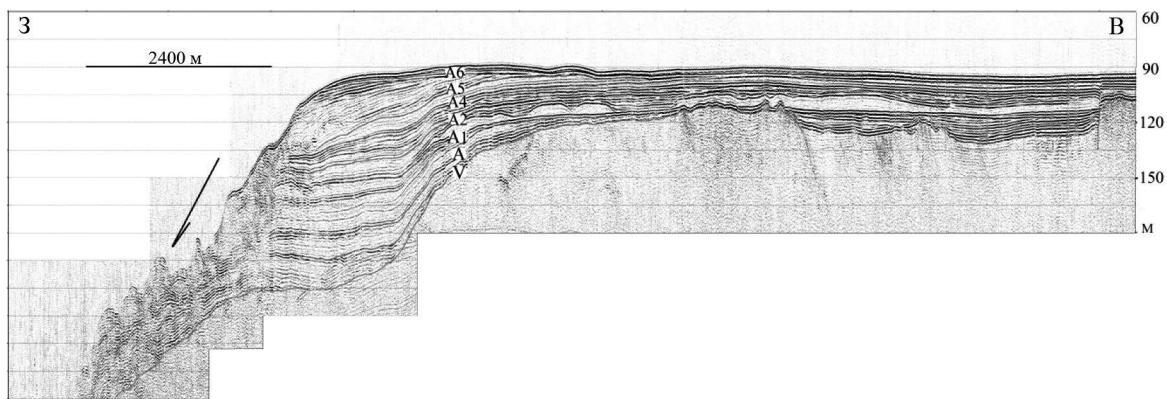


Рис. 15. Гравитационное оползание на участке материкового склона Крыма в районе мыса Меганом.

С проявлением неотектонических событий связано и формирование олистостромом, выявленных сейсморазведкой МОГТ в основании континентального склона [22].

Пологие участки бровки шельфа развиты в западной и восточной частях Крыма. В их пределах отмечается спокойный переход шельфовых отложений плейстоцен–голоцен в отложения континентального склона.

Происходившие в новейшее время морфоструктурные преобразования этих двух зон вполне отчетливо отражались в специфических чертах и характере строения бровки шельфа. Такое контрастное батиметрическое положение бровки шельфа может быть обусловлено либо расширением шельфа, либо являться результатом региональных тектонических движений. Широтные профили, идущие вдоль бровки шельфа, пересекают несколько глубоких долин (каньонов), связанных с орографией прилегающей суши и простирающихся до абиссальной равнины Западно-Черноморского бассейна. У края шельфа и на континентальном склоне материал,

приносимый рекой, продолжал движение в виде мутьевых потоков, выработавших каньоны с разветвленными верховьями. Русла каньонов пересекают континентальный склон и далее переходят в русла глубоководных долин, направленных на юго-восток в абиссальную котловину (рис. 16).

В заложении каньонов не исключается также вероятность влияния локальной неотектоники, связанной с прогибанием бровки шельфа и активизацией движений вдоль субширотных разломов.

Новейшая тектоническая активность отражена также в преобразовании внешней зоны материковой отмели. Можно предположить, что деформации шельфа происходили вдоль разломов юго-западной – северо-восточной направленности. Вполне возможно, что подобная перестройка могла произойти в результате проградации обширной материковой отмели. Так, разновеликие морфоэлементы верховья каньона формировались под действием продольных тектонических движений. При этом здесь происходили и вертикальные движения, которые обусловили формирование склоновых

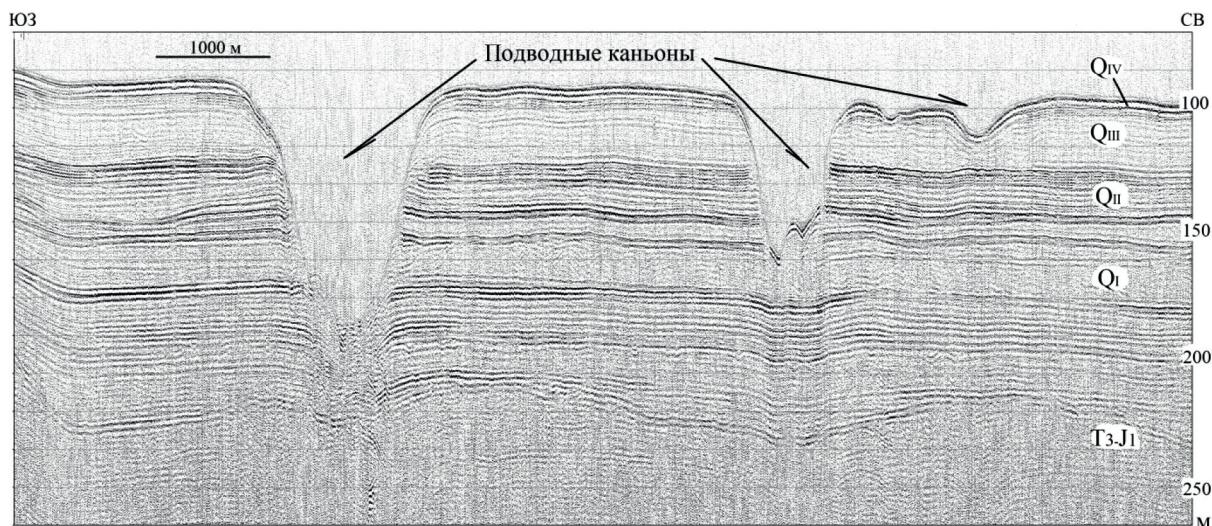


Рис. 16. Подводные каньоны, прорезающие внешний шельф и верхнюю часть материкового склона юго-восточной акватории Крыма.

морфоэлементов, расположенных на различных батиметрических уровнях верховья каньона. Анализ имеющихся материалов в совокупности с опубликованными нами ранее геолого-геофизическими данными позволяют предположить, что морфоэлементы верховья активно развивались на рубеже плиоцен–плейстоцена. В этой связи, выявленные вертикальные движения шельфа вблизи верховья каньона, по всей вероятности, происходили в голоцене [4, 6, 8].

В пределы крымского шельфа верховья каньонов внедряются на различные расстояния в среднем от 1.5 до 30 км. Если в Прикрымской части исследуемого шельфа эти расстояния составляют первые десятки км, то в Предкавказской части

шельфа эти показатели составляют первые сотни метров, иногда не более 1–1.5 км, что подтверждают их более молодой возраст, и то, что процесс разрушения края шельфа там только начал проявляться [5, 9].

По результатам детальных исследований рельефа дна известны разнообразие и неоднородность строения внешнего шельфа и верхней части материкового склона Крыма [2, 13, 14, 19, 23]. На основе геоморфологических исследований прежних лет, а также сейсмоакустических работ 2018–2023 гг., нами выполнена геоморфологическая схема основных морфологических элементов шельфа и материкового склона Крыма (рис. 17).

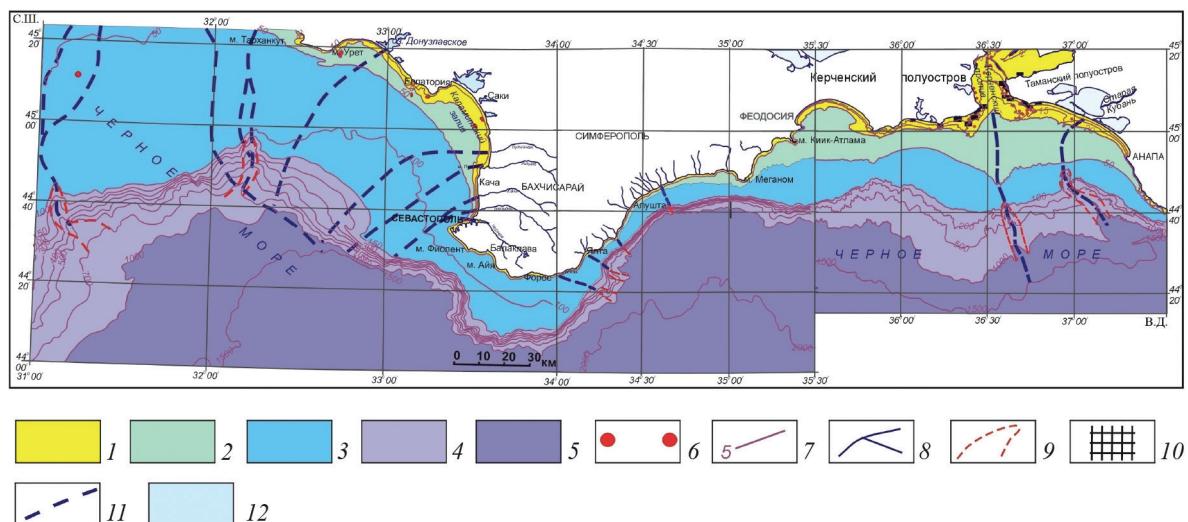


Рис. 17. Геоморфологическая схема шельфа и склона Крыма. Условные обозначения: 1 – прибрежная отмель (0–20 м), 2 – абразионно-аккумулятивная терраса (20–50 м), 3 – внешний шельф (50–150 м), 4 – материковый склон (150–1000 м), 5 – глубоководная впадина (более 1000 м), 6 – скальные рифы; 7 – изобаты (м), 8 – гидрографическая сеть, 9 – подводные каньоны, 10 – рифы и скальные плиты, 11 – палеорусла рек, 12 – другие водные объекты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Выделенные сейсмокомплексы соответствуют неоплейстоценовым и голоценовым этапам существования черноморского морского бассейна. На юго-восточном шельфе Крыма, на трансверсе Алупка–Ялта–Алушта, выявлена погребенная речная долина, прежде лишь намечаемая рядом исследователей по изобатам западин. Как продолжение палеорусел от вершины склона до абиссальной равнины прослеживаются каньоны юго-восточного простирания.

Для района исследований характерна тесная связь геоморфологического и тектонического строения, а интенсивное проявление эрозионных, абразионно-оползневых и селевых экзогенных геологических процессов обусловлено современной активизацией тектонических нарушений. Их простижение имеет общее диагональное или субмеридиональное простижение, что согласуется с простижением гидрографической сети суши и каньонной сети в море.

В западной части Крыма терригенный материал поступал параллельно крымскому материку-вому склону с северо-запада. В восточной части осадочный материал поступал с северо-востока, со стороны Тамани. Образовавшееся при этом в среднем и верхнем плеистоцене аккумулятивные тела связаны, вероятно, с выдвижением дельт рек, впадающих с северо-запада и северо-востока, к внешнему краю шельфа во время низкого стояния уровня моря.

Активизация меридиональных и широтных глубинных разломов в позднеплеистоцен–голоценовое время определила блоковое строение шельфа. Под воздействием новейших тектонических процессов произошло заложение горсто-во-грабеновых структур материевой отмели.

Резкий перегиб бровки шельфа, чаще всего, также обусловлен процессами новейшей тектоники и связан со сбросами, а плавный, наоборот,

отражает состояние стабильности и слажен голоценовой седиментацией.

Полученные данные в области морфологии и структуры отложений, слагающих древние береговые образования внешнего шельфа, показали различие их типов в пределах различных морфоструктурных зон: преобладание абразионных террас на участках более крутого и узкого шельфа и аккумулятивных – на участках широкого шельфа материевой окраины Крыма.

Выявленные зоны активной дегазации недр, приурочены, преимущественно, к прибрежной части шельфа, находящейся в зоне повышенной сейсмичности, вблизи орогена Горного Крыма.

В течение плеистоцена–голоценена в районе исследования отмечаются определенные этапы активизации литодинамических процессов. Мутевыми и, по-видимому, грязевыми потоками здесь были сформированы мощные аккумулятивные тела. С выделенными трансгрессивными и регрессивными циклами в плеистоцен–голоценовое время связаны абразионно-аккумулятивные процессы. Регрессивно-трансгрессивные события существенно влияли на скорость осадконакопления и формирование подводного рельефа. Большие массы терригенного осадочного материала постоянно наращивали зону внешнего шельфа, что способствовало удлинению выступов, разделяющих долины и каньоны.

Источник финансирования. Исследования проведены в рамках государственного задания по теме № FMWE-2024-0024, а также при финансовой поддержке проекта РФФИ № 20-05-00384_А. Часть экспедиционных исследований выполнена в Центре коллективного пользования “Научно-исследовательское судно “Профессор Водяницкий””.

Благодарности. Авторы выражают благодарность морякам НИС “Профессор Водяницкий” и научному составу ИнБЮМ РАН за постоянную помощь в работе.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.М., Забелина В.В., Хахалев Е.М., Шельтинг С.К. Позднеплеистоценовый глубоководный конус выноса Кубани // Материалы XV Международной конференции (школы) по морской геологии. Т. 1. М.: ГЕОС, 2003. С. 186–187.
2. Андреев В.М., Шельтинг С.К., Глебов А.Ю. и др. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1: 200 000. Лист К-37-III (Долина Кумани). СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 48 с.

3. Борисенко Л.С., Никонов А.А., Останин А.М. Сейсмодислокации в Юго-Западном Крыму (р-н Севастополя) // Докл. РАН. 1995. Т. 343. № 6. С. 58–60.
4. Димитров О.В., Друшниц В.В. Новые данные об относительных изменениях уровня Черного моря четвертичного периода // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. Т. 11. № 4. С. 101–107.
5. Евсюков Ю.Д., Шимкус К.М. Новые данные по геоморфологии и неотектонике материковой окраины в районе Керченского пролива // Докл. РАН. 1995. Т. 344. № 1. С. 83–86.
6. Евсюков Ю.Д., Руднев В.И. Неоднородность морфоструктур на полигонах северо-западной части Черного моря // Геология, география и глобальная энергия. 2012. № 3 (46). С. 133–144.
7. Евсюков Ю.Д., Руднев В.И. Геоморфология и неотектоническое преобразование материковой отмели в западной части Черного моря // Геология, география и глобальная энергия. 2013. № 3 (50). С. 46–55.
8. Есин Н.И., Хортов А.В. Динамика вертикальных движений земной коры в голоцене // Экология гидросферы. 2022. № 2 (8). С. 47–68.
9. Иванов В.В., Коротаев В.Н., Мысливец В.И. и др. Геофизические и гидрографические изыскания на восточном шельфе полуострова Крым (Феодосия–Керчь–Анапа) // Океанологические исследования. 2018. Т. 46. № 1. С. 82–101.
10. Коротаев В.Н. Особенности литодинамических процессов в системе река–дельта–шельф // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1991. № 5. С. 29–36.
11. Мысливец В.И., Римский-Корсаков Н.А., Коротаев В.Н. и др. Морфоструктура и строение осадочно-покрова внутреннего шельфа Западного Крыма // Океанология. 2019. Т. 59. № 6. С. 1063–1073.
12. Мутовкин А.Д., Пронин А.А., Хортов А.В. Сейсмоакустические исследования плейстоцен–голоценовых отложений Крымско-Керченского шельфа // Геология морей и океанов. Материалы XXIV международной научной конференции (школы) по морской геологии. М.: ИО РАН, 2022. Т. 4. С. 295–298.
13. 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.
14. Пасынкова Л.А. Кањоны континентального склона Черного моря // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия “География”. 2013. Т. 26 (65). № 3. С. 260–266.
15. Программа работ по выполнению морских инженерных изысканий на участке недр Глубокая, расположенному на шельфе Черного моря. ООО “ЦМИ МГУ”, 2019. 309 с.
16. Римский-Корсаков Н.А., Бурдиян Н.В., Лесин А.В. и др. 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.
17. Римский-Корсаков Н.А., Бурдиян Н.В., Пронин А.А. и др. Технология и результаты геолого-геофизических исследований в 116 рейсе НИС “Профессор Водяницкий” // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 11. С. 81–86.
18. Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Хортов А.В. и др. Технология и результаты сейсмоакустического профилирования на шельфе Крыма в 124 рейсе НИС “Профессор Водяницкий” // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 2. С. 37–43.
19. Сорокин В.М., Куприн П.Н. О характере подъема уровня Черного моря в голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2007. № 5. С. 40–46.
20. 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.
21. Хортов А.В., Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А. и др. Сейсмостратиграфические исследования крымского шельфа методом непрерывного сейсмоакустического профилирования // Докл. РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 512. № 2. С. 295–301.
22. Шельтинг С.К., Шейков А.А., Прокопцева С.В. О механизмах формирования складчатости и гравитационного вулканизма в прогибе Сорокина // ПРО-НЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2023. Т. 8. № 3. С. 62–72.
23. Шербаков Ф.А. Материковые окраины в позднем плейстоцене и голоцене. М.: Наука, 1983. 213 с.
24. Шнюков Е.Ф., Иванников А.В., Иноземцев Ю.И. и др. Литолого-стратиграфическая характеристика донных отложений Крымского шельфа и глубоководной части Черного моря // Геол. журн. 2003. № 1. С. 9–23.
25. Гожик П.Ф., Іванік О.М., Маслун Н.В. и др. Стратиграфія четвертинних відкладів Азово-Чорноморського басейну // Геологія і корисні копалини Світового океану. 2016. № 4. С. 3–37.

STRUCTURE OF THE CRIMEAN SHELF BASED ON SEISMOACOUSTIC PROFILING OF THE SEDIMENTARY THICKNESS

A. V. Khortov^{a,*}, A. A. Pronin^{a, **}, N. A. Rimsky-Korsakov^{a, ***},
V. N. Korotaev^{b, ****}, V. I. Rudnev^{a, *****}

^a Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

^b Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

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

** e-mail: pronin@ocean.ru

*** e-mail: nrk@ocean.ru

**** e-mail: vlaskor@mail.ru

***** e-mail: evsgeol@rambler.ru

The article presents the results of seismoacoustic studies of the Crimean shelf, carried out in 2018–2023 by the staff of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences. Based on the results of seismostratigraphic analysis, seven seismic complexes were identified in the sedimentary cover. Transgressive and regressive cycles in the Pleistocene–Holocene time and associated abrasion-accumulative processes were identified. Traces of buried river paleovalleys and their continuation in the form of submarine canyons on the slope and in the abyssal basin were discovered. The main patterns of lithofacies change in the Upper Pleistocene–Holocene deposits are associated with the latest block movements. Manifestations of degassing confined to the area of increased seismicity were noted.

Keywords: shelf, Crimea, continuous seismoacoustic profiling, seismic complex, reflecting horizon, shelf edge, canyon, paleochannel, Pleistocene, Holocene