

УДК 553.98(262.5)

А.В. Хортов, А.Е. Шлезингер

Глубинное строение и особенности образования Черноморской топодепрессии в связи с перспективами нефтегазоносности

Исследования методом общей глубинной точки (МОГТ) в Черном море в 2011 г. проводились в рамках программы морских научных работ «Изучение геологического строения докайнозойских отложений и глубинной структуры бассейна Черного моря» (рис. 1). Главной целью Программы является разработка новой тектонической модели Черноморской впадины и прилегающих территорий всего Черноморского бассейна на базе новых сейсмических данных, полученных в объеме 10 тыс. пог. км с применением современных технологий полевых (морских) работ и обработки геофизической информации [1–3]. В качестве источника возбуждения сейсмических колебаний использовался групповой пневмоисточник общим объемом $8,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ с рабочим давлением 131 бар, состоящий из 4 одинаковых массивов пневмопушек объемом по $2,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ и длиной по 15,2 м каждый. Расстояние между 2 центральными массивами составляло 12 м, между крайним и центральным массивом с каждой стороны – по 10 м. Каждый массив состоял из 8 пневмопушек типа Bolt или Sleeve Gun объемом от $6,6 \cdot 10^{-4}$ до $6,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, подобранных таким образом, чтобы получить оптимальный возбуждаемый импульс. В качестве приемника колебаний использовалась сейсмокофа с оболочкой из полиуретана, наполненная специальной жидкостью в целях обеспечения нейтральной плавучести. Длина активной части – 10200 м. Гидрофоны (пьезодатчики давления) были сгруппированы линейно по 480 каналам: 16 гидрофонов на группу (канал), чувствительность группы 20 В/бар, расстояние между центрами групп

Ключевые слова:

сейсмозаездка, топодепрессия, астеносфера, литосфера, земная кора, фундамент.

Keywords:

seismic exploration, topodepression, asthenosphere, lithosphere, Earth's crust, basement.

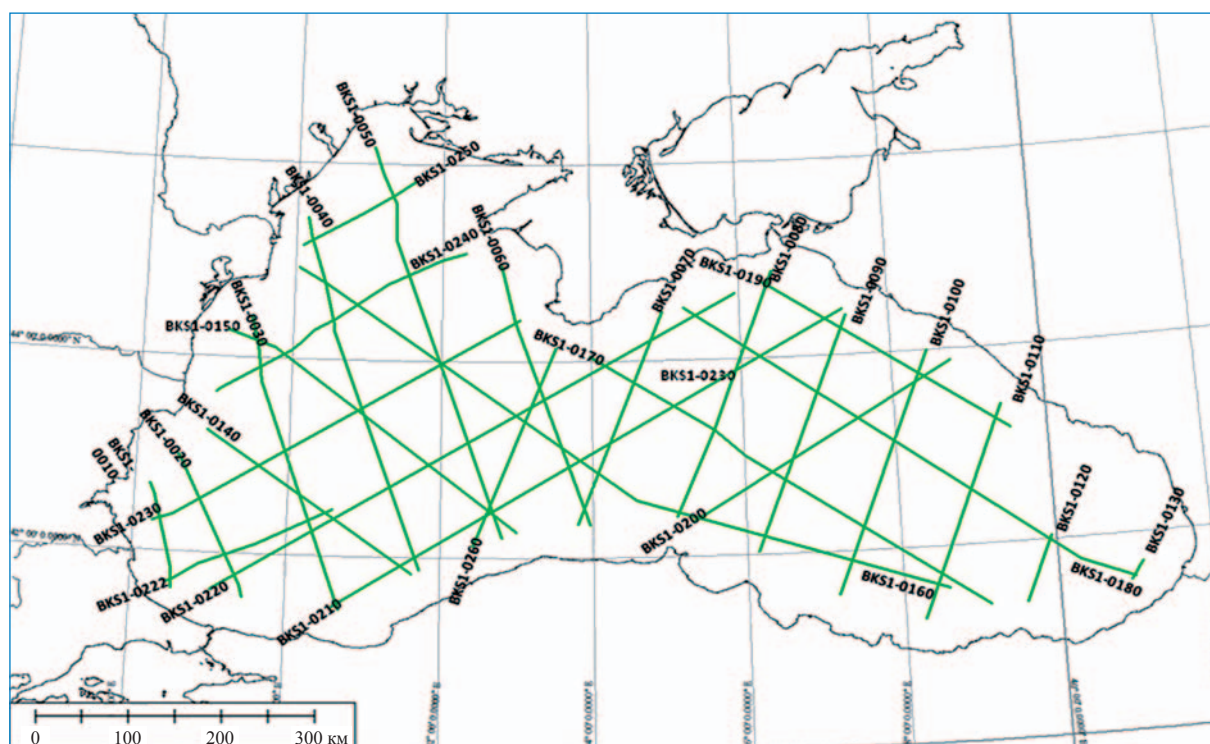


Рис. 1. Схема региональных МОГТ-профилей, выполненных в 2011 г.

12,5 м. Вся активная часть сейсмокоды состояла из сочлененных секций, длина секции 75 м (6 каналов). Управление сейсмокодой и запись результатов осуществлялись с помощью сейсмостанции Sersel 480 с предварительной цифровой фильтрацией 3 Гц / 12 дБ/окт. – 206 Гц / 276 дБ/окт. Время регистрации сигнала составляло 20 с, что позволило получить устойчивые отражения от глубинных горизонтов.

В 2002 г. Институтом океанологии РАН (ИО РАН) в российской части Черного моря вдоль и вкрест структуры вала Шатского выполнено морское глубинное сейсмическое зондирование методом преломленных волн (ГСЗ-МПВ) с использованием донных сейсмографов (ДС), установленных по профилям № 1 и 2. Результаты этих исследований подробно изложены в работах [4, 5]. Расстояния между ДС составляли 9–18 км. Излучения сейсмических волн производились с интервалом около 180 м пневматическим источником с объемом камеры 30 л. Длина профиля № 1 (первая прострелка) составила 183 км. После первой прострелки была выполнена вторая по профилю № 2 длиной 80 км вкрест простираения вала Шатского. Положения профилей МПВ № 1 и № 2 совпадают с положениями МОГТ ВКС1-0180, ВКС1-0090 (см. рис. 1) соответственно.

На большинстве сейсмограмм профилей ГСЗ-МПВ в первых вступлениях выделены преломленные волны с кажущимися скоростями 2,6–3,3; 4,2–4,4; 5,1–5,5; 6,2–6,3; 7,0–7,2 и 8,0 км/с. В последующих вступлениях выделены широкоугольные отраженные волны. В результате обработки и интерпретации сейсмограмм построены сводные годографы преломленных и отраженных волн и соответствующие им сейсмические разрезы земной коры. Анализ волнового поля, зарегистрированного на различных расстояниях от источника, позволил выявить преломленные (рефрагированные) и широкоугольные волны, отраженные от поверхности фундамента и основных слоев внутри осадочного чехла. Главным средством анализа послужила совместная обработка материалов МОГТ и МПВ. По результатам скоростного анализа данных МОГТ получен график двумерно сглаженного распределения эффективной скорости в плоскости (x, t_0) . Характерной особенностью этого графика является необыкновенно высокий вертикальный градиент эффективной скорости dV_0 / dt_0 , который расположен в районе вала Шатского и достигает вели-

чины примерно 2 км на уровне $t_0 = 5,0–5,5$ с. Близость эффективной скорости к средней скорости означает, что в пересчете на однократное время пробега за 1 с вертикального времени средняя скорость возрастает на невероятно большую величину 4 км/с. Такое явление возможно только в том случае, если 5-секундная толща подстилается слоем, который характеризуется очень высокой скоростью, превышающей в несколько раз среднюю скорость в покрывающей среде. С геологической точки зрения очевидно, что таким слоем практически однозначно может быть только фундамент. Сопоставление скоростных кривых МОГТ и МПВ в российской части Черного моря позволило выделить в разрезе поверхность фундамента и проследить ее затем в пределах всей акватории Черного моря (рис. 2).

Установлено, что кровля пород фундамента (метаморфизованных пород досреднеюрских образований) в пределах акватории Черного моря залегает на глубинах 2,5–15,0 км. Предполагается континентальный тип коры с утонением гранитного слоя в пределах впадин. Выше поверхности фундамента повсеместно закартированы поверхности меловых, палеоцен-эоценовых и миоцен-четвертичных образований (рис. 3). В их строении отражены основные структурные элементы, зафиксированные работами прежних лет [5–11].

Черноморская топодепрессия накладывается на севере и юге на киммерийский подвижный пояс Горного Крыма и альпийский средиземноморский пояс Турции соответственно. Южно-Каспийская депрессия накладывается на севере на альпийский подвижный пояс Большого Кавказа, а на юге – на альпийский Средиземноморский пояс Эльбурса. Черноморская палеотоподепрессия имеет изометричную форму, представляя замкнутую тектоническую структуру, по всему периметру окруженную флексурно-разрывными зонами, образующими бортовые обрамления. Их крутизна изменяется от 50–60° до первых градусов. Крутые наклоны тяготеют к областям сопряжения топодепрессии с мезозойско-кайнозойскими подвижными поясами, а пологие – с платформами. К подножью бортовые обрамления выполаживаются и переходят в пологие днища, осложненные крупными и мелкими выступами, которые отражают дифференцированные погружения. Поверхности бортовых обрамлений подвергались площадной склоновой эрозии, свя-

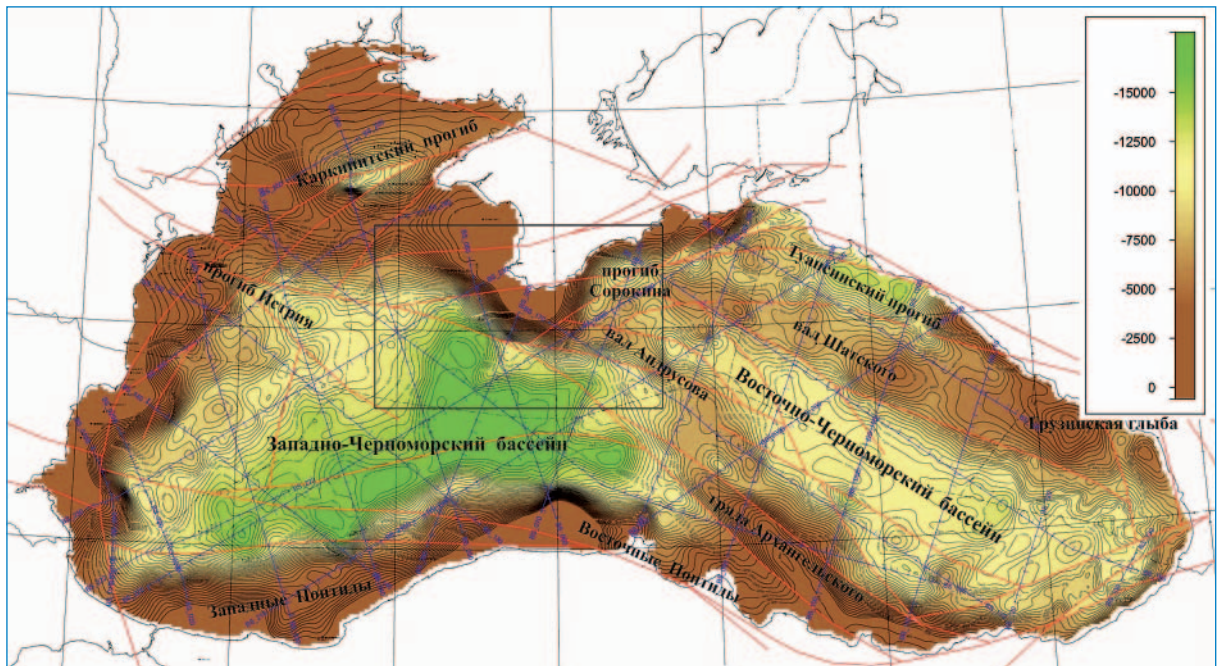


Рис. 2. Схема поверхности фундамента Черноморской впадины, линии:
 синие – сейсмические профили; черные – изогипсы кровли акустического фундамента;
 красные – региональная система разломов; цветовой спектр – градиент глубин, м

занной с мутьевыми потоками, проникающими со стороны шельфа на возникшие склоны и, как наждак, срезающие слои, накопившиеся до образования топодепрессии и испытавшие флексурно-разрывное погружение. Величина склоновой эрозии по латерали достигает первых километров, срезая снизу вверх слои бортового обрамления [6]. Последние осложняются также линейными врезами (каньонами), связанными с мутьевыми потоками и прорезающими до первых десятков километров сопряженные области шельфа.

В палеотоподепрессиях уровень осадконакопления располагался ниже базиса наземной и шельфовой эрозии. Терригенная седиментация в них происходит за счет гравитационного течения водной жидкости, приводящего к образованию турбидитов. При карбонатном осадконакоплении они покрываются тонкой пленкой пелагических и гемипелагических осадков. Однако их роль в захоронении топодепрессий ничтожно мала. В зонах привноса терригенного обломочного материала при крутизне бортов менее 5° происходит резкое разрастание толщины отложений, и максимальные значения турбидиты приобретают в наиболее пониженных зонах дна топодепрессий. В подножьях бортовых зон создают-

ся склоновые шельфы. При крутизне бортов свыше 5° и при любом их наклоне в зонах отсутствия привноса терригенного обломочного материала топодепрессия захороняется прилегающими на периферии слоями турбидитов. Они состоят из параллельно-слоистых тел, которые, если не затронуты постседиментационными тектоническими деформациями, залегают очень полого, практически горизонтально. Турбидиты распространены по дну на многие сотни километров, равномерно распределяясь по всему периметру (см. рис. 3). При обильном выносе и площадном разнесе терригенного обломочного материала по периферии топодепрессии параллельно ее периметру образуются клиноформы, ступенчато погружающиеся в сторону днища топодепрессий. Толщины клиноформ обычно не выходят за пределы первых сотен метров, при количестве клиноформ 3–6 шт. их общая мощность достигает первых километров. В пределах топодепрессии поверхность Мохо приподнята до 20–30 км по сравнению с сопряженными подвижными поясами и платформами.

Образование Черноморской топодепрессии может быть вызвано подъемом аномальной мантии к подошве литосферы [12, 13]. В результате увлажнения и нагрева гранитной верхней коры

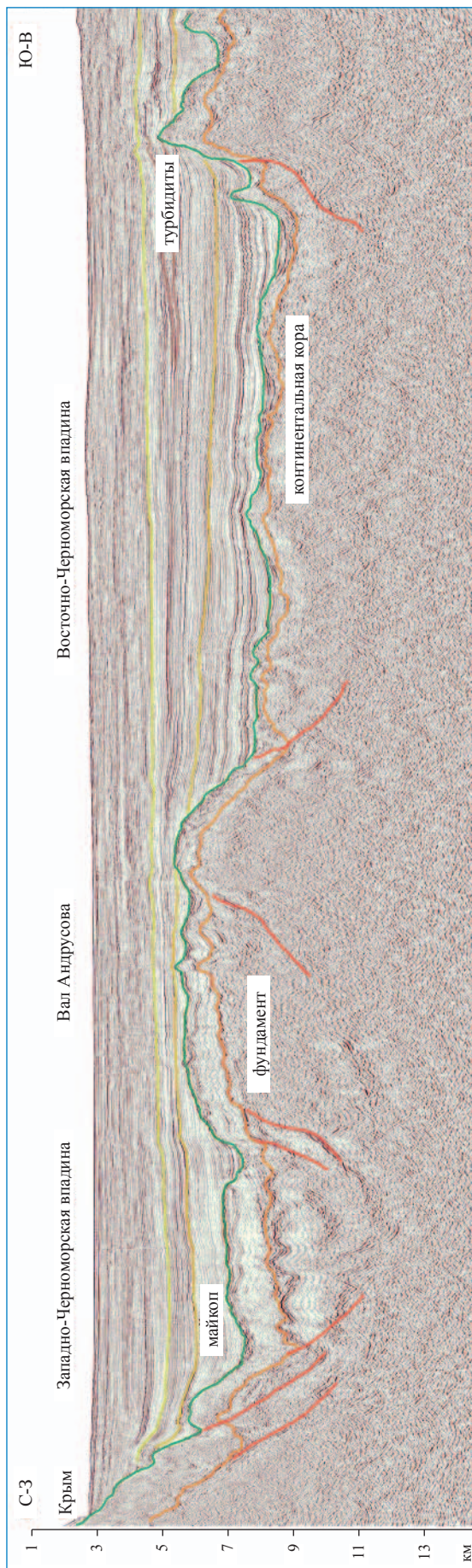


Рис. 3. Фрагмент временного разреза по профилю BS 170, иллюстрирующий выделение сеймостратиграфических комплексов в осадочном чехле и на поверхности фундамента

и нижней коры, сложенной габбро, происходит уменьшение их прочности, а также упругих и вязких свойств. В этих условиях главным системообразующим фактором является взаимодействие упругопластической литосферы с вязкоупругой астеносферой. Растекание астеносферного плюма увлекает литосферу за собой, и возникающие вязкие силы вызывают ее погружение. Предполагается, что при подходе аномальной мантии происходит разогрев литосферы и на ее подошве появляется область с размерами 200×20 км, приобретающая вязкоупругие свойства нижележащей астеносферы [13].

Достаточно сложная поверхность дна осадочного бассейна предположительно формируется в следующей последовательности. Первоначально дно погружается, затем в центральной части оно начинает подниматься, образуя 2 локальных поднятия. Наиболее глубокие прогибы формируются на границах бассейна. Сдвиговое разрушение сначала охватывает всю область погружения, но затем локализуется в центральной части, причем поверхностный слой находится в условиях растяжения. Погружение земной коры может происходить в результате взаимодействия конвективной ячейки астеносферы с вышележащей литосферой. Конвективное движение в перегретом астеносферном слое возникает в результате неустойчивости, порождаемой зависимостью плотности от разности температур. Конвективные ячейки являются причиной горизонтальных и вертикальных движений литосферы. При этом в литосфере должны возникать значительные напряжения, деформации и прогибы, заполняемые с течением времени осадками.

Традиционно с конца 1960-х гг. в кайнозойском комплексе северо-восточной части Черного моря ведется поиск антиклинальных ловушек нефти и газа [5]. Однако результаты региональной 2D- и площадной 3D-сейсморазведки, выполненной в последние годы ОАО «Союзморгео» совместно с ЗАО «Черноморнефтегаз» и ЗАО «Региональные геофизические исследования» показали перспективность направления, связанного с поиском неантиклинальных залежей нефти и газа [2, 3].

Сейсмостратиграфический анализ региональных и детально-поисковых материалов МОГТ в пределах северо-восточного района Черного моря позволил выделить и зартировать седиментационные образования, связанные с лавинной седиментацией. Основным

критерием выделения этого сейсмокомплекса, стратиграфически приуроченного к миоцену, является наличие интервала хаотической, местами косослоистой записи волнового поля. Источником сноса являются как горные сооружения, так и платформенные области с крупными дельтами речных систем.

Выделенный сейсмокомплекс и подстилающие его отложения верхней части майкопской серии представляют нефтегазопромысловый интерес с точки зрения вполне вероятного наличия в них песчаных пород-коллекторов, а также в аспекте мировой статистики, согласно которой большинство известных на сегодняшний день месторождений в кайнозойских толщах связаны именно с конусами выноса. Так, в позднекайнозойском палеодельтовом комплексе Дуная на западном континентальном склоне Черного моря открыто газовое месторождение «Домино-1» с предварительными запасами около 80 млрд м³.

Переобработка и последующая динамическая интерпретация сейсмических материалов показывает, что в пределах исследуемых комплексов по материалам МОГТ могут быть выделены сейсмофациальные зоны, приуроченные к участкам развития как глинистых пород, так и песчаных образований. На основании комплексной переобработки региональных профилей и детально-поисковых и трехмерных съемок стало возможным реально проследить сейсмофациальные особенности миоценовых отложений, выявить источник и направление сноса осадочного материала по направлению клиноформ. Рассматривая условия образования этих отложений, следует отметить, что одним из источников сноса в средне-верхнемиоценовое время являются дельты палеорек.

По результатам переобработки материалов последних лет в пределах различных участков Черного моря предположительно в интервале чокрака выделены значительные по площади аномалии, которые проявляются на вертикальных сечениях и в плане увеличением толщин интервала и динамическими характеристиками (понижением уровня амплитуд). Учитывая их пространственное положение, вероятнее отождествить их с локальными линзовидными объектами седиментационного генезиса, а именно с конусами выноса.

Перспективы чокракского интервала разреза могут быть связаны с ловушками неструктурного типа (литологическими), приуроченными

к аномальным участкам. Окончательно природу и литологический состав аномалий чокрацкого интервала можно установить только по результатам бурения.

Выполненные на основании сейсмического профилирования литолого-фациальные и палеогеографические схемы показывают области развития песчаных олигоцен-миоценовых образований, наиболее перспективных для поисков залежей углеводородов. Выделение и картирование вышеупомянутых сейсмокомплексов на Черном море может существенно уточнить положение рекомендуемых скважин с целью оптимизации нефтегазопосредственного бурения. В последнее десятилетие первоочередными объектами поисковых работ явля-

лись крупные мезозойские поднятия рифтогенной природы, залегающие на глубинах более 5000 м [14]. Однако с точки зрения экономической целесообразности и себестоимости работ в настоящее время рассматривается перспектива поиска песчаных коллекторов в отложениях миоцен-плиоценового возраста.

На основании выполненных исследований в пределах Черного моря установлен тип земной коры, определена мощность осадочного чехла и сделан прогноз литологического состава слагающих его комплексов. Полученные результаты использованы для выяснения принципиальных вопросов строения Черноморского региона, реконструкции истории его развития и выбора новых направлений нефтегазопосредственных работ.

Список литературы

1. Амелин Н.В. Региональные сейсморазведочные исследования глубинного строения Черноморской впадины / Н.В. Амелин, М.И. Леончик, Е.И. Петров и др. // Материалы XIX Международной научной конференции (школы) по морской геологии «Геология морей и океанов». Т. V. – М.: ГЕОС, 2011. – С. 8–11.
2. Головинский В.И. Седиментационные ловушки УВ в разрезе кайнозойских отложений российской части Черного моря / В.И. Головинский, В.Е. Грабская, Б.В. Сенин, А.В. Хортов // Материалы XVIII Международной научной конференции (школы) по морской геологии «Геология морей и океанов». Т. II. – М.: ГЕОС, 2009. – С. 31.
3. Сенин Б.В. Новые данные о глубинной структуре Черноморской впадины / Б.В. Сенин, М.И. Леончик, А.В. Хортов и др. // Сб. трудов научной конференции «Актуальные проблемы развития ТЭК регионов России и пути их решения». – Геленджик: ГНЦ «Южморгеология», 2013. – С. 125–128.
4. Гринько Б.Н. Строение вала Шатского (Черное море) по результатам региональных сейсмических исследований МПВ / Б.Н. Гринько, С.А. Ковачев, А.В. Хортов // Бюл. МОИП, Отд. геол. – 2004. – Т. 79. – Вып. 3. – С. 3–7.
5. Хортов А.В. Глубинное строение и некоторые вопросы нефтегазоносности южных морей России / А.В. Хортов, Ю.П. Непрочнов // Океанология. – 2006. – Т. 46. – № 1. – С. 114–122.
6. Есин П.В. Плоскостная подводная эрозия палеосклонов Черноморского бассейна / П.В. Есин, В.Е. Захаров, Д.Ф. Исмагилов, А.Е. Шлезингер // ДАН СССР. – 1987. – Т. 293. – № 6. – С. 1445–1448.
7. Строение и эволюция земной коры и верхней мантии Черного моря. – М.: Наука, 1989. – 208 с.
8. Туголесов Д.А. Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины / Д.А. Туголесов, А.С. Горшков, Л.Б. Мейснер и др. – М.: Недра, 1985. – 215 с.
9. Яншин А.Л. Структурные особенности осадочного чехла Черноморской впадины и их значение для понимания ее образования / А.Л. Яншин и др. // Бюл. МОИП, Отд. геол. – 1977. – Т. 52 (5).
10. Robinson A.G. Petroleum geology of the Black Sea / A.G. Robinson, J.H. Rudat, C.J. Banks, R.L. Wiles // Marine and Petroleum Geology. – 1996. – V. 13. – № 2. – P. 195–223.
11. Starostenko V. Topography of the crustmantle boundary beneath the Black Sea Basin / V. Starostenko et al. // Tectonophysics. – 2004. – № 381. – P. 211–233.
12. Гарагаш И.А. Природа подъема Мохо глубоководных осадочных бассейнов черноморского типа / И.А. Гарагаш, А.Е. Шлезингер // Бюл. МОИП, Отд. геол. – 2006. – Т. 81. – Вып. 4. – С. 3–6а.
13. Гарагаш И.А. Типы конвективных ячеек и создаваемые ими тектонические структуры / И.А. Гарагаш, А.Е. Шлезингер // Бюл. МОИП, Отд. геол. – 2006. – Т. 81. – Вып. 6. – С. 3–8б.
14. Сенин Б.В. Нефтегазоперспективные объекты северо-востока Черного моря / Б.В. Сенин, А.В. Хортов // Oil&Gas Journal Russia. – 2009. – V. I–II. – С. 48–53.