

УДК 551.87: 551.781.5: 551.782

ВЫДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ПО ДАННЫМ 2D–3D СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ВОСТОЧНО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Галина Владимировна Баскакова^{1✉}, Наталья Александровна Васильева²,
Анатолий Михайлович Никишин³, Мария Станиславовна Доронина⁴,
Булат Ильдарович Ихсанов⁵

¹ ООО «РН-Эксплорейшн», Москва, Россия; gbaskakova@gmail.com

² ООО «РН-Эксплорейшн», Москва, Россия; n.vassiljeva@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nikishin@geol.msu.ru

⁴ ООО «РН-Эксплорейшн», Москва, Россия; msdoronina@rn-exp.rosneft.ru

⁵ ПАО «НК «Роснефть», Москва, Россия; Ikhsanov.bulat@gmail.com

Аннотация. Преимущественно по сейсмическим данным рассмотрена история тектонического развития северо-восточной части Черного моря. Выделены основные несогласия и описаны связанные с ними тектонические события в Туапсинском, Керченско-Таманском прогибах, на Анапском выступе, валах Шатского и Андрусова, Гудаутском поднятии и в Восточно-Черноморской впадине. Составлена тектоностратиграфическая схема для каждой структурной зоны, отражающая основные этапы тектонической эволюции и особенности седиментогенеза в позднемезойско-кайнозойское время.

Ключевые слова: Черное море, Северо-Западный Кавказ, Восточно-Черноморская впадина, тектоническая схема, тектоностратиграфия, сейсмифация, поверхность несогласия, седиментация, 2D сейсморазведка

Для цитирования: Баскакова Г.В., Васильева Н.А., Никишин А.М., Доронина М.С., Ихсанов Б.И. Выделение основных тектонических событий по данным 2D–3D сейсморазведки в Восточно-Черноморском регионе // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 4. С. 21–33.

IDENTIFICATION OF THE MAIN TECTONIC EVENTS BY USING 2D–3D SEISMIC DATA IN THE EASTERN BLACK SEA

Galina V. Baskakova^{1✉}, Natalya A. Vasilyeva², Anatoly M. Nikishin³,
Maria S. Doronina⁴, Bulat I. Ihsanov⁵

¹ LLC «RN-Exploration», Moscow, Russia; gbaskakova@gmail.com

² LLC «RN-Exploration», Moscow, Russia; n.vassiljeva@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nikishin@geol.msu.ru

⁴ LLC «RN-Exploration», Moscow, Russia; msdoronina@rn-exp.rosneft.ru

⁵ Rosneft Oil Company, Moscow, Russia; Ikhsanov.bulat@gmail.com

Abstract. The history of tectonic evolution in the north-eastern part of the Black Sea is considered mainly based on seismic data. The main unconformities surfaces are identified and related tectonic events in the Tuapse Trough, Kerch-Taman Trough, Anapa Swell, Shatsky and Andrusov Swells, Gudauta and the East Black Sea Depression are described. The tectonostratigraphic scheme was compiled during the research. Stratigraphic column for each structural zone provide a framework for understanding the history of each phase of basin evolution in the Late Mesozoic-Cenozoic time.

Key words: Black Sea, North-Western Caucasus, East Black Sea depression, tectonostratigraphy, tectonic framework, unconformity surface, seismic facies, 2D seismic

For citation: Baskakova G.V., Vasilyeva N.A., Nikishin A.M., Doronina M.S., Ihsanov B.I. Identification of the main tectonic events by using 2D–3D seismic data in the Eastern Black Sea. *Moscow University. Geol. Bull.* 2022; 4: 21–33 (In Russ.).

Введение. В акватории восточной части Черного моря и на прилегающей суше геологоразведка ведется с конца XIX в. Понимание особенностей осадконакопления и тектонических процессов в исследуемом регионе важно для планирования и дальнейшего развития геологоразведочных работ в акватории. К последним региональным обзорам, учитывающим обширный фактический материал по естественным обнажениям пород, скважинам и сейсмическим данным, относятся работы [Афа-

насенков и др., 2007; Nikishin et al., 2015; Okay et al., 2015; Sosson et al., 2017; Tari et al., 2018; Monteleone, 2019; Maynard, 2020]. В рамках статьи наиболее полно рассмотрена история развития восточного сектора Черного моря и таких тектонических элементов, как Туапсинский и Керченско-Таманский прогибы, валы Шатского и Андрусова, Анапский выступ (погруженная часть Большого Кавказа), Гудаутское поднятие и Восточно-Черноморская впадина (рис. 1). Дополнительно рассмотрены сейсмические разрезы

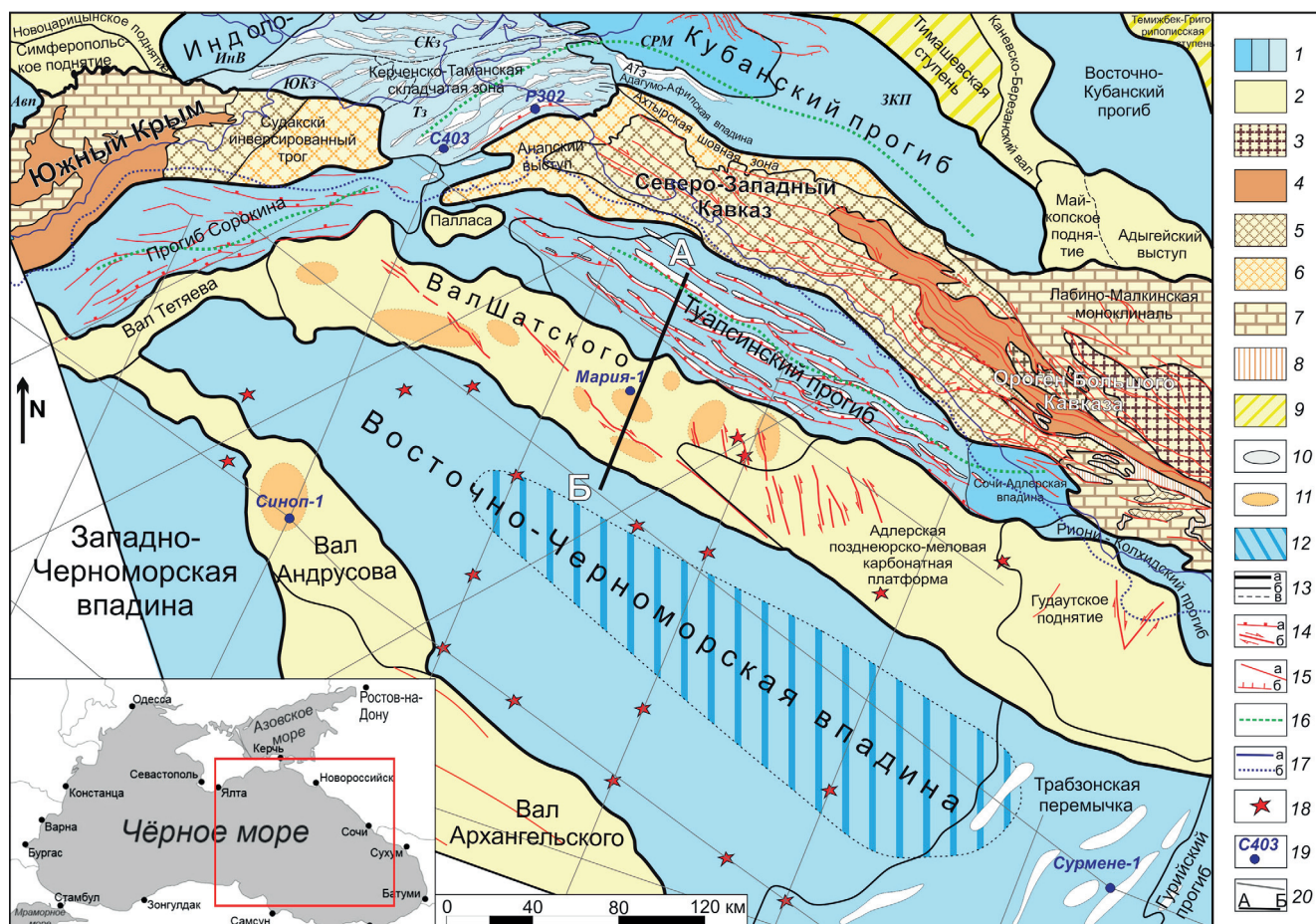


Рис. 1. Тектоническая схема Восточно-Черноморского региона (составлена с учетом данных [Сенин, 2003; Афанасенков и др., 2007; Nikishin et al., 2015a; Маринин, 2015; Geological Map of the Caucasus, 2010; Геологическая карта СССР, 1971] с дополнениями): 1–12 — тектонические структуры: 1–8 — I порядка: 1 — прогиб, впадина; 2 — вал, поднятие; 3–8 — складчато-орогенные системы: 3 — неопротерозойский и палеозойский фундамент, 4 — раннеюрско-батский деформированный рифтовый бассейн, 5 — келловейско-эоценовый деформированный рифтовый бассейн, 6 — келловейско-четвертичный деформированный рифтовый бассейн, 7 — деформированные среднеюрско-эоценовые платформы, 8 — ранне-среднеюрская вулканическая дуга; 9 — II порядка: ступень, свод; 10–12 — III порядка: 10 — антиклиналы кайнозойского возраста, 11 — позднеюрско-нижнемеловые карбонатные постройки, 12 — зона развития океанической коры; 13 — границы тектонических элементов: а — I порядка; б — II порядка; в — зона; 14–15 — разрывные нарушения: 14 — надвиги (а), сдвиги (б); 15 — без указания кинематики (а), сбросы (б); 16 — депозиты майкопских прогибов; 17 — береговая линия; 18 — захороненные вулканы мелового возраста; 19 — поисково-оценочные скважины в акватории; 20 — линии региональных сейсмических профилей и положение композитного профиля А–Б. Сокращения на карте: СКЗ — Северо-Керченская зона; ЮКЗ — Южно-Керченская зона; ТЗ — Таманская зона; Авп — Альминская впадина; ЗКП — Западно-Кубанский прогиб; СРМ — Славянско-Рязанская мегасинклиналь; ИнВ — Индольская впадина; АТ — Анастасиевско-Троицкая антиклинальная зона

в районе одесского шельфа, Азовского вала и прогиба Сорокина, но из-за ограниченного количества материала, имеющегося в распоряжении авторов, выводы о геологическом строении этих элементов базируются на результатах других исследователей [Пинус и др., 2014; Stovba et al., 2009; Sydorenko et al., 2017]. Опубликованная информация по единичным скважинам, пробуренным в акватории Восточно-Черноморского региона [Maynard et al., 2020; Tari et al., 2018; Palabiyik et al., 2020], и сейсмические профили 2D позволили снять часть вопросов о стратификации сейсмических границ (рис. 1) [Nikishin et al., 2015; Graham et al., 2013]. Анализ литологического состава вскрытых скважинами интервалов [Tari et al., 2018; Maynard, 2020] и результаты полевых работ в Крымско-Кавказском регионе [Митюков и др., 2012; Лыгина и др., 2019; Баскакова и др., 2021] исполь-

зовались для построения сводных литологических колонок для каждого тектонического элемента.

Материалы и методы исследований. На территории исследований выделяются шельфовые, склоновые и глубоководные условия осадконакопления. Континентальный склон имеет крутые углы наклона и сложный рельеф с перепадами высот в сотни метров, обусловленный активным ростом антиклиналей и донной эрозией. На протяжении своего развития Восточно-Черноморский регион находился в разных тектонических и геоморфологических обстановках. Для региональных исследований таких территорий хорошо зарекомендовал себя метод тектоностратиграфии [Никишин и др., 2009].

Тектоностратиграфия — метод выделения значимых поверхностей несогласий при интерпретации данных сейсморазведки. Сейсмокомплексы

или тектоностратиграфические единицы между выделенными поверхностями отвечают единому этапу тектонической истории региона. Смена тектоностратиграфических единиц связана с изменением тектонического режима. Масштаб этапа зависит от сложности геологической истории бассейна, а также от уровня его изученности. Примерами тектоностратиграфических единиц могут быть рифтовые и пострифтовые, сининверсионные, синскладчатые (синкинематические) серии отложений, а также синорогенные осадочные толщи, заполняющие краевые прогибы и межгорные впадины. В пределах одного тектоностратиграфического комплекса можно выделить подразделения более мелкого порядка, различающиеся характеристиками: скоростью погружения, проявлениями деформаций, изменением положения основного источника сноса обломочного материала и т. д. Этот метод интерпретации сейсмических данных позволяет построить единый стратиграфический каркас в малоизученных бурением областях.

Для изучения истории развития исследуемой территории использованы региональные сейсмические профили 2D разных лет, в том числе данные проекта «Геология без границ» [Nikishin et al., 2015], и съемки 3D в пределах Туапсинского прогиба и вала Шатского, полученные компанией ПАО «НК «Роснефть». На профилях были выделены поверхности несогласий, ограничивающие тектоностратиграфические единицы, а затем сопоставлены с основными тектоническими событиями в мезозойско-кайнозойское время. Пример выделения тектоностратиграфических комплексов представлен на сейсмогеологическом профиле (рис. 2). Все значимые, по мнению авторов, для региона поверхности несогласий обозначены на рисунке отражающими горизонтами $U1-U9$, а сейсмокомплексы — $S1-S10$. Хроностратиграфическая привязка выделенных несогласий сделана с учетом скважинных данных в акватории Черного моря [Gozhyk et al., 2010; Maynard et al., 2020; Tari et al., 2018; Palabiyik et al., 2020].

Характеристика региональных отражающих горизонтов (ОГ). Корреляция выполнена во временном масштабе. Отражающий горизонт $U1$ — первое несогласие, достаточно хорошо прослеживаемое на всей площади исследований. Этот горизонт отвечает кровле акустического фундамента (сейсмокомплекс $S1$). В акустический фундамент нами были включены нерасчлененные породы досреднеюрского складчатого комплекса и синрифтовые отложения средней юры до келловейского яруса, граница между которыми на большей части площади условная и однозначно не прослеживается. Докелловейский среднеюрский комплекс картируется на сейсмических разрезах фрагментарно и, возможно, содержит вулканиты [Афанасенков и др., 2007].

На вале Шатского и Гудаутском поднятии юрские отложения залегают на относительно небольшой глубине. В этих областях на сейсмических

данных видны отражения, предположительно характеризующие внутреннее строение сейсмокомплекса. В пределах вала Шатского отражающий горизонт $U1$, согласно региональным представлениям, выделен вблизи границы, отвечающей смене терригенных среднеюрских отложений на верхнеюрские карбонатные. На границе вала Шатского и Туапсинского прогиба в отложениях средней юры по результатам комплексного анализа сейсмических и магнитометрических данных выделены локальные тела, формирующие поднятия в рельефе дна бассейна, интерпретируемые нами как среднеюрские вулканические постройки (рис. 2, 3). Породы средней юры изучены в обнажениях Абхазии и Грузии. Они представлены терригенными отложениями (аргиллиты и песчаники), для байосского интервала характерны вулканиты и вулканогенно-осадочные образования.

Отражающий горизонт $U2$ соответствует кровле карбонатного комплекса (сейсмокомплекс $S2$). Согласно описаниям разрезов естественных выходов горных пород и данным бурения, этот горизонт отвечает кровле берриасского яруса нижнего мела. На территории работ комплекс имеет переменную мощность. Наибольших значений она достигает в зоне развития изолированных карбонатных платформ.

Отражающий горизонт $U3$ отождествляется с кровлей терригенных синрифтовых отложений нижнего мела альб-аптского возраста (сейсмокомплекс $S3$), прокоррелирован как поверхность углового несогласия. На палеоподнятиях в пределах вала Шатского отложения нижнего мела представлены в сильно сокращенной мощности либо полностью размыты. В волновом поле сейсмокомплекса $S3$ выделяются тела, часто конической формы, отвечающие вулканам и интрузиям.

Отражающий горизонт (ОГ) $U4$ представляет собой верхнюю границу сейсмокомплекса, ассоциируемого с разнофациальными отложениями верхнего мела — датского(?) яруса палеоцена. Наиболее уверенно горизонт прослеживается в областях увеличенной толщины синрифтового комплекса, маркируя его кровлю. Отложения верхнего мела вскрыты скважиной Синоп-1 и представлены мергелистыми фациями [Maynard et al., 2020]. Отражающий горизонт $U5$ соответствует региональной поверхности несогласия в эоцене. Интервал между ОГ $U4$ и $U5$ включает отложения палеоцена и эоцена (вероятно, ипра-лутетия).

Подолва терригенных отложений майкопской серии $U6$ уверенно трассируется на всей площади исследований, это опорный ОГ в регионе. Горизонт служит кровлей сейсмокомплекса $S6$, отождествляемого с терригенно-карбонатными отложениями среднего и верхнего эоцена. Мощность этого комплекса на территории работ переменная. В районе Анапского выступа породы среднего-верхнего эоцена формировались синхронно со складчатостью (рис. 3, верхний фрагмент сейсмического профиля), в синклиналях мощность их резко увеличивается,

а в антиклиналях уменьшается вплоть до исчезновения [Баскакова и др., 2018].

Отражающий горизонт $U7$ отождествляется с кровлей майкопских отложений. Ниже этой поверхности выделяется сейсмокомплекс с прозрачной волновой картиной, характерной для глинистых отложений верхнего майкопа. Выше находится комплекс ярких протяженных субпараллельных отражений, отождествляемых с тархан-нижнеокраакскими отложениями в этом регионе. Горизонт $U8$ характеризует начало этапа высокого стояния уровня моря и погружения бассейна. Согласно современным представлениям о стратиграфии разреза, отражающий горизонт соответствует поверхности вблизи кровли тортонского яруса верхнего миоцена. Отражение уверенно прослеживается на всей территории исследований. Ниже этой границы выделяется комплекс $S8$, характеризующийся развитием системы конусов выноса [Баскакова и др., 2021]. Отражающий горизонт $U9$ отождествляется с кровлей плиоценовых отложений, уверенно прослеживается на всей территории работ. Сейсмокомплексы выше и ниже этой границы ($S9$ и $S10$) на большей части территории исследований характеризуются выдержанными параллельными осями синфазности с разной динамической выразительностью, характерными для глубоководных песчано-глинистых отложений. Исключение составляет территория Керченско-Таманского прогиба, Гудаутского поднятия и Анапского выступа, находящихся в прибрежно-морских и мелководных обстановках осадконакопления в плиоцен-четвертичное время.

Наиболее представительные увеличенные фрагменты сейсмических профилей, показывающие основные особенности строения вышеописанных сейсмических комплексов, приведены на рис. 3.

В результате обобщенного анализа опубликованных [Sosson et al., 2017; Nikishin et al., 2003, 2015; Okay et al., 2015; Лыгина и др., 2019; Monteleone et al., 2019; Hippolyte et al., 2018; Maynard et al., 2020; Афанасенков и др., 2007; Tari et al., 2018], фондовых материалов и сейсмических данных была построена тектоностратиграфическая схема. На схему вынесены поверхности несогласий, обобщенный литологический состав пород и особенности геологического развития каждого тектонического элемента (рис. 4).

Результаты исследований и их обсуждение.

В геологической истории Восточно-Черноморского региона нами выделены четыре мегасеквенции, которые связаны с крупными этапами развития территории: 1) дорифтовый, предшествующий началу формирования Восточно-Черноморской впадины ($T-K_1b$); 2) синрифтовый, синхронный формированию Восточно-Черноморской впадины (K_1v-K_2st); 3) пострифтовый — фаза относительного тектонического спокойствия после формирования Восточно-Черноморской впадины (K_2st-K_2); 4) синорогенный этап развития, синхронный росту

Большого Кавказа — альпийским складчато-надвиговым деформациям (P_1-Q).

Геологическая история, предшествовавшая началу формирования Восточно-Черноморской впадины. Этап до начала формирования Восточно-Черноморской впадины в раннемеловое время (приблизительно валанжин–апт) включает обширный диапазон геологического времени со сменой тектонических обстановок. Его можно разделить на два интервала — докелловейский и келловейско-раннемеловой.

Докелловейский этап развития. В конце палеозоя во всем Черноморском регионе образовался складчатый пояс, включающий герциниды Большого Кавказа и Предкавказья, степного Крыма, северной части Турции (Центральные и Восточные Понтиды) и значительную часть Балкан, включая Добруджу [Афанасенков и др., 2007]. В ходе этих событий сформировалась континентальная кора. В триасе–средней юре (до келловейского века) в разных тектонических обстановках развивались глубоководные бассейны Большого Кавказа, Южного Крыма и ранне-среднеюрские надсубдукционные вулканические пояса. Пример — среднеюрский (байосский) вулканический пояс, который прослеживается от Севастополя вдоль вала Шатского и южного склона Большого Кавказа.

В предкелловейское время во время фазы складчатости произошла и тектоническая перестройка территории. В келловее–оксфорде установлена новая фаза рифтинга вдоль трога Большого Кавказа и в Южном Крыму. Главный пояс рифтогенных глубоководных прогибов проходил вдоль Большого Кавказа и вдоль восточной части Южного Крыма (в районе Судака). Синхронно с этими событиями за счет формирования многочисленных сбросов в северной части вала Шатского и в западной части Южного Крыма образовывался горст-грабенный палеорельеф. Этому этапу развития отвечает сейсмокомплекс $S1$, выделяемый по сейсмическим данным в пределах Вала Шатского. Амплитуда смещения по сбросам достигает ~500 м, разломы имеют преимущественно северо-западное–юго-восточное простирание и прослеживаются на расстояние более 6–10 км. Кровля сейсмокомплекса — поверхность несогласия $U1$ — отвечает подошве карбонатных отложений (рис. 2).

Келловейско-раннемеловой этап пострифтового погружения охарактеризован сейсмокомплексом $S2$. С келловее–оксфорда началось потепление климата. Келловей–оксфордские отложения детально описаны в Крыму, на Кавказе и на севере Турции в Понтидах [Okay et al., 2015]. Представлены они разнообразными фациями — от грубообломочных континентальных до мелководно-морских карбонатных. Верхнеюрско-берриасский карбонатный комплекс, покрывающий большую часть блоков современного Черноморского региона, имеет сходный облик во всем регионе от Добруджи (Румыния) и

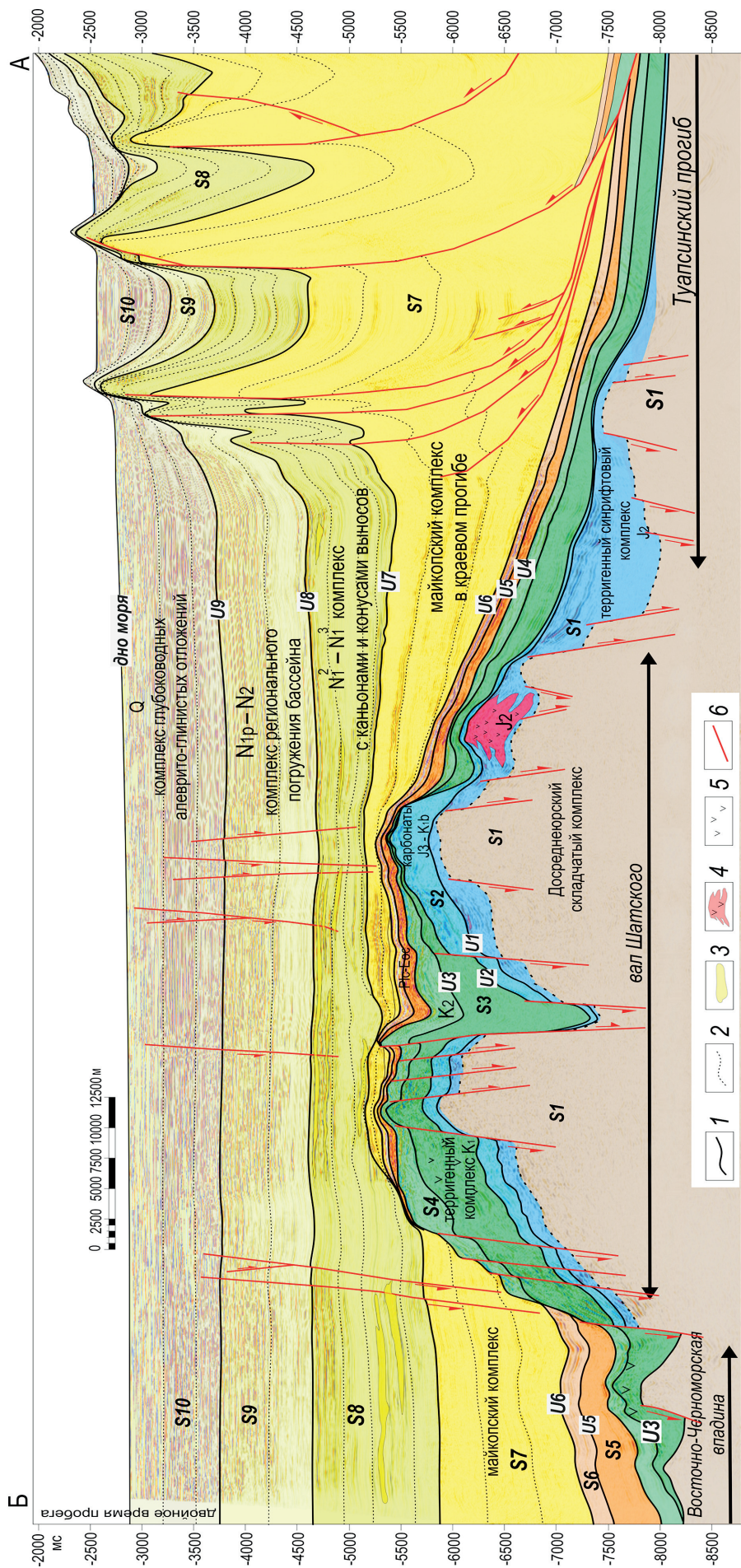


Рис. 2. Сейсмический профиль 2D с выделением региональных отражающих горизонтов и сейсмокомплексов (положение профиля показано на рис. 1): 1 — региональные отражающие горизонты; 2 — дополнительные отражающие горизонты; 3 — предполагаемые конусы выноса; 4 — предполагаемая вулканическая постройка; 5 — предполагаемые вулканогенно-осадочные породы; 6 — разрывные нарушения

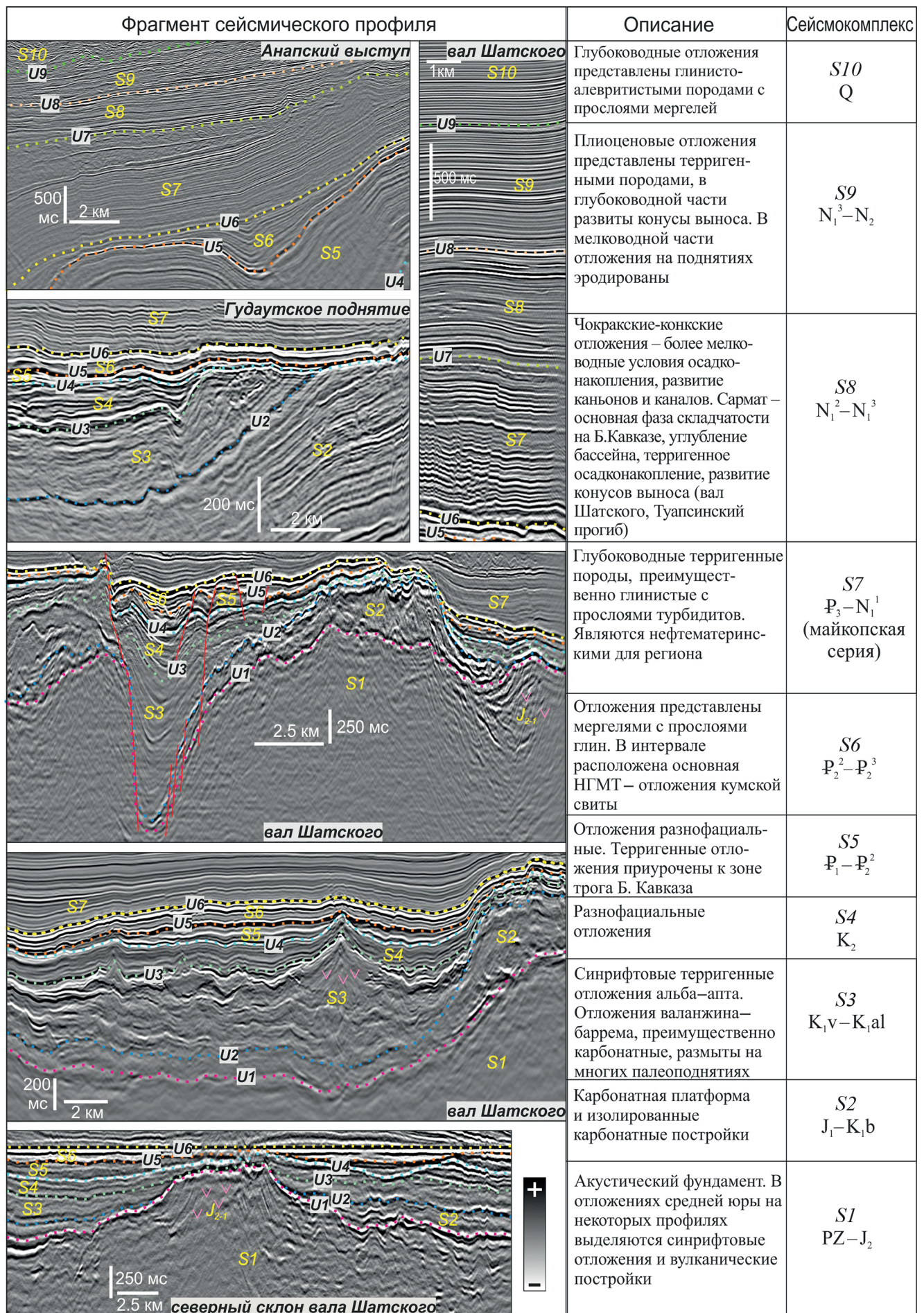


Рис. 3. Характеристика сейсмокомплексов и поверхностей несогласий, выделенных на сейсмическом данным в восточной части Черного моря

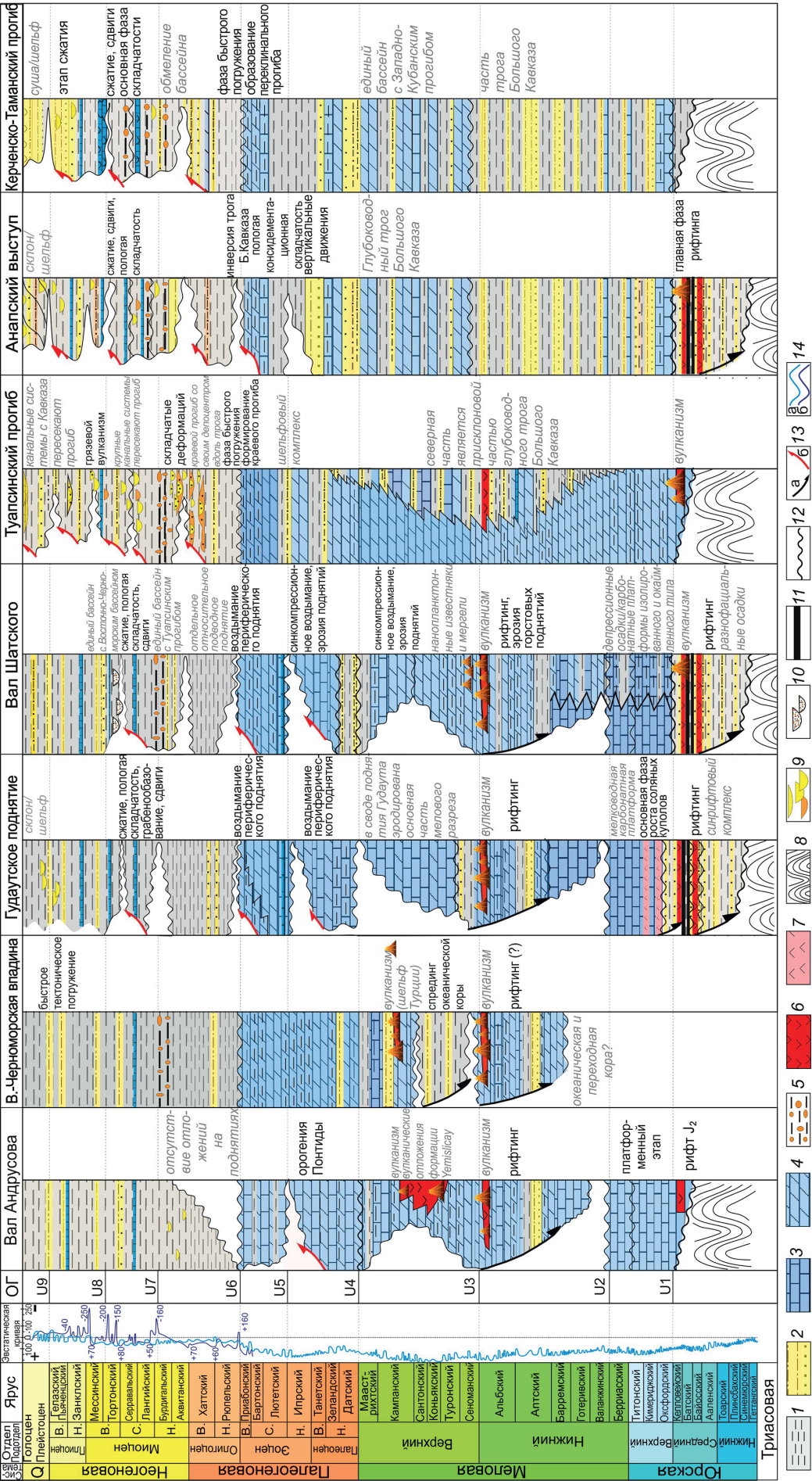


Рис. 4. Тектоностратиграфическая схема Восточно-Черноморского региона: 1 — глины, аргиллиты; 2 — песчано-алевритистые отложения; 3 — известняки; 4 — мергели; 5 — отложения транспорта масс; 6 — вулканогенно-осадочные породы; 7 — карбонатно-сульфатные отложения; 8 — отложения докембрийского складчатого фундамента; 9 — отложения каналов и конусов выноса; 10 — эрозионные толщи; 11 — несогласия; 12 — растяжения (a) и сжатия (б); 13 — тектонические события: этапы растяжения (a) и сжатия (б); 14 — эвстатическая кривая: глобальная (a) и локальная (б)

Понтид в Турции до районов Южного Крыма, Кавказа, Среднего Каспия и Узбекистана. К главным зонам накопления отложений относятся карбонатные платформы изолированного и окаймленного типа. Изолированные карбонатные платформы приурочены к приподнятым блокам фундамента, в пределах которых они формировались на фоне быстрого регионального погружения в условиях тропического климата. По сейсмическим данным такие платформы выделены в северо-западной части вала Шатского и, возможно, в северной части вала Андрусова (рис. 1). Примеры изолированных платформ, формировавшихся вдоль южного борта Судакского келловей-позднеюрского глубоководного трога, описаны в Восточном Крыму в районе г. Судак (Алчак-Кая и Коба-Кая) [Nikishin et al., 2015; Hippolyte et al., 2018].

В юго-восточной части вала Шатского и на Гудаутском поднятии по сейсмическим данным прогнозируется развитие отложений мелководного карбонатного шельфа в пределах окаймленной платформы с краевой рифовой системой барьерного типа. Классическим примером построек барьерного типа на краю окаймленной платформы считается Хадыженский рифовый пояс, который прослеживается вдоль всего Северного Кавказа на краю позднеюрского палеошельфа. Отложения мелководной карбонатной платформы описаны в Южном Крыму (например, Ай-Петри), Абхазии, Турции. В неокоме (берриасе–барреме) климат стал относительно менее жарким. При этом в южной части территории — в Понтидах, в Грузии, в юго-восточной части вала Шатского — продолжали формироваться карбонатные платформы. В районе Южного Крыма и Северного Кавказа формировались как карбонатные, так и терригенные разнофациальные осадки. В северо-западной части вала Шатского локально мог продолжаться рост карбонатных построек.

Геологическая история, синхронная времени формирования Восточно-Черноморской впадины. В истории формирования Восточно-Черноморской впадины можно выделить две основные стадии: стадия континентального рифтинга и стадия спрединга океанической коры.

Стадия континентального рифтинга в Восточно-Черноморском регионе по исследованиям многих авторов длилась с валанжина до конца альба [Monteleone et al., 2019; Sosson et al., 2017; Nikishin et al., 2015]. При этом выделяется несколько фаз: валанжин–ранний баррем, поздний баррем–апт, альб. Первые две фазы проявились в виде начала вертикальных движений и небольшого сбросообразования. Они известны, в частности, в Крыму [Nikishin et al., 2015]. Главная фаза континентального рифтинга в регионе происходила в альбское время, что подтверждается исследованиями Каркинитского грабена на одесском шельфе и сбросов альбского возраста при полевых работах в южной части Крыма.

Эта фаза рифтинга наиболее ярко проявилась в северной и центральной частях вала Шатского. На сейсмических данных выделяются узкие протяженные грабены, выполненные отложениями предположительно апт-альбского возраста (сейсмокомплекс S3 на рис. 2 и 3). Грабены простираются субпараллельно главному разлому, ограничивающему Восточно-Черноморскую впадину. В результате анализа стратиграфических срезов сейсмических данных 3D мы пришли к выводу, что грабены, скорее всего, имеют трансензионную природу с элементами правостороннего сдвига и локальным формированием бассейнов типа пулл-апарт. Синхронно с альбским (или валанжино-альбским) многофазным грабенообразованием в пределах вала Шатского происходили вертикальные движения — воздымание плечей рифтов (межграбеновых горстов) с возможным выводом их на поверхность и эрозией. В краевых частях Восточно-Черноморской впадины на сейсмических профилях также выделяются полуграбены предположительно альбского возраста. Согласно результатам интерпретации сейсмических данных, мощность нижнемелового комплекса значительно варьирует в пределах территории исследования. Максимальная толщина фиксируется между изолированными карбонатными платформами, в зоне грабенов и пулл-апартов, а также отвечает областям развития вулканизма и магматизма. Многочисленные проявления последнего отчетливо картируются в пределах вала Шатского по сейсмическим профилям и подтверждаются данными магниторазведки (рис. 3).

В пределах юго-восточной части Вала Шатского на сейсмических данных отчетливо выделяются различные интрузивные тела, вероятно, апт-альбского возраста, в том числе и внедрившиеся в карбонатную толщу. В волновом поле выделяются тела конической формы, отождествляемые нами с вулканическими постройками (рис. 3). Отсутствие признаков эрозии свидетельствует о вероятном подводном характере вулканизма, что исключает большое количество туфового и пеплового материала. Следовательно, аптские осадки могут не содержать заметной примеси вулканического материала.

Мы предполагаем, что выделяемые вулканы образованы в основном андезитами и андезитобазальтами, поскольку такой вулканизм наиболее типичен для надсубдукционных вулканических поясов. На прилегающей суше альбский вулканизм широко известен в Крыму и на одесском шельфе, типичен он и для Каркинитского грабена. В Крыму наиболее молодые отложения альба (так называемый терминальный альб) образуют с сеноманом единую секвенцию. Принимая во внимание эти факты, можно предположить, что в целом граница окончания континентального рифтинга приходится на границу альба и сеномана, но локально она может быть и внутри позднего альба. Согласно этим данным, граница рифт–пострифт (ОГ U3) в районе

вала Шатского проходит, вероятно, вблизи границы альба и сеномана.

Как уже было отмечено, предполагается, что раннемеловой рифтинг имел задуговой надсубдукционный характер. Зона субдукции проходила южнее пояса Понтид в Турции, где в раннем мелу был океан Тетис [Nikishin et al., 2015; Okay et al., 2015; Robinson et al., 1996].

Стадия спрединга океанической коры. Континентальный рифтинг в зоне Восточно-Черноморской впадины, имевший место приблизительно на границе альба и сеномана, привел к гиперутонению континентальной коры и спредингу океанической коры в осевой части бассейна. В Восточных Понтидах в сеномане происходил надсубдукционный вулканизм [Okay et al., 2015]. Отложения сеномана–нижнего сантона в Крыму, в Предкавказье и в районе Адлера образуют единый крупный комплекс, представленный в основном нанопланктонными известняками и мергелями. Отложения нижнего сеномана часто разнофациальные, иногда содержат примесь туфового материала. Базальтовый вулканизм широко проявился в сеноманское время в палеотроге Большого Кавказа. Вулканогенные породы (лавы) сеноманского возраста подтверждены в обнажениях Сочи-Адлерского района.

Предполагается развитие вулканогенных пород и в юго-восточной части Вала Шатского. В сейсмическом волновом поле они представлены локальными изометричными в плане телами, часто имеющими клиноформное строение и уплощенную форму, что свидетельствует в пользу их базальтового состава. По результатам интерпретации сейсмических данных для сеномана также выделены возможные лавовые горизонты. Сеноманский вулканизм носил внутриплитный характер и был в основном подводным. Судя по характеру сейсмической записи в сейсмокомплексе S4, в пределах северо-восточного окончания вала Шатского сохранялись локальные поднятия, на которых отложения верхнего мела отсутствуют либо размыты, и осадочный комплекс нижнего палеоцена залегает на нижнемеловых отложениях. Стадия спрединга океанической коры предположительно длилась до середины сантона. Окончание рифтинга в это время предполагается на основе анализа данных полевых работ на прилегающей суше. В Крыму внутри отложений сантонского яруса выделена граница поверхности несогласия в осадочном чехле.

Фаза относительного тектонического спокойствия после окончания формирования Восточно-Черноморской впадины с преимущественным карбонатным осадконакоплением в условиях умеренно-глубоководного шельфа длилась с середины сантона до конца мела. На кампанское время приходится максимальное развитие как подводного, так и островного вулканизма в Понтидах Турции, поэтому для кампана типичны вулканогенно-осадочные отложения и туфы. Скважина Синоп-1, пробуренная

на вале Андрусова, вскрыла, по-видимому, именно такие породы [Maynard et al., 2020; Tari et al., 2018]. Присутствие горизонтов вулканических пеплов в виде бентонитовых глин прогнозируется в пределах вала Шатского. Такие слои с мощностью не более 0,5–1 м известны, в частности, в Южном Крыму.

Геологическая история, синхронная кавказским (альпийским) складчатым деформациям. Альпийские складчатые деформации на Большом Кавказе и в Южном Крыму в слабой форме начали проявляться приблизительно с границы мела и палеоцена. Дальнейшая история развития Восточно-Черноморского региона тесно связана с ростом орогенов Большого Кавказа и Понтид. В истории тектонических деформаций, синхронных росту Кавказа, нами выделены три эпохи: палеоцен-эоценовая, майкопская (олигоцен–нижний миоцен) и среднемиоцен-четвертичная.

Палеоцен-эоценовая эпоха геологического развития. В Восточных Понтидах Турции на палеоцен и начало эоцена приходится основная стадия орогении с внедрением интрузий [Okay et al., 2015]. Разрезы палеоцена–эоцена хорошо изучены в обнажениях Южного Крыма [Lygina et al., 2016; Лыгина и др., 2019], где этапы эрозии выделены на границе мела и палеоцена, а также в подошве танета и в середине ипра. Предъипрская эрозия составляла до 100–500 м. Фаза предъипрской эрозии, возможно, включает в себя и предтанетскую, поскольку местами отложения нижнего мела перекрываются отложениями верхнего ипра.

На сейсмических профилях в районе валов Шатского и Андрусова, Анапского выступа и Гудаутского поднятия в интервале палеоцена–эоцена выделены три поверхности несогласия: преддатская — U4, предлютетская — U5 (вероятно, соответствует интра-ипрскому несогласию в Южном Крыму), а также предолигоценное несогласие — U6. Сейсмокомплексы S5 и S6, отвечающие отложениям палеоцена–эоцена, по динамическим характеристикам уверенно отделяются от перекрывающего комплекса олигоцен-миоценовых отложений.

На валу Шатского поверхности несогласий хорошо прослеживаются во впадинах между изолированными карбонатными платформами, где мощность отложений достаточно большая. На трех нижних фрагментах сейсмических профилей (рис. 3) выделяются синрифтовые отложения мела (сейсмокомплексы S3–S4), отложения палеоцена–нижнего эоцена, повторяющие приблизительно форму рельефа нижележащих отложений (S5), и субгоризонтально залегающие отложения среднего–верхнего эоцена (S6). В зонах палеоподнятий, представленных верхнеюрско-берриасскими карбонатными платформами, рассматриваемый комплекс значительно сокращен. В сводовых частях этих поднятий эрозионная поверхность фиксируется по прекращению прослеживания (полного или частичного) комплексов S4, S5 и S6, что отмечено в

тектоностратиграфической схеме значительными стратиграфическими перерывами (рис. 4).

В районе Анапского выступа локально наблюдается предлютетское (или интраипрское) угловое несогласие (рис. 3) Это означает, что в районе Анапского выступа складчатые деформации начались не позже среднего эоцена, а к концу эоцена произошла инверсия прогиба [Баскакова и др., 2018]. Отложения палеоцена–эоцена накапливались в относительно глубоководных обстановках с преимущественно терригенным осадконакоплением. На валах Андрусова и Шатского отложения палеоцена представлены карбонатами, эоцена — мергелями и глинистыми карбонатами. В районе прогиба Сорокина и Керченско-Таманского прогиба разрез представлен известковистыми глинами, известковистыми аргиллитами с тонкими прослоями алевролитов. В разрезах южного склона Северного Кавказа (Анапский, Джубгинский, Туапсинский, Сочинский районы) отложения палеоцена–эоцена — это флишевое чередование слоев известковистых песчаников и известковистых аргиллитов [Афанасенков и др., 2007].

В целом можно отметить, что региональные складчатые деформации и синкомпрессионные вертикальные движения в Восточно-Черноморском регионе начались с середины эоцена. Для палеоцена и раннего эоцена установлены локальные деформации сжатия. В конце эоцена происходило обширное затопление территории и формирование регионально развитой нефтегазоматеринской толщи — кумской свиты.

Майкопская (олигоцен-нижнемиоценовая) стадия геологического развития характеризуется сейсмокомплексом S7. Граница эоцена и олигоцена прослеживается как региональная поверхность несогласия U6, которая в волновом поле фиксируется подошвенным налеганием. На рубеже эоцена и олигоцена началось формирование краевых (Туапсинского, Сорокина) и передового (Керченско-Таманского) прогибов, которые и стали основным депоцентром осадконакопления. Разрезы майкопской серии (олигоцен–раннего миоцена) хорошо изучены в Южном Крыму и на Большом Кавказе. Эти отложения выполняют краевые прогибы и перекрывают все структуры черноморского бассейна. В позднемайкопское время в этих прогибах начались складчатые деформации. В краевых прогибах срыв (детachment) возник вблизи подошвы отложений майкопа. Наиболее древние складчатые деформации отмечены в районе орогенов [Альмендингер и др., 2011; Митюков и др., 2012]. В Керченско-Таманском прогибе поверхность срыва отсутствует, и процесс образования складок охватывает одновременно отложения мезозоя и кайнозоя. Наиболее высокоамплитудные складки выделены на границе с Анапским выступом. Основание разреза майкопа изучено вдоль р. Псахо между г. Адлер и Красной Поляной, где на глинах и мергелях верхнего эоцена согласно и без стратиграфического перерыва залегают глины

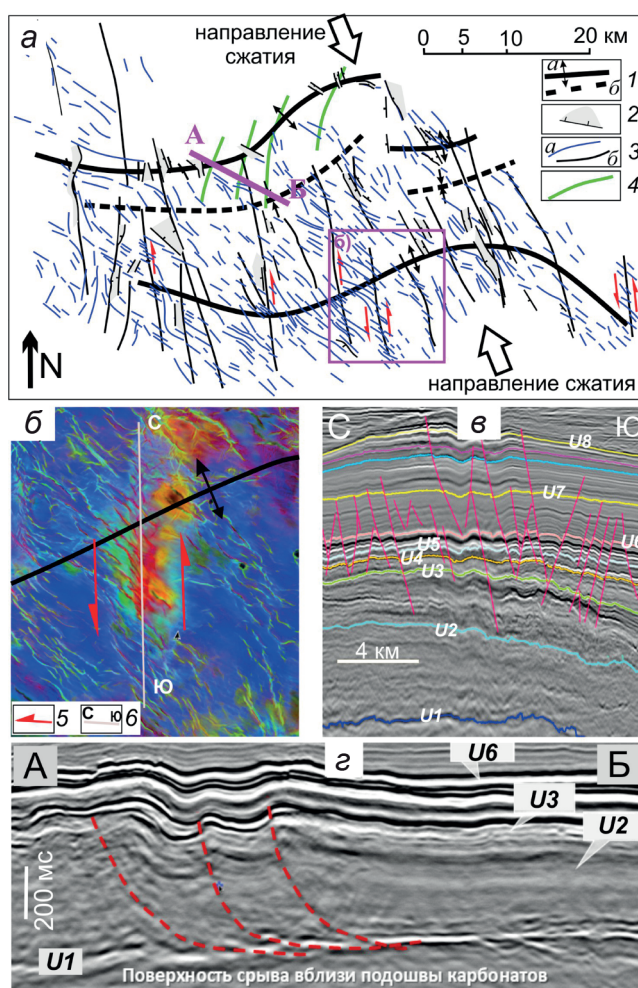


Рис. 5. Деформации на вале Шатского в майкопское время: а — структурный рисунок выделенных дизъюнктивных систем: 1 — оси антиклиналей (а) и синклиналей (б); 2 — грабены; 3 — сбросы (а), разломы без указания кинематики, преимущественно сдвиги (б); 4 — оси складок с детачментом вблизи подошвы карбонатов; б — фрагмент стратиграфического слайса спектральной декомпозиции вблизи ОГ U7; в — сдвиговые смещения; г — положение сейсмического профиля С–Ю; фрагменты сейсмических профилей: д — с системой сбросо-сдвиговых нарушений; е — с надвигами в верхнеюрско-берриасском карбонатном комплексе (положение профиля А–Б см. на фрагменте а)

с горизонтами турбидитов нижнего олигоцена. Подобный прогнозный разрез предполагается нами и в пределах большей части Туапсинского прогиба.

В северо-восточной части вала Шатского по сейсмическим данным выявлены участки, где верхнемайкопский комплекс картируется непосредственно над верхнемеловым, а на отдельных участках и над нижнемеловым комплексами. Аналогичный тип контакта майкопа с подстилающими отложениями наблюдается в разрезах горы Ак-Кая и карьера возле с. Пролом в Крыму, где относительно глубоководные глины верхнего майкопа с размывом залегают на нуммулитовых известняках верхнего ипра-нижнего лютеция. Отсутствие в разрезе в пределах вала Шатского отложений эоцена и олигоцена интерпретируется нами как проявление в это время

фазы тектонических деформаций с подводной эрозией. Южная часть вала Шатского испытывала относительное воздымание, а северная — погружение в сторону зарождающегося краевого Туапсинского прогиба. Сам вал в майкопское время представлял собой периферическое поднятие.

В ходе интерпретации сейсмических данных 3D впервые были выявлены значительные деформации, имевшие место в майкопское время в пределах вала Шатского. По карте изохрон отражающего горизонта *U6* выделены системы микрограбенов субмеридионального простирания шириной несколько километров и малоамплитудные складки субширотного простирания в отложениях верхней юры–майкопа (рис. 5, а). Диагонально к основному направлению выделены надвиги с детачментом вблизи основания толщи карбонатов (рис. 5, з) и сдвиговые зоны (рис. 5, б). Общий структурный рисунок указывает на значительное сжатие вала Шатского северо-западного-юго-восточного простирания, проявившееся в майкопское время (рис. 5). В этой обстановке также реактивировались некоторые главные сдвиговые зоны субширотного простирания на южном краю вала Шатского (рис. 1).

В конце майкопа произошел важный этап в развитии региона — образование осадков транспорта масс (МТС — mass transport complex). Единое тело МТС сформировалось от Анапского выступа до северной части Восточно-Черноморского бассейна и вала Шатского [Баскакова и др., 2021]. Это означает, что Туапсинский прогиб закончил свое развитие как отдельный депоцентр в Черноморском бассейне, и возник единый обширный бассейн с наклоном дна от Большого Кавказа к Восточно-Черноморской впадине. Этот момент соответствует и окончанию майкопских деформаций сжатия в пределах северо-западной части вала Шатского.

Среднемиоцен-четвертичная эпоха геологического развития характеризуется сейсмокомплексами S8–S10. В среднем миоцене–квартере основные деформации сконцентрировались в зонах Большого Кавказа, Южного Крыма и в примыкающих к ним прогибах: Туапсинском, Сорокина и Керченско-Таманском, при этом происходило последовательное расширение суши Кавказских гор и Южного Крыма.

Территория Туапсинского прогиба претерпела повторный этап прогибания. На сейсмических данных он выделяется по наличию углового несогласия (по типу налегания) отражающих границ со стороны прогиба на вал Шатского. В районе Туапсинского прогиба складчатые деформации происходили непрерывно с позднего майкопа (рис. 4, б). Активизация процессов складкообразования фиксируется в среднем сармате, меотисе и акчагыле; при этом разные складки начинали рост в разное время [Альмендингер и др., 2011]. Складки формировали гряды на дне моря, которые подвергались подводной эрозии. Процесс седиментации происходил одновременно с образованием складок. Неравномерность

фаз роста складок показана на рис. 2. Складчатость сопровождалась глиняным диапиризмом и грязевым вулканизмом. По результатам интерпретации сейсмических данных сделан вывод о том, что грязевой вулканизм начался не позже меотического времени.

На вале Шатского этот этап отразился в повторной реактивации разломов и локальной инверсии рифтов, заложившихся в меловое время, на фоне региональной фазы сдвига-сжатия. По сейсмическим данным фиксируется смещение осей синфазности по разломам вплоть до миоценового интервала разреза. Вдоль северной границы вала Шатского и в районе структуры Мария [Афанасенков и др., 2007] в среднемиоценом комплексе выделены несогласия, прослеживающиеся в зоне развития подводных эрозионных палеоканалов. Более подробно формирование подводных каналов в разные периоды геологической истории рассмотрено в работе [Баскакова и др. 2021]. Юго-восточная часть вала оставалась палеоподнятием вплоть до плиоцена. С плиоцена обстановки осадконакопления в акватории Черного моря были близки к современным.

В районе Керченско-Таманского прогиба с сармата произошло обмеление шельфа, а также вывод отложений в сводах складок в зону эрозии, некоторые складки могли выходить на поверхность, формируя систему островов. Конседиментационные отложения среднемиоценового возраста выделяются по сейсмическим профилям. В районе Таманского п-ова в обнажениях были обнаружены конседиментационные складки в сарматских отложениях и система взброс/флексур в меотических отложениях, что также свидетельствует об обстановках сжатия в регионе.

В результате анализа построенной тектоностратиграфической схемы (рис. 4) нами сделан вывод, что тектонические движения, в районе северо-западного Кавказа, начиная с палеоцена и по настоящее время, происходят практически непрерывно (рис. 6).

Заключение. Комплексная интерпретация геолого-геофизических данных с использованием методов тектоностратиграфии позволила построить обобщенную тектоностратиграфическую схему для рассматриваемого региона. Схема отображает основные события в истории геологического развития территории, и в прикладном назначении может быть использована для оценки потенциала нефтегазоносности территории и геологических рисков, связанных с развитием элементов нефтегазовых систем и формированием залежей углеводородов.

В истории развития Восточно-Черноморского региона по сейсмическим данным выделено четыре тектоностратиграфические единицы: 1) дорифтовый комплекс, который отвечает этапу развития до начала формирования Восточно-Черноморской впадины (Т– K_1b); 2) синрифтовый комплекс (K_1v – K_2st) — этап, синхронный с формированием Восточно-Черноморской впадины; 3) пострифтовый комплекс (K_2st – K_2), который соответствует фазе относительного

тектонического спокойствия после формирования Восточно-Черноморской впадины; 4) синорогенный комплекс характеризует этап развития, синхронный росту Большого Кавказа — альпийским складчато-надвиговым деформациям (P₁–Q).

В палеоцен-эоценовом интервале разреза выделены три поверхности несогласия, которые были соотнесены с тектоническими событиями в районе орогена Понтид. Внутриэоценовое несогласие выделяется на всех рассмотренных тектонических элементах.

К концу майкопского времени в Восточно-Черноморском регионе сформировался единый обширный бассейн с уклоном палеоповерхности морского дна по направлению от Большого Кавказа к Восточно-Черноморской впадине. Туапсинский прогиб закончил свое развитие как отдельный депозентр.

На вале Шатского сбросовые тектонические нарушения субширотного простирания, образовавшиеся в меловое время, претерпели реактивацию в олигоцене и в среднем миоцене. В юрско-нижнемеловых карбонатных отложениях впервые выявлены признаки складчато-надвиговых и сдвиговых деформаций майкопского возраста.

Для районов Туапсинского и Керченско-Таманского прогибов складчатые деформации начались не позднее раннего миоцена и почти непрерывно продолжаются до настоящего времени. Из этого следует, что для Большого Кавказа не корректно вы-

Отдел Подотдел	Ярус	ОГ	Тектонические события
Голоцен		U9	↑ рост складок, разрыв отложений в сводах
Плиоцен	В. Гелазский	U8	↑ складчатость в прогибах, грязевой вулканизм
	Н. Занкльский		
Миоцен	Мессинский	U7	↑ рост складок в центральной части ТП
	В. Тортонский		
	С. Серравальский		
	Лангийский		
	Н. Бурдигальский		
Олигоцен	В. Хаттский	U6	↑ крупная фаза складчатости; детачмент в ТП и рост складок в КТП, развитие каньонов
	Н. Рюпельский		
Эоцен	В. Приабонский	U5	↑ сжатие, пологая складчатость в прогибах, областях ближе к орогену, сдвиги
	С. Бартонский		
	Н. Лютетский		
Палеоцен	В. Танетский	U4	↑ начало складчатых деформаций в прогибах
	Н. Зеландский		
	Н. Датский		

Рис. 6. Обобщенная схема тектонических событий Северо-Западного Кавказа (в. — верхний, с. — средний, н. — нижний)

делять отдельные фазы складчатости; имела место непрерывная кавказская складчатость.

Благодарности. Авторы выражают благодарность компании ПАО «НК «Роснефть» за предоставленную возможность использовать и публиковать материалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Альмендингер О.А., Митюков А.В., Мясоедов Н.К., Никишин А.М. Современный рост складок, процессы эрозии и седиментации в глубоководной части Туапсинского прогиба в Черном море по данным 3D сейсморазведки // Докл. РАН. 2011. Т. 439, № 1. С. 76–78.

Афанасенков А.П., Никишин А.М., Обухов А.Н. Геологическое строение и углеводородный потенциал Восточно-Черноморского региона. М.: Научный мир, 2007. 172 с.

Баскакова Г.В., Кулюкина Н.А., Арзамасцева Т.А. и др. Палеогеоморфологический анализ олигоцен-неогеновых отложений северо-восточной части Черного моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2021. № 4. С. 38–52.

Баскакова Г.В., Никишин А.М. История формирования района Керченско-Таманской зоны на основе реконструкции сбалансированного регионального разреза // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2018. № 4. С. 23–29.

Государственная геологическая карта СССР. Сер. Крымская. Листы L-37-XIX, XXV. Масштаб 1:200 000, 1971 г. / Ред. М.В. Муратов. Днепрогеология, Крымнефтегазразведка, 1971.

Лыгина Е.А., Никишин А.М., Тверитинова Т.Ю. и др. Эоценовые палеосейсмодислокации горы Ак-Кая (Белогорский район, Крым) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019. № 1. С. 44–54.

Митюков А.В., Никишин А.М., Альмендингер О.А. Седиментационная модель майкопских отложений Туапсинского прогиба в Черном море по данным 3D сейсморазведки и полевым работам на Западном Кавказе и в

Крыму // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2012. № 2. С. 5–20.

Никишин А.М., Конаевич Л.Ф. Тектоностратиграфия как основа палеотектонических реконструкций // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 5–20.

Пинус О.В., Асеев А.А., Колосков В.Н. и др. Интерпретация структурно-тектонического строения северо-западной акватории Черного моря с целью оценки перспектив ее нефтегазоносности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9, № 1. С. 1–13.

Пинус О.В., Колосков В.Н., Хипели Р.В., Надежкин Д.В. Сиквенс-стратиграфия неоген-четвертичного разреза северо-западной акватории Черного моря // Геология нефти и газа. 2014. № 2. С. 46–53.

Сенин Б.В. Разработка сейсмогеологической модели Восточно-Черноморской впадины и вала Шатского на основе сети опорных профилей. Геленджик, 2003. 107 с.

Geological Map of the Caucasus. Scale 1:1 000 000 / Ed. Sh. Adamia Compiled by: Adamia Sh., Chabukiani A., Chkhotua T. et al. // M. Nodia institute of geophysics. I. Javakhishvili Tbilisi state university. St. Andrew Georgian university, 2010.

Gozhyk P.F., Maslun N.V., Voizizky Z. Ya. et al. Stratigraphic Structure of Cenozoic Deposits of Prekerch Shelf and East Black Sea Basin // AAPG Europ. Region Ann. Conf. Kiev, 2010.

Graham R., Kaymakci N., Horn B. W. The Black Sea: something different? // GeO ExPro. 2013. Vol. 10, N 5. P. 58–62.

Hippolyte J.-C., Murovskaya A., Volfman Y. et al. Age and geodynamic evolution of the Black Sea Basin: tectonic

evidences of rifting in Crimea // *Marin. Petrol. Geol.* 2018. Vol. 93. P. 298–314.

Lygina E.A., Fokin P.A., Kopaevich L.F. Nummulitic facies of the Crimean-Caucasian Region // *Turkish J. Earth Sci.* 2016. Vol. 25. P. 163–178.

Maynard J.R., Erratt D. The Black Sea, a tertiary basin: Observations and insights // *Marin. Petrol. Geol.* 2020. Vol. 118. P. 621–636.

Nikishin A.M., Korotaev A.M., Ershov A.V., Brunet M.-F. The Black Sea basin: tectonic history and Neogene–Quaternary rapid subsidence modelling // *Sedimentary Geol.* 2003. Vol. 156. P. 149–168.

Monteleone V., Minshull T.A., Marin-Moreno H. Spatial and temporal evolution of rifting and continental breakup in the Eastern Black Sea Basin revealed by long-offset seismic reflection data // *Tectonics*. 2019. Vol. 38. P. 1–22.

Nikishin A.M., Okay A., Tüysüz O. et al. The Black Sea basins structure and history: New model based on new deep penetration regional seismic data. Pt. 1. Basins structure and fill // *Marin. Petrol. Geol.* 2015a. Vol. 59. P. 638–655.

Nikishin A.M., Okay A., Tüysüz O. et al. The Black Sea basins structure and history: New model based on new deep penetration regional seismic data. Pt. 2. Tectonic history and paleogeography // *Marin. Petrol. Geol.* 2015b. Vol. 59. P. 656–670.

Nikishin A.M., Wannier M., Alekseev A.S. et al. Mesozoic to recent geological history of southern Crimea and the Eastern Black Sea region // *Tectonic evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus* // *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 2015. Vol. 428. P. 241–264.

Okay A.I., Nikishin A.M. Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region // *Intern. Geol. Rev.* 2015. Vol. 57, N 5–8. P. 1051–1076.

Palabiyik Y., Ozdemir A., Karatas A. The potential targets and drilling location suggested for hydrocarbon discovery of turkey in the Black Sea basin // *Intern. Black Sea Coastline Countries Scientific Res. Symp.-IV. Turkey, Giresun*, 2020. P. 101–120.

Robinson A.G., Rudat J.H., Banks C.J., Wiles R.L.F. Petroleum geology of the Black Sea // *Marin. Petrol. Geol.* 1996. Vol. 13, N 2. P. 195–223.

Sosson M., Stephenson R.A., Adamia S.A. (eds) Tectonic evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus: An introduction // *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 2017. Vol. 428 (16). P. 307–321.

Stovba S., Khriachtchevskaia O., Popadyuk I. Hydrocarbon-bearing areas in the eastern part of the Ukrainian Black Sea // *Lead. Edge*. 2009. Vol. 28. P. 1042–1045.

Sydorenko G., Stephenson R., Yegorova T. et al. Geological structure of the northern part of the Eastern Black Sea from regional seismic reflection data including the DOBRE-2 CDP profile // *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 2017. Vol. 428. P. 307–321.

Tari G.C., Simmons M.D. History of deepwater exploration in the Black Sea and an overview of deepwater petroleum play types // *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 2018. Vol. 464. P. 439–475.

Tari G.C., Vakhania D., Tatishvili G. Stratigraphy, structure and petroleum exploration play types of the Rioni Basin Georgia // *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 2018. Vol. 464 (14). P. 403–438.

Статья поступила в редакцию 31.01.2022,
одобрена после рецензирования 09.03.2022,
принята к публикации 31.08.2022