

doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2016.11.052>

УДК 553.98:551.241

В.П. Коболев

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев
E-mail: kobol@igph.kiev.ua

Плюм-тектонический сценарий рифтинга и эволюции мегавпадины Черного моря

(Представлено академиком НАН Украины Е.Ф. Шнюковым)

Привлечение плюм-тектонического механизма позволило с новых позиций оценить роль геодинамических факторов, связанных с рифтингом и эволюцией Черноморской мегавпадины. Обосновано существенное различие в механизмах образования ее главных структурных единиц — западной и восточной впадин. А именно: первопричиной рифтогенеза западной впадины является подъем астеносферного диапира, приводящий к трехлучевому растяжению отдельных участков земной коры Скифской плиты. Механизм образования восточной впадины предусматривает раздвиг, т.е. разрыв сплошности коры и литосферы Эвксинской субконтинентальной плиты. В результате расчетов темпов осадконакопления установлено, что начало рифтогенеза и формирование непосредственно западной впадины приходится на поздний мел, а погружение в зоне восточной впадины началось в эоцене.

Ключові слова: Черноморская впадина, рифтинг, эволюция, диапир, плюм.

Мегавпадина Черного моря — один из самых сложных в мире тектоно-геодинамических узлов, расположенный в зоне тектонического взаимодействия подвижных платформ Западной Евразии и складчатых систем северной ветви Альпийско-Гималайского горноскладчатого пояса. Резкая смена геологических, структурно-тектонических и геодинамических ситуаций во времени не могла не отразиться на ее сложном, пока еще недостаточно изученном геологическом строении. И, как следствие, необычная геометрия глубинной структуры, не соответствующая укоренившимся моделям континентального растяжения коры, до настоящего времени оставляет вопросы глубинного строения, происхождения и эволюции Черного моря предметом оживленной дискуссии [1–5]. В частности, остаются нерешенными вопросы о времени и механизме образования как самой мегавпадины Черного моря в целом, так и ее составляющих — западной и восточной впадин.

По особенностям структуры мегавпадина Черного моря отчетливо разделяется на две области — западную и восточную (рис. 1). Здесь уместно подчеркнуть существенное различие в определениях западной и восточной областей Черноморской мегавпадины и непосредствен-

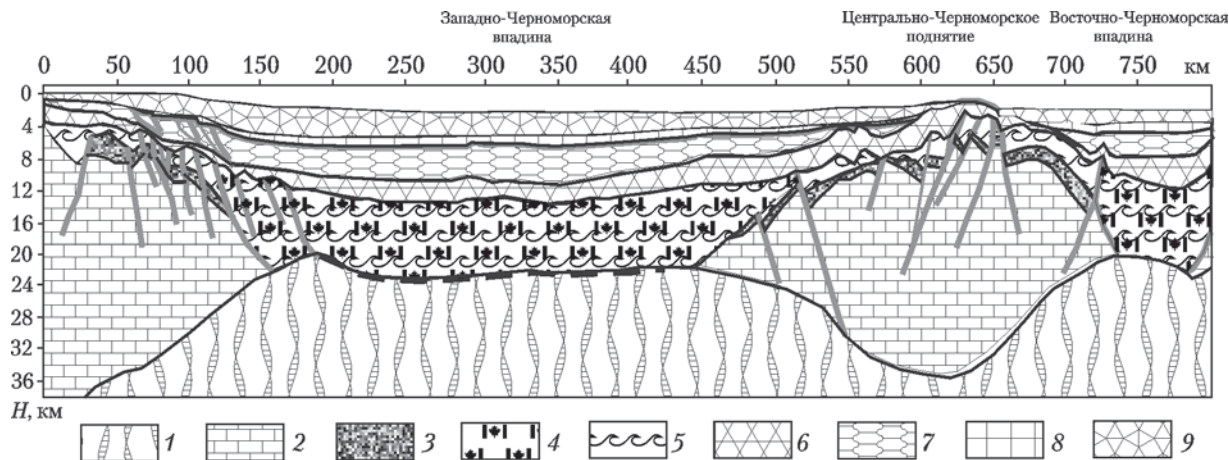


Рис. 2. Схематический геологический разрез Черноморской мегавпадины, построенный на основании приведенного в [1] сводного временного разреза по материалам региональных сейсмических исследований МОГТ [9]. 1 – верхняя мантия; 2 – архей-протерозойский фундамент; 3 – доюрский интервал; 4 – разновозрастный промежуточный комплекс; 5 – верхний мел; 6 – палеоцен–эоцен; 7 – майкоп; 8 – средний–верхний миоцен; 9 – плиоцен–голоцен

ниями которых являются Западно- и Восточно-Черноморская впадины (соответственно ЗЧВ и ВЧВ) [7].

Исходя из анализа данных сейсмических и гравиметрических исследований, глубинная часть ЗЧВ и ВЧВ характеризуется наиболее глубоко погруженным фундаментом и утонённой земной корой, субконтинентальный или субокеанический тип которой обусловлен отсутствием “гранитно-метаморфического” слоя [2, 3, 8]. Выделение под ЗЧВ и ВЧВ подстилающей океанической коры над границей Мохо, на наш взгляд, является проблематичным. Зона перехода между континентальной и океанической корой здесь несколько отличается от подобных зон в других регионах мира.

На основании приведенного в [1] сводного временного разреза по материалам региональных сейсмических исследований МОГТ [9] нами был построен схематический геологический разрез (рис. 2), на котором четко фиксируется структурный план поверхности фундамента и осадочного выполнения мегавпадины Черного моря. Изобилие вертикальных разломов (сбросов и их систем) отражает тектонические процессы, произошедшие на рубеже триаса и юры, а также в постмеловое время.

ЗЧВ и ВЧВ в меловое время были ограничены сбросами и их системами (см. рис. 2), установить точную геометрию которых (планарные, листрические и т.д.) не представляется возможным. Это свидетельствует об их рифтовом происхождении в ходе растяжения коры, предположительно в позднем мезозое [1].

Существенное влияние на формирование Азово-Черноморского региона оказали глубинные разломные зоны мантийного заложения, выходящие далеко за пределы мегавпадины и разделяющие крупные тектонические блоки земной коры. К ним, в первую очередь, относится Одесско-Синопская разломная зона, которая выделяется на основании повышенных градиентов мантийной составляющей гравитационного поля. Эта зона прослеживается параллельно оси Центрально-Черноморского поднятия (ЦЧП) с Восточно-Европейской платформы до Понтида (см. рис. 1). Зафиксированные в западном основании фундамента ЦЧП два разлома (см. рис. 2), возможно, являются восточным продолжением этой ключе-

вой трансрегиональной тектонической структуры, которая сыграла большую роль в развитии мегавпадины Черного моря.

По результатам 3D гравитационного анализа и локальной сейсмической томографии установлено, что морфология рельефа раздела Мохо полностью сопоставима с положительными аномалиями силы тяжести ЗЧВ и ВЧВ и с тектоническим рисунком кровли их меловых отложений [8]. Однако обе эти поверхности находятся в инверсионной зависимости. Если поверхность раздела Мохо образует своды, то располагающиеся над ними осадки представляют собой депрессии с глубиной погружения 15–16 км в ЗЧВ и 12–13 км в ВЧВ. Такое инверсионное залегание тектонических структур, с одной стороны, говорит об их разновозрастности, а с другой — свидетельствует об образовании депрессий, синхронных погружению сводов основания коры. Иными словами, ранее образовавшиеся своды по поверхности Мохо в силу каких-то определенных причин (о них будет сказано ниже) испытали погружения, что повлекло за собой формирование прогибов вышележащих меловых пород.

Сложность и многофазность в развитии земной коры Черноморской мегавпадины четко прослеживаются в ее структуре. Субмеридиональный структурный план, характерный для Украинского щита и Восточно-Европейской платформы, присущ ВЧВ. И наоборот, наложенный субширотный план молодых тектонических элементов Скифской плиты, характерен для ЗЧВ. В этой связи обращает на себя внимание приведенная в [5] топография раздела Мохо, на которой ЗЧВ в отличие от ВЧВ характеризуется груботреугольной формой. Проведя по подошве коры (поверхности Мохо) через вершины треугольников прямые линии, найдем место их пересечения в виде характерного тройного сочленения в центре глубоководной котловины (рис. 3). При этом западная сторона треугольника параллельна Западно-Черноморской зоне разломов, восточная — Одесско-Синопской, и наконец, южная — граничит с субпараллельной сутурой Внутренних Понтидов.

Известно, что трехлучевые (рифтогенные) формы растяжения земной коры возникают над поднятием подкорового вещества и сопровождаются сводообразованием [10], как, например, в Афарском рифте в Эфиопии, представляющем собой треугольную область со сторонами 700, 700 и 500 км. Не является исключением и ЗЧВ. Согласно сейсмическим и

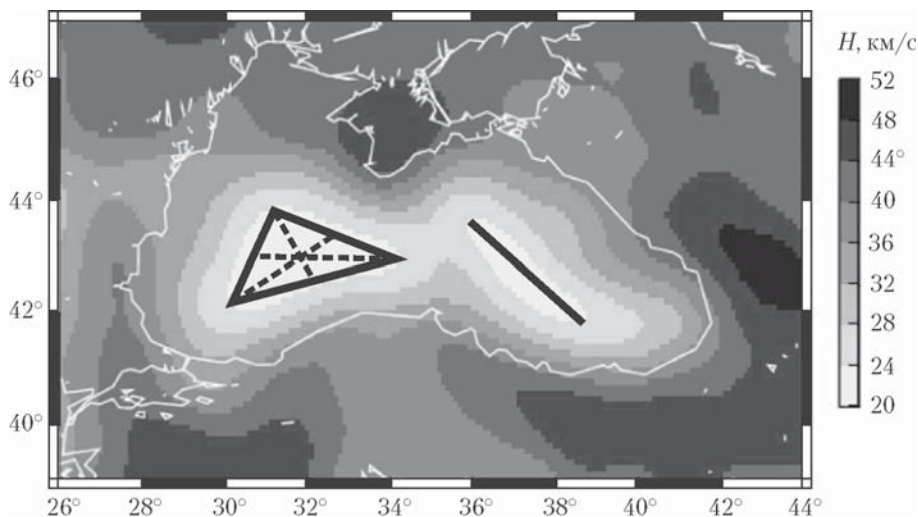


Рис. 3. Карта подошвы коры (поверхности Мохо) с дополнениями по [5] (пояснения в тексте)

гравитационным данным, раздел Мохо под ней имеет высокое стояние — 19 км, погружаясь к периферии максимум до 44 км. Таким образом, раздел Мохо образует под ЗЧВ свод с довольно крутыми (до 25°) бортами. Лучи этого тройного сочленения в итоге переходят в ранг рифтогенных структур. Это может служить подтверждением ранее полученных выводов о том, что ЗЧВ возникла за счёт раскола континентальной коры (литосферы) и рифтогенеза Скифской платформы [11].

Совершенно иная картина наблюдается в пределах ВЧВ, где наиболее высокое стояние раздела Мохо имеет узколинейную субмеридиональную форму северо-западного простирания (см. рис. 3), параллельную расположенным с запада Центрально-Черноморскому поднятию и Одесско-Синопской разломной зоне мантийного заложения. С северо-востока Восточно-Черноморская впадина граничит с валом Шатского и Туапсинским прогибом. Согласно представлениям [12], ВЧВ возникла в результате раздвига между валами Шатского и Андрусова на Эвксинской субконтинентальной плите вследствие мощных деструктивных процессов, которые привели к разрушению плитной структуры в этой части бассейна и образованию в осевой зоне рифтогенной впадины.

Таким образом, приведенные выше новые фактические данные о глубинном рифтовом строении мегавпадины Черного моря дают основание предположить существенное различие в механизмах образования ее главных структурных единиц — западной и восточной впадин. А именно: первопричиной рифтогенеза ЗЧВ является подъем астеносферного диапира, приводящий к развитию вертикальных смещений литосферы, которые, в свою очередь, приводят к трехлучевому растяжению отдельных участков земной коры Скифской плиты. Механизм образования ВЧВ предусматривает раздвиг, т.е. разрыв сплошности коры и литосферы Эвксинской субконтинентальной плиты. В этом случае образование мантийного диапира — явление вторичное, связанное с декомпрессией астеносферы под раздвигом.

Характеристику последующей эволюции мегавпадины Черного моря следует начать с фактов, которые инвариантны в любой геодинамической модели. Прежде всего, это касается мощности и скорости накопления осадков. Учитывая тот факт, что структуры западной и восточной впадин являются следствием различных механизмов их образования, нами была выполнена оценка скорости их кайнозойского осадконакопления (табл. 1). Расчеты

Таблица 1. Мощность и скорость осадконакопления для кайнозойского этапа развития Западно- и Восточно-Черноморской впадин

Эпоха	Стадии		Продолжительность, млн лет	Мощность осадочных комплексов, м						Скорость осадконакопления, м/млн лет					
				ЗЧВ			ВЧВ			ЗЧВ			ВЧВ		
				макс.	мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.	сред.
Средний миоцен—голоцен	Последрифтовая	Поздняя	16,6	4794	2300	3547	6155	1300	3677	289	136	214	371	78	221
Олигоцен—ранний миоцен (майкоп)		Ранняя	17,1	6000	3000	4500	6800	3500	5150	350	175	263	397	204	301
Палеоцен—эоцен	Рифтовая		32,7	8554	4000	6227	4000	3000	3500	262	122	190	122	91	107

выполнены на основании экстраполяции приведенных в отчете [9] карт мощностей кайнозойских осадочных комплексов мегавпадины Черного моря по опорным сейсмическим горизонтам. При этом, согласно А.В. Чекунову [13], эволюция мегавпадины Черного моря была разделена на три основные стадии: дорифтовую эпиконтинентальную (поздний мел); рифтовую (палеоцен—эоцен); послерифтовую, молассово-орогенную (олигоцен—антропоген), включающую две подстадии: раннюю — дифференцированных опусканий (олигоцен—ранний миоцен, майкопский век) и позднюю — формирования единого бассейна (средний миоцен—антропоген).

В табл. 1 обращает на себя внимание существенное различие в мощности глубоководных осадков западной и восточной впадин и, соответственно, в скоростях их накопления. Прежде всего это касается мощного рифтового палеоцен-эоценового комплекса, отражающего специфику осадконакопления в условиях глубоководного морского бассейна. Его мощность в ЗЧВ в 2,5 раза превышает мощность аналогичных отложений ВЧВ. На рис. 4 приведены графики темпов осадконакопления для различных временных кайнозойских интервалов ЗЧВ и ВЧВ. Как видно, скорость осадконакопления палеоцен-эоценового комплекса в этих впадинах существенно отличается. Нам представляется, что это различие можно объяснить различным временем начала погружения западной и восточной котловин. Принимая рассчитанную среднюю скорость осадконакопления в палеоцене—эоцене в ЗЧВ (190 м/млн лет) и мощность аналогичных отложений ВЧВ, получаем время начала погружения последней 54,7 млн лет назад, что соответствует началу эоцена. Таким образом, если начало рифтогенеза и формирование непосредственно ЗЧВ в условиях постоянного прогибания морского дна приходится на поздний мел, то погружение в зоне ВЧВ началось несколько позже — в эоцене. В майкопское время мощность и скорость накопления осадков в этих двух впадинах выравниваются (см. табл. 1) и в миоцене—плиоцене мегавпадина Черного моря приобрела очертания, близкие к современным, превратившись в единую структуру. В целом, латеральное распределение, соответствующее отдельным стадиям кайнозойского этапа формирования мегавпадины Черного моря, свидетельствует о различной и сложной динамике развития ее западной и восточной областей.

Рассмотренные выше диапиры с характерными геофизическими параметрами, по сути, являются проявлениями мантийной мультиинтрузии, как структуры восходящего движения флюидного потока в виде плюма. На сейсмотомографических моделях Восточного Средиземноморья [4] непосредственно под ЗЧВ на глубинах от 2500 до 1700 км четко фиксируется низкоскоростная неоднородность, которая может рассматриваться как реликт Черноморского плюма. Апикальные части плюма, с одной стороны, характеризуются ка-

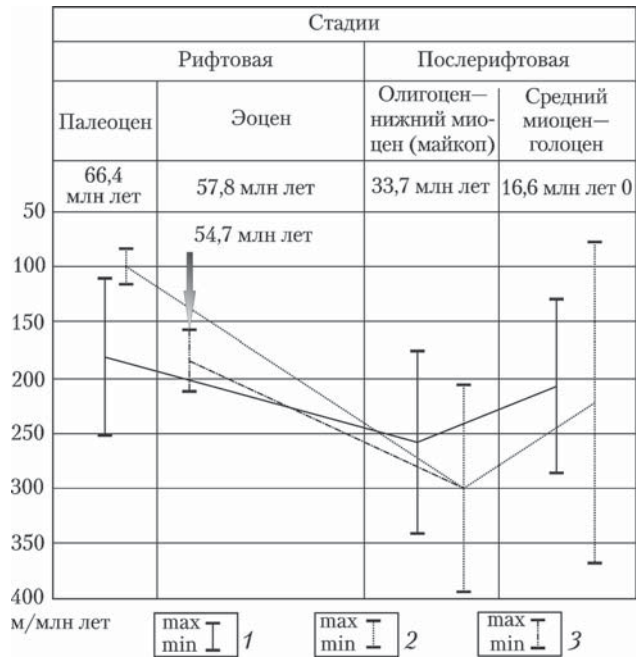


Рис. 4. Графики темпа осадконакопления для ЗЧВ (1) и ВЧВ (2). 3 — расчетные скорости при условии начала прогибания ВЧВ в эоцене

тагенезом и метагенезом в соответствии с фазами интенсивного прогибания бассейна, с другой — гипогенно-алогенетическим метасоматозом центральных частей “безгранитной” коры ВЧВ и ЗЧВ. Последнее обусловлено магматической инъекцией и пластификацией вещества коры диапирами Черноморского плюма. Именно над мантийными диапирами располагаются глубокие НГБ с наиболее крупными месторождениями [14].

Перемещение в литосферу таких значительных (в первые сотни тысяч куб. км) масс расплава создавало на глубине эквивалентный их дефицит. В результате происходило компенсационное обрушение и на поверхности Земли возникали соответствующие погружения. В настоящее время они в виде подвижных компенсационных структур Большого Кавказа, Восточного и Западного Понта, Крымской геосинклинали и Причерноморского прогиба располагаются по периферии Черноморской мегавпадины [7].

Современная Черноморская мегавпадина претерпела в своем развитии две стадии. В прогрессивную стадию сформировался палеосвод, обусловленный подъемом Западного мантийного диапира. Эратические валуны рифейских гранитоидов в юрских и меловых осадках Горного Крыма считаются многими исследователями остатками этого палеосвода. Отсутствие валунов в более поздних отложениях связывается с его исчезновением. Судя по колоссальной мощности осадков в ЗЧВ, исчезновение свода завершилось к началу палеогена и произошло внезапно в результате действия “пландж-принципа”. Его механизм кратко сводится к погружению изохимической, но существенно уплотненной при кристаллизации верхней “корки” мантийного диапира в подстилающий расплав, что влечет за собой погружение кровли и формирование глубоководной впадины [7, 15].

Регрессивная стадия связывается с палеоцен—эоценом, когда произошло резкое (по механизму “пландж-принципа”) погружение Западного палеосвода во внутреннюю область мантийного диапира, которое спровоцировало раздвиг и последующий диапиризм в восточной части Черноморской мегавпадины. Действие механизма “пландж-принципа” в обеих впадинах сопровождалось выдавливанием подстилающего расплава по периметру термической усадки в виде интрузий. Они известны по периметру Черноморской мегавпадины, где отражены в виде локальных положительных гравитационных аномалий, ввиду прерывистости их залегания были названы “пунктирными” [7]. Гравитационным моделированием установлен их ультраосновной состав, а залегание в кайнозойских отложениях указывает на молодость магматизма.

Таким образом, на основании анализа потенциальных полей, сейсмических и сейсмографических построений обосновано рифтовое строение мегавпадины Черного моря, предусматривающее существенное различие в механизмах образования ее главных структурных единиц — западной и восточной впадин.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Graham R., Kaymakci N., Horn B.W.* Revealing the Mysteries of the Black Sea. The Black Sea: something different // GEO ExPro. — 2013. — **10**, No 5. — P. 58—62.
2. *Nikishin A.M., Wannier M., Alekseev A.S., Almendinger O.A., Fokin P.A., Gabdullin R.R., Khudoley A.K., Kopayevich L. F., Mityukov A.V., Petrov E.I., Rubtsova E.V.* 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., London, Spec. Publ. — 2015. — **428**. — <http://doi.org/10.1144/SP428.1>.
3. *Starostenko V.I., Rusakov O.M., Pashkevich I.K., Kutas R.I., Makarenko I.B., Legostaeva O.V., Lebed T.V., Savchenko A.S.* Heterogeneous structure of the lithosphere in the Black Sea from a multidisciplinary analysis of geophysical fields // Геофиз. журн. — 2015. — **37**, № 2. — С. 3—28.

4. Гинтов О.Б., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Муровская А.В. Некоторые особенности строения мантии Восточного Средиземноморья и их геодинамическая интерпретация // Геофиз. журн. — 2016. — № 1. — С. 17–29.
5. Яновская Т.Б., Гобаренко В.С., Егорова Т.П. Строение подкорковой литосферы Черноморского бассейна по сейсмологическим данным // Физика Земли. — 2016. — № 1. — С. 15–30.
6. Туголесов Д.А., Горшков А.С., Мейснер Л.Б., Соловьев В.В., Хахалев В.И. Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины. — Москва: Недра, 1985. — 215 с.
7. Коболев В.П. Геодинамическая модель Черноморской мегавпадины // Геофиз. журн. — 2003. — № 2. — С. 15–35.
8. Егорова Т.П., Гобаренко В.С., Яновская Т.Б., Баранова К.П. Строение литосферы Черного моря по результатам 3D гравитационного анализа и сейсмической томографии // Геофиз. журн. — 2012. — № 5. — С. 38–59.
9. Сенин Б.В., Никишин А.М., Амелин Н.В. и др. Отчет по программе морских научных работ “Изучение геологического строения докайнозойских отложений и глубинной структуры бассейна Черного моря”. — Геленджик: ОАО “Союзморгео”, 2012. — 139 с.
10. Грачев А.Ф. Магматические плюмы и проблемы геодинамики // Физика Земли. — 2000. — № 4. — С. 3–37.
11. Hippolite J.-C. Geodynamics of Dobrogea (Romania): new constraints on the evolution of the Tornquist-Teisseyre Line, the Black Sea and the Carpathians // Tectonophysics. — 2002. — 357. — P. 33–53.
12. Казьмин В. Г., Шрейдер А. А., Финетти И., Мелихов В. Р., Бульчев А. А., Гилод Д. А., Андреева О. И., Шрейдер Ал. Ан. Ранние стадии развития Черного моря по сейсмическим данным // Геотектоника. — 2000. — № 1. — С. 46–60.
13. Чекунов А.В. Рифтогенез и механизм формирования Черноморской впадины // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1987. — № 2. — С. 25–28.
14. Лукин А.Е. Гипогенно-аллогенетическое разуплотнение — ведущий фактор формирования вторичных коллекторов нефти и газа // Геол. журн. — 2002. — № 4. — С. 15–32.
15. Оровецкий Ю.П., Коболев В.П. Горячие пояса Земли. — Киев: Наук. думка, 2006. — 312 с.

REFERENCES

1. Graham R., Kaymakci N., Horn B.W. GEO ExPro, 2013, 10, No 5: 58–62.
2. Nikishin A.M., Wannier M., Alekseev A.S., Almendinger O.A., Fokin P.A., Gabdullin R.R., Khudoley A.K., Kopaevich L. F., Mityukov A.V., Petrov E.I., Rubtsova E.V. Geological Society, London, Spec. Publ., 2015, 428, <http://doi.org/10.1144/SP428.1>.
3. Starostenko V.I., Rusakov O.M., Pashkevich I.K., Kutas R.I., Makarenko I.B., Legostaeva O.V., Lebed T.V., Savchenko A.S. Geofiz. Zh., 2015, 37, No 2: 3–28.
4. Gintov O.B., Tsvetkova T.A., Bugaenko I.V., Murovskaya A.V. Geofiz. Zh., 2016, 38, No 1: 17–29 (in Russian).
5. Yanovskaya T., Gobarenko V., Yegorova T. Izv., Phys. Solid Earth, 2016, 52, No 1: 14–28.
6. Tugolesov D.A., Gorshkov A.S., Meisne L.B., Solov'ev V.V., Khakhalev V.I. Tectonics of the Meso–Cenozoic Sediments in the Black Sea Basin, Moscow: Nedra, 1985 (in Russian).
7. Koboлев V.P. Geofiz. Zh., 2003, 25, No 2: 15–35 (in Russian).
8. Yegorova T.P., Gobarenko V.S., Yanovskaya T.B., Baranova K.P. Geofiz. Zh., 2012, 34, No 5: 38–59 (in Russian).
9. Senin B.V., Nikishin A.M., Amelin N.V. et al. The marine research program report “Study of geological construction of untilcenozoic sediments and deep structure of the Black Sea Basin”, Gelendzik: Soyuzmorgeo, 2012 (in Russian).
10. Grachev A.F. Fizika Zemli, 2000, No 4: 3–37 (in Russian).
11. Hippolite J.-C. Tectonophysics. 2002, 357: 33–53.
12. Kazmin V.G., Schrader A.A., Finetti I., Melikhov V.R., Bulychev A.A., Gilod D.A., Andreeva O.I., Schrader Al.An. Geotectonics, 2000, No 1: 46–60 (in Russian).
13. Chekunov A.V. Dokl. AN USSR. Ser. B, 1987, No 2: 25–28 (in Russian).
14. Lukin A.E. Geol. Zh., 2002, No 4: 15–32 (in Russian).
15. Orovetskiy Yu.P., Koboлев V.P. Hot belts of the Earth, Kiev: Naukova Dumka, 2006 (in Russian).

Поступило в редакцию 15.04.2016

В.П. Коболев

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ
E-mail: kobil@igph.kiev.ua

ПЛЮМ-ТЕКТОНІЧНИЙ СЦЕНАРІЙ РИФТИНГУ І ЕВОЛЮЦІЇ МЕГАЗАПАДИНИ ЧОРНОГО МОРЯ

Залучення плюм-тектонічного механізму дало можливість з нових позицій оцінити роль геодинамічних факторів, пов'язаних з рифтингом та еволюцією Чорноморської мегазападини. Обґрунтовано істотну відмінність у механізмах утворення її головних структурних одиниць — західної і східної западин. А саме: першопричиною рифтогенезу західної западини є підйом астеносферного діяпіру, що приводить до трипроменевого розтягування окремих ділянок земної кори Скіфської плити. Механізм утворення східної западини передбачає розсув, тобто розрив суцільності кори і літосфери Евксінської субконтинентальної плити. У результаті розрахунків темпів осадконакопичення встановлено, що початок рифтогенезу і формування безпосередньо західної западини припадає на пізню крейду, а занурення в зоні східної западини почалося в еоцені.

Ключові слова: Чорноморська мегазападина, рифтинг, еволюція, діяпір, плюм.

V.P. Kobolev

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kiev
E-mail: kobil@igph.kiev.ua

PLUME-TECTONIC SCENARIO OF RIFTING AND EVOLUTION OF THE BLACK SEA MEGADEPRESSION

The attraction of the plume tectonic mechanism allowed a new position to assess the role of geodynamic factors associated with rifting and evolution of the Black Sea megadepression. A significant difference in the formation mechanism of its main structural units - the western and eastern troughs — is proved. Namely, the primary cause of the western rift depression is the rise of the asthenosphere diapir, leading to a three-prong stretching of individual sections of the Scythian plate. The formation mechanism of the eastern depression involves pushing, i.e. breaking the continuity of the crust and the lithosphere of the Euxinus subcontinental plate. As a result of the deposition rate estimation, it is established that the rifting and the direct formation of the western trough started in the late cretaceous, and the dipping in the area of the eastern trough had began at Eocene.

Keywords: Black Sea megadepression, rifting, evolution, diapir, plume.