

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.8

О.А. Хлебникова¹, Я.Е. Терёхина²

НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ В РАЗРЕЗЕ ВОСТОЧНОЙ КОТЛОВИНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО 3D СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1*

В разрезе восточной котловины Черного моря и Кавказского континентального склона по данным 3D сейсморазведки впервые обнаружены и описаны уникальные объекты — вертикальные палеоструктуры проседания в верхнемеловых—нижнемеловых отложениях. Особенность этих структур — близкая к изометричной форма в плане. Всего выделено около 40 объектов на площади более 1000 м². В качестве мировых аналогов с близкой волновой картиной на сейсмических данных предложены «многофазные» палеопокмарки, а также карстовые провалы (воронки). Рассмотрены соответствующие модели образования, однако ни одна из теорий не позволяет сделать окончательный вывод о генезисе обнаруженных палеоструктур. Обнаруженные объекты уникальны и требуют дальнейшего изучения.

Ключевые слова: карст, провалы, вал Шатского, 3D сейсмические данные, Черное море.

In the section of the eastern Black Sea basin and the Caucasus continental slope, according to 3D seismic data, unique objects were first discovered and described — vertical failure in the Upper Cretaceous — Lower Miocene deposits. An interesting feature of these structures is a close to isometric shape in plan. About 40 objects have been identified on an area of more than 1000 m². «Bulls-eye» («multiphase») paleo-pockmarks [Andresen, Huuse, 2011], as well as karst collapse [Zuo et al., 2009] are proposed as world analogues with a similar wave pattern on seismic data. The corresponding genesis models are considered, but none of the theories allows drawing a conclusion. The discovered objects are unique and require further investigation.

Key words: karst collapse, the Shatsky Ridge, 3D seismic data, Black Sea.

Введение. С начала 1950-х гг. с распространением дистанционных методов исследования началось изучение строения и особенностей разреза осадочного бассейна Черного моря. Со временем появились все более совершенные методы исследований, улучшились качество и достоверность получаемых результатов, появилась возможность комплексного анализа данных, полученных разными методами. Из-за наличия в разрезе перспективных нефтегазоматеринских пород, а также относительной доступности (в сравнении с Арктическими морями), Черное море не перестает быть объектом для многих исследователей и сейчас [Nikishin et al., 2015, 2017; Tari, Simmons, 2018; Hillman et al., 2018]. Но несмотря на более чем полувековую историю пристального изучения, в разрезе этого бассейна можно обнаружить еще много уникальных объектов.

Материалы и методы исследований. Для анализа разреза подножия континентального склона и глубоководной котловины Восточно-Черноморской впадины были использованы 3D данные

сейсморазведки высокого разрешения. Куб покрывает территорию площадью около 3500 км² и расположен вдоль восточного побережья моря от г. Туапсе до г. Сочи (рис. 1). Максимальная глубина распространения сейсмических данных составляет около 2 км от поверхности морского дна.

Результаты исследований и их обсуждение. *Описание разреза.* В тектоническом плане территория исследований расположена на вале Шатского и не захватывает Туапсинский прогиб. Стратиграфия отложений весьма условна, так как отсутствуют прямые скважинные данные. Для определения относительного возраста пород разреза выполнена корреляция с региональными профилями, опубликованными в работе [Nikishin et al., 2015].

При интерпретации разрез был разбит на три крупных сейсмических комплекса. Волновая картина нижнего сейсмокомплекса (СК1) представлена параллельными протяженными отражениями с резким увеличением амплитуды снизу вверх. Эта толща разбита многочисленными разрывными нарушениями, выходящими за ее пределы

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, ассистент; *e-mail:* oxana.khlebnikova@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, науч. с.; *e-mail:* yana.msu@gmail.com

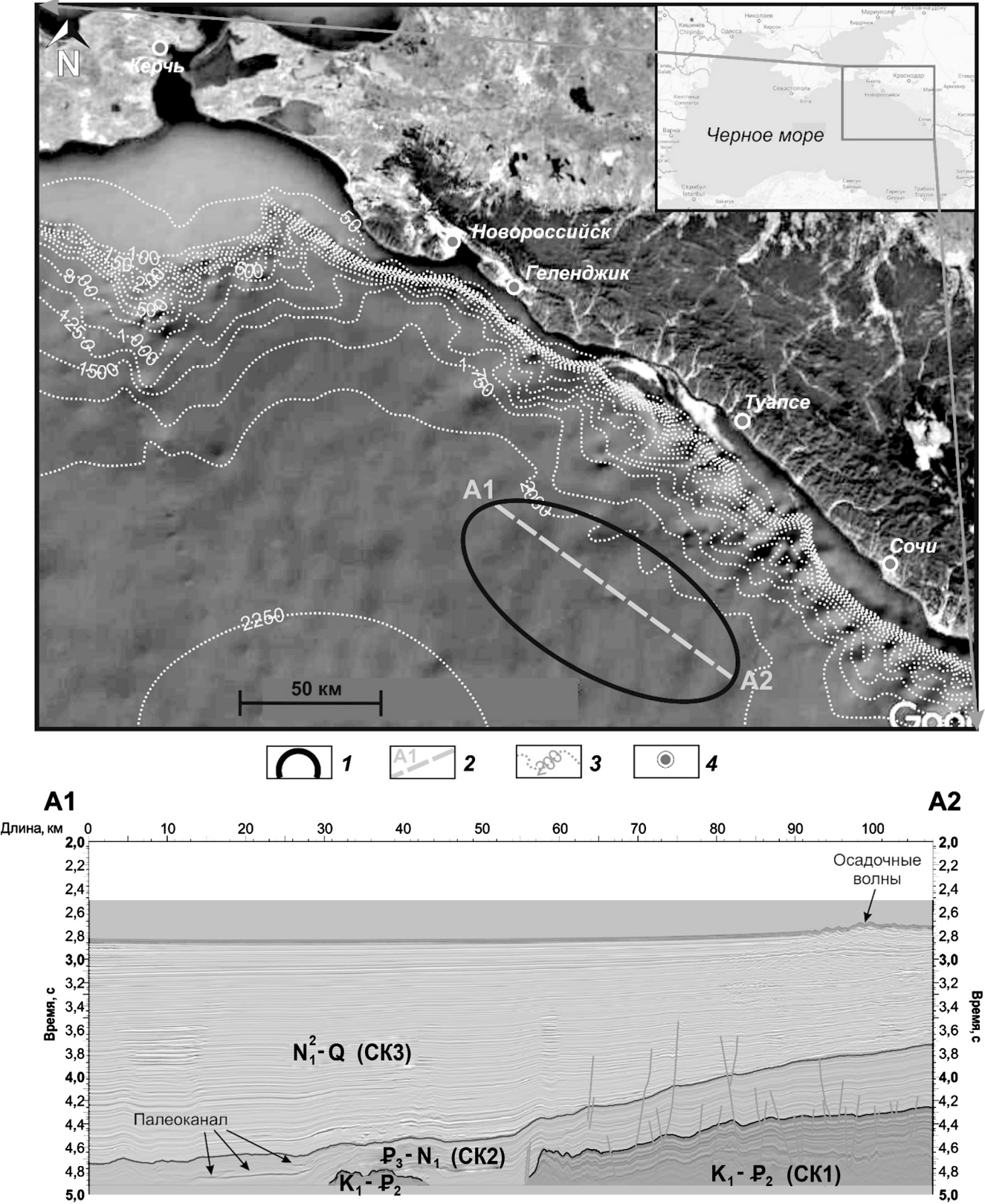


Рис. 1. Фрагмент космоснимка (программа GoogleEarth Pro) с нанесенными изобатами (вверху), область исследований расположена в нижней части материкового склона с глубиной воды 1000–2000 м, и интерпретация наиболее протяженного профиля (внизу): 1 – область исследования; 2 – положение профиля; 3 – изобаты, сечение 50 м; 4 – крупные населенные пункты

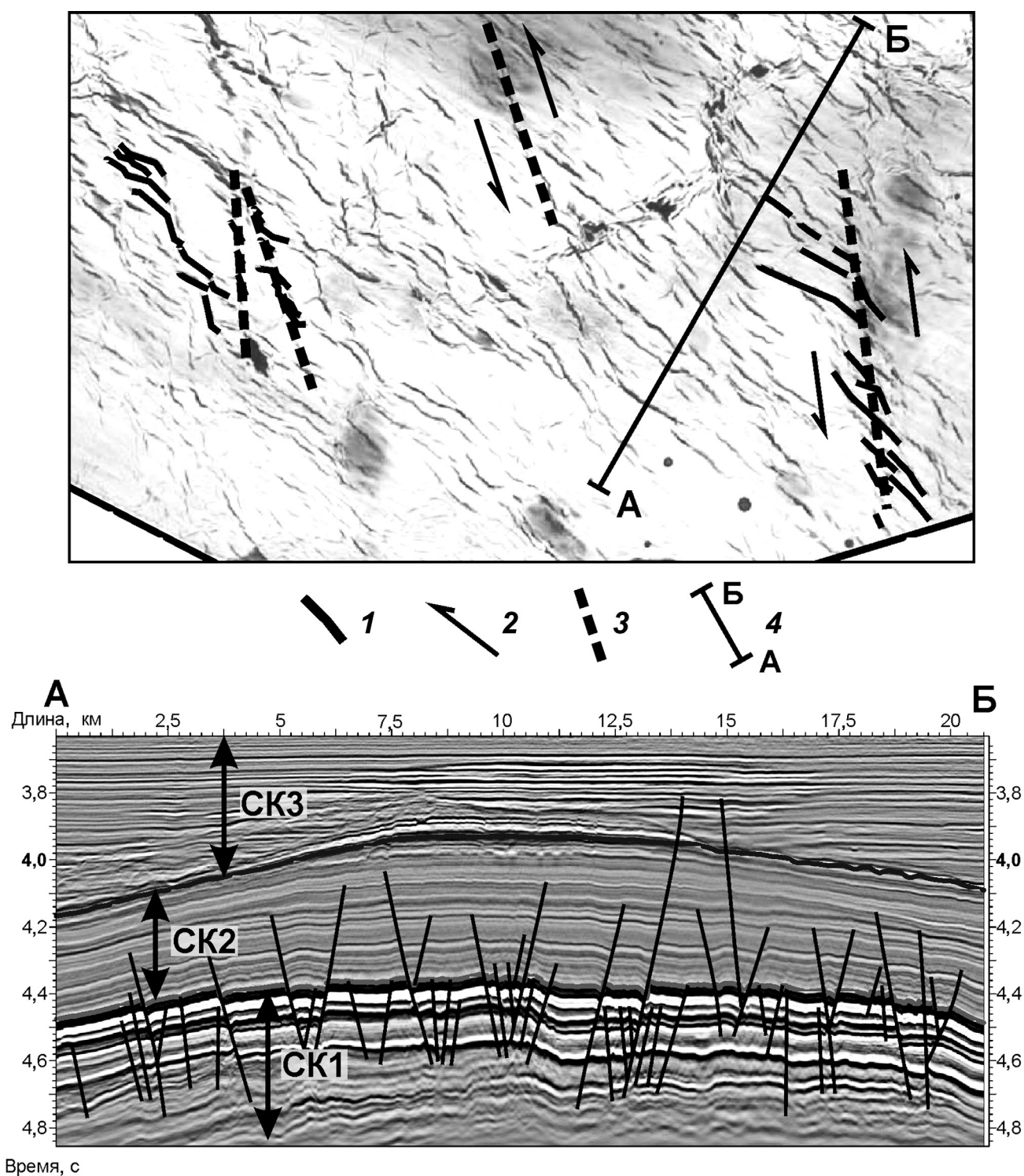


Рис. 2. Фрагмент карты кровли СК1 по атрибуту когерентность, темные линии — разрывные нарушения (вверху) и фрагмент сейсмического профиля с интерпретацией разломов (внизу): 1 — некоторые малоамплитудные сбросы; 2 — линии предполагаемых правосторонних сдвигов; 3 — направление движения; 4 — положение профиля

вверх по разрезу. Снизу комплекс СК1 ограничен глубиной, до которой имеются данные, поэтому подошва комплекса не выделена. Видимая мощность варьирует от 0 до 600 м. Возраст отложений интерпретируется как ранний мел-эоцен (K_1-P_2). В целом эта толща имеет антиформную структуру, протягивается вдоль побережья и, вероятно, соответствует верхней части вала Шатского.

Выше без видимого углового несогласия залегают комплекс СК2, в стратиграфическом плане отнесенный к майкопской серии (P_3-N_1). Волновая картина комплекса неоднородна, характеризуется преимущественно протяженными субпараллельными осями синфазности со средними значениями амплитуд. По латерали встречаются протяженные участки с низкоамплитудной записью, плохо про-

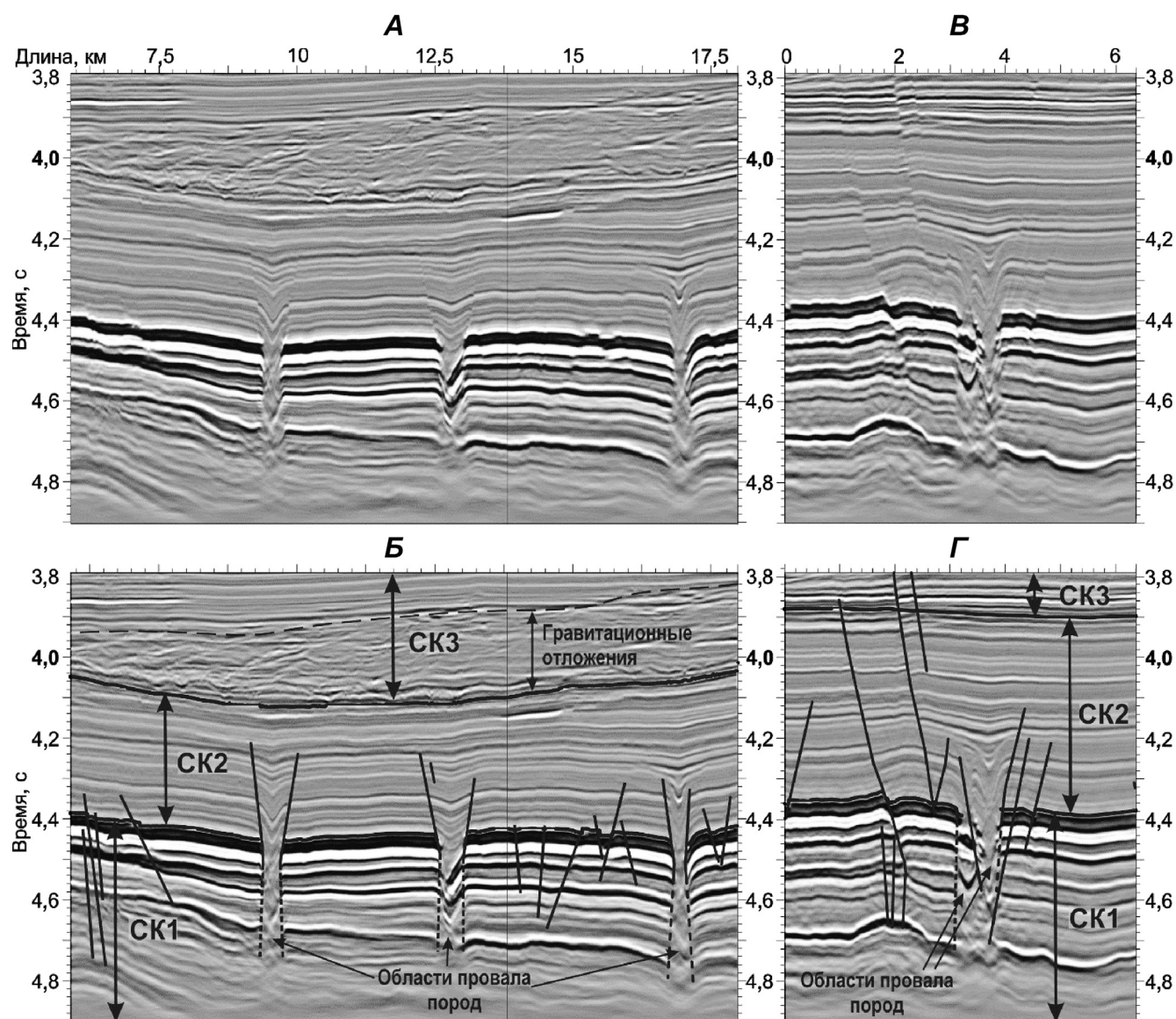


Рис. 3. Фрагмент амплитудного профиля произвольной формы без интерпретации через три аномальные зоны (положение см. на рис. 4, А, профиль 1) (А) и аналогичный фрагмент амплитудного профиля с интерпретацией, отмечены все основные элементы разреза (положение см. на рис. 4 А, профиль 1) (В); В — фрагмент амплитудного профиля без интерпретации через сдвоенную аномальную зону (положение см. на рис. 4, А, профиль 2); Г — фрагмент амплитудного профиля с интерпретацией, аналогичный В, отмечены все основные элементы разреза (положение см. на рис. 4, А, профиль 2)

слеживаемыми отражениями вплоть до хаотичной волновой картины. Отмечены локальные участки с резким повышением амплитуды. Выявлено распространение и затухание разрывных нарушений из нижележащей толщи. Лишь единичные разломы пересекают кровлю комплекса и прослеживаются вверх по разрезу. Мощность СК2 составляет 80–650 м.

Верхний сейсмокомплекс (СК3) перекрывает нижележащие отложения с небольшим угловым несогласием. Он представлен протяженными субгоризонтальными параллельными и ненарушенными отражениями, и лишь в восточной части наблюдаются оси синфазности волнистой морфологии общей толщиной около 400 м от морского дна. Эти отложения интерпретируются как осадочные волны. Мощность всего комплекса

составляет 900–1800 м. Толща СК3 предположительно относится к среднему миоцену–квартеру ($N_1^{2-3}-Q$).

В нижней части разреза, в пределах СК1 и СК2, обнаружено множество разрывных нарушений. Больше всего их выделено в СК1, и лишь единичные разрывы пересекают кровлю СК2. Распространение разломов в плане, а также их сбросовая составляющая позволяют сделать вывод, что это область левосторонней трансформации (рис. 2).

Палеоструктуры. При анализе разреза в сейсмокомплексах СК1 и СК2 обнаружены вертикальные зоны с резким проседанием осей синфазности и с небольшим понижением значений амплитуды внутри них (рис. 3). Эти зоны часто ограничены с двух сторон разрывными нарушениями. В плане они имеют почти идеальную округлую форму

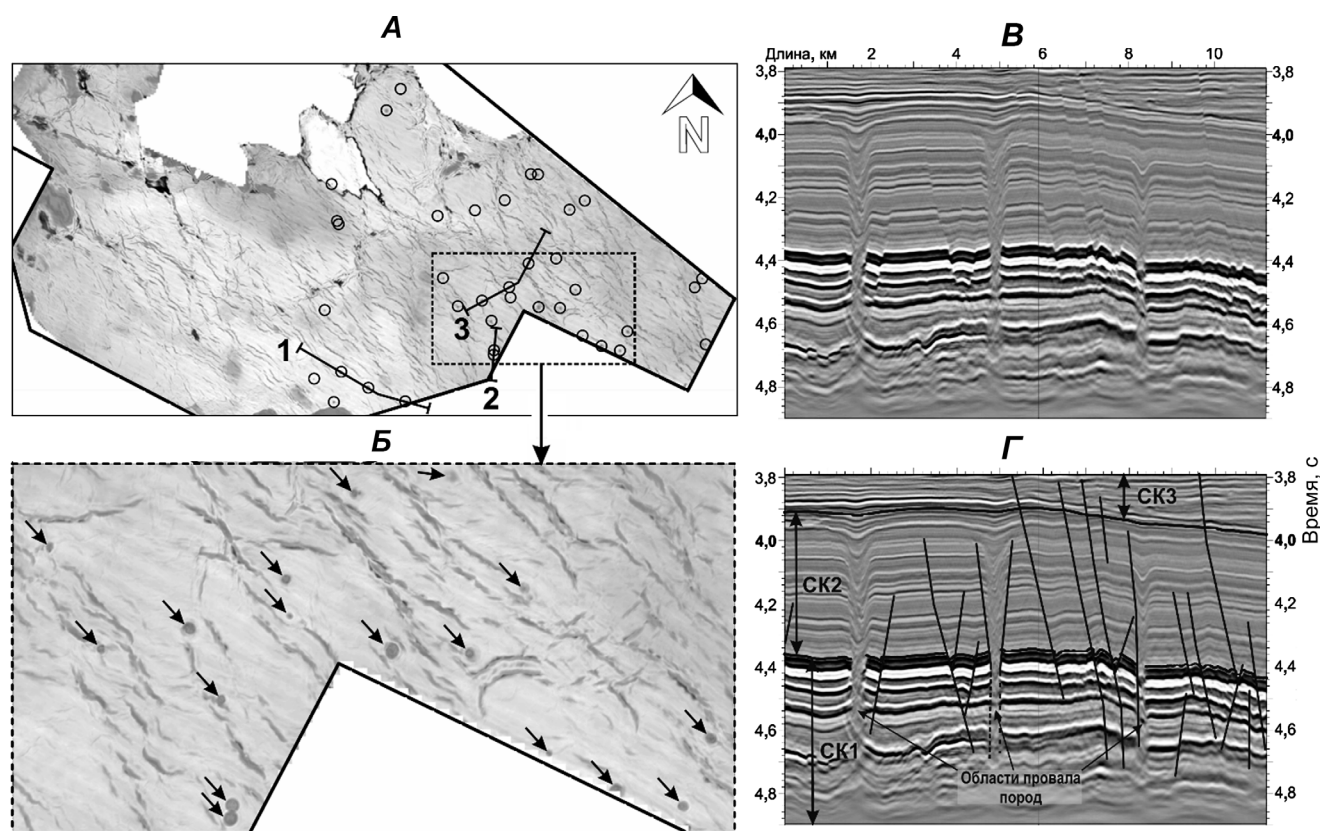


Рис. 4. Карта кровли СК1 по атрибуту амплитуда, кружками отмечены описанные в статье аномальные области, черными отрезками с цифрами показано положение профилей (А): 1 — см. рис. 3, А, Б; 2 — см. рис. 3, В, Г; 3 — см. рис. 4, В, Г; Б — увеличенный фрагмент А, структуры показаны стрелками; В — фрагмент амплитудного профиля произвольной формы без интерпретации через три аномальные зоны (положение см. на рис. 4, А, профиль 3); Г — фрагмент амплитудного профиля, аналогичный В, с интерпретацией, отмечены все основные элементы разреза (положение см. на рис. 4, А, профиль 3)

(рис. 4). Описанные структуры начинаются за пределами съемки (более 2000 м от поверхности морского дна), вверх по разрезу прослеживаются до кровли СК2 (угловое несогласие), лишь единичные пересекают ее и заканчиваются в СК3. Всего выделено 40 подобных объектов в восточной части площади, их диаметр в плане варьирует от 100 до 550 м, а верхней части до 800 м. Вертикальная протяженность этих зон достигает 800 м, а минимальная — 160 м.

Природа этих объектов однозначно не определена. Как нам представляется, один из вариантов заключается в формировании подобных структур как вертикальных зон миграции флюида, подобных описанным в работе [Andresen, Huuse, 2011]. На западном шельфе Африки были обнаружены дизъюнктивные дислокации, представленные полигональной сетью разломов, а также “bull’s-eye” покмарки — результат многофазной миграции флюида в одном и том же месте в течение относительно длительного времени с образованием покмарков на разных стратиграфических уровнях. В пользу этой теории свидетельствует практически идеально изометричная форма объектов в плане. Внутреннее строение многофазных палеопокмарков на западном шельфе Африки и объектов, обнаруженных в разрезе Черного моря, в целом похоже, однако во втором случае оси синфазности более

выдержаны и часто не нарушены, что нельзя отметить в статье [Andresen, Huuse, 2011]. В породах Черноморского бассейна не наблюдаются явные амплитудные аномалии вблизи описанных объектов, что ставит под сомнение теорию о миграции флюида. Важно отметить, что ранее по литературным данным в пределах подножия Кавказского континентального склона и Восточно-Черноморской глубоководной впадины палеопокмарки и вертикальные каналы миграции флюидов не описаны. Однако многочисленные флюидопроявления выявлены на юго-востоке Черного моря в Грузинском секторе на хр. Кобулету [Körber et al., 2014], а также на конусе выноса Днестра и Дуная на западе [Naudts et al., 2006; Hillman et al., 2018], в пределах турецкого шельфа на юге поднятия Архангельского и Синопского грабена [Çifçi et al., 2003]. Обобщение информации о газопроявлениях по периметру всего бассейна выполнено в работах [Афанасенков и др., 2007; Starostenko et al., 2015; Tari, Simmons, 2018].

Второе предположение о генезисе обнаруженных структур заключается в наличии проявлений карста. По данным [Афанасенков и др., 2007], отложения нижнего мела—эоцена (K_1-P_2) СК1 представлены карбонатами. Именно в этих отложениях берут начало рассматриваемые объекты. Можно предположить, что в карбонатной толще

были сформированы карстовые полости, законсервированные на достаточно продолжительный период. Активизация тектонических напряжений привела к формированию не только сети разломов, но и к провалу вышележащей осадочной толщи в карстовые полости с образованием таких масштабных структур.

Эта версия также имеет ряд недостатков. Так, вряд ли возможна консервация карстовых полостей на длительный период, необходимый для накопления вышележащей толщи осадочных образований. Для формирования полостей такого масштаба необходимы субэральные условия, а подобные события в истории региона пока не выявлены. Однако процесс карстообразования подтвержден полевыми исследованиями окружающей суши в породах юры и неокома [Афанасенков и др., 2007]. Кроме того, предполагается наличие карстовых полостей и на вале Шатского в том же стратиграфическом интервале [Афанасенков и др., 2007, с. 81].

По 3D сейсмическим данным карстовые провалы описаны в районе угольной шахты Сяцяо (Xieqiao) на севере Китая [Zuo et al., 2009]. По

данным этих авторов, волновая картина карстовых провалов близка к волновой картине, характерной для структур в разрезе Черноморского бассейна. Размер провалов, описанных в Китае (100–160 м по горизонтали и около 300 м по вертикали) соответствует минимальному размеру анализируемых объектов в Черном море. Значительное отличие — расширение провалов вниз по разрезу, в то время как все черноморские объекты расширяются вверх.

Заключение. Описаны впервые обнаруженные в пределах подножия Кавказского континентального склона и Восточно-Черноморской глубоководной впадины аномальные вертикальные объекты в верхнемеловых—нижнемиоценовых отложениях. Всего выделено 40 объектов на площади размером более 1000 км². Предложены возможные мировые аналоги и модели образования, однако ни одна из теорий не позволяет сделать окончательный вывод касательно их генезиса. Обнаруженные объекты — уникальные структуры, требующие дальнейшего изучения.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-00503).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Andresen K.J., Huuse M. «Bulls-eye» pockmarks and polygonal faulting in the Lower Congo Basin: relative timing and implications for fluid expulsion during shallow burial // *Marine Geol.* 2011. Vol. 279, N 1–4. P. 111–127.

Çifçi G., Dondurur D., Ergün M. Deep and shallow structures of large pockmarks in the Turkish shelf, Eastern Black Sea // *Geo-Marine Letters.* 2003. Vol. 23, N 3–4. P. 311–322.

Hillman J.I., Klaucke I., Bialas J. et al. Gas migration pathways and slope failures in the Danube Fan, Black Sea // *Marine and Petrol. Geol.* 2018. Vol. 92, P. 1069–1084.

Körber J.H., Sahling H., Pape T. et al. Natural oil seepage at Kobuleti ridge, eastern Black Sea // *Marine and Petrol. Geol.* 2014. Vol. 50. P. 68–82.

Naudts L., Greinert J., Artemov Y. et al. Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dnepr paleo-delta, northwestern Black Sea // *Marine Geol.* 2006. Vol. 227. P. 177–199.

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

Nikishin A.M., Wannier M., Alekseev A.S. et al. Mesozoic to recent geological history of southern Crimea and the Eastern Black Sea region // *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 2017. Vol. 428, N 1. P. 241–264.

Starostenko V.I., Rusakov O.M., Shnyukov E.F. et al. Methane in the northern Black Sea: characterization of its geomorphological and geological environments // *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 2010. Vol. 340, N 1. P. 57–75.

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.

Zuo J.-P., Peng S.-P., Li Y.-J. et al. Investigation of karst collapse based on 3-D seismic technique and DDA method at Xieqiao coal mine, China // *Intern. J. Coal Geology.* 2009. Vol. 78, N 4. P. 276–287.

Поступила в редакцию 30.08.2019

Поступила с доработки 15.01.2020

Принята к публикации 15.01.2020