

УДК 551.14+551.2.03+550.8.05 (477)

В. СТАРОСТЕНКО, И. ПАШКЕВИЧ, И. МАКАРЕНКО, П. КУПРИЕНКО,
А. САВЧЕНКО

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины пр. Палладина, 32, Киев, Украина, 03680,
тел.: +38(044)4242100, эл. почта: irinam@igph.kiev.ua

НЕОДНОРОДНОСТЬ ЛИТОСФЕРЫ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ И ЕЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ. II ЧАСТЬ. ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

<https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.083>

Цель. Геодинамическая интерпретация комплекса полученных ранее результатов 3D плотностного и магнитного моделирования, а также данных о разломной тектонике консолидированной коры Днепровской части Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) в свете механизма ее формирования. **Методика.** Детальный анализ структурных соотношений строения осадочной толщи, блокового строения консолидированной коры и кинематики разломов Украинского щита (УЩ), Воронежского массива (ВМ) и их склонов в позднем протерозое с привлечением данных сейсмотомографии о более глубоких горизонтах литосферы. **Результаты.** Особенности строения и вещественного состава консолидированной коры ДДВ сформированы как “суммарный эффект” пассивного и активного этапов рифтогенеза. Последний, скорее всего, является следствием линейно вытянутых многофазных мантийных диапиров (астенолитов). Им соответствует неоднородность современной подкоревой мантии и сегментация консолидированной коры. Девонский рифт ДДВ заложен на шовной зоне северо-западного простираения, разделяющей домены докембрийского фундамента разного состава и строения. Раскрытие рифта на пассивном этапе происходило с юго-востока на северо-запад с участием правосдвиговых и вращательных движений блоков литосферы вдоль древней шовной зоны. Неоднородность докембрийской коры, правые сдвиги вдоль межсегментных и широтных разломов в сочетании с вращательными движениями привели к неравномерным полям напряжений и формированию новых межсегментных разломов. Уменьшение мощности или исчезновение “гранитного” и частично “диоритового” слоя явилось следствием пассивного этапа рифтообразования. Главными факторами активного этапа были процессы активизации астеносферы, переработки коры, ее эрозия снизу, формирование скоростной и плотностной неоднородности литосферы и рельефа ее подошвы. Консолидированная кора ДДВ имеет существенно большую основность по сравнению с окружающими структурами. Ее мощность увеличивается от сегмента к сегменту с северо-запада на юго-восток и сопровождается уменьшением толщины литосферы. Зоны максимального вклада коромантийной смеси в базальтовый слой являются признаком их активизации. Асимметричное строение нижней коры и мантийной части литосферы свидетельствуют о присутствии наклонных срывов внутри литосферы, как составной части механизма растяжения коры и поступления мантийного материала при рифтообразовании. Формирование осадочного слоя и его разрывной тектоники обусловлено структурой консолидированной коры. **Научная новизна.** Впервые рассмотрены неоднородности литосферы как показатели разных этапов формирования рифта – начального пассивного и последующего активного. Показана роль сдвиговых деформаций и вращательных движений при заложении и развитии рифта. **Практическая значимость.** Установленные связи неоднородности разных этажей литосферы могут использоваться для оценки нефтегазоносной перспективности региона.

Ключевые слова: Днепровско-Донецкая впадина, литосфера, рифт, геодинамика.

Введение

Почти столетние исследования ДДВ не привели к разработке единой геодинамической модели формирования этой структуры, в результате чего она рассматривается как авлакоген, впадина, рифт, рифт-синеклиза, бассейн. Достаточно полный обзор тектонических подходов к решению этой проблемы приведены в работах [Стовба, 2008;

Stephenson, Stovba, 2012 и др.]. На наш взгляд, предложенный А. В. Чекуновым [1994] термин “рифт-синеклиза” является наиболее удачным. Дискуссионным является вопрос рифтового происхождения ДДВ, а именно, возраст рифтинга: существовал ли рифейский рифт на месте нынешней структуры, было ли два этапа рифтогенеза или существовал только верхнедевонский рифт. В

настоящее время большинство тектонистов пришли к выводу, что рифтовая стадия развития прошла в верхнем девоне. Поскольку наши исследования базируются на плотностной и магнитной неоднородности литосферы, непосредственно вопрос возраста рифта, конечно, не может быть решен. Главное внимание направлено на структурные соотношения строения осадочной толщи и консолидированной коры с привлечением данных сейсмотомографии об особенностях более глубоких горизонтов литосферы и данных о кинематике разломов в позднем протерозое на Украинском щите, Воронежском массиве и их склонах. Именно с этой позиции мы попытались совместно толковать полученные ранее результаты 3D плотностного и магнитного моделирования и разломной тектоники консолидированной коры Днепровской части ДДВ [Куприенко и др., 2010; Пашкевич и др., 2014; Тектоника..., 2015; Старостенко и др., 2017].

Сам рифт, как справедливо, вслед за Е. Е. Милановским, считал А. В. Чекунов [1994], можно отнести к щелевому, что предполагает наличие дорифтового продольного разлома, существование которого вдоль свода древнего Сарматского щита отмечал и В. К. Гавриш [Геология ..., 1989], рассматривая формирование ДДВ вследствие пульсирующих линейно-вытянутых астеносферных диапиров, соединенных осевым разломом. Последний, естественно, должен был разделять различные по составу и строению участки коры по обе стороны от него, обуславливая в будущем неоднородный отзыв на процессы в мантии в виде различных коэффициентов растяжения или асимметрии будущего рифта и синеклизной части осадочного чехла. С другой стороны, докембрийский фундамент УЩ и ВМ имел в своем составе мегаблоки, разделенные субмеридиональными разломами, многократно активизированными как правосторонние сдвиги. Кроме того, ко времени заложения рифта на Восточно-Европейском кратоне уже существовала сеть сквозных широтных зон разломов [Bogdanova et al., 2008], неоднократно активизированных также как правые сдвиги.

При раскрытии рифта с юго-востока на северо-запад с одновременным участием вращательных движений [Чекунов, 1994; Чекунов и др., 1991] в новообразованной структуре не может сохраниться сегментация докембрийской коры, а межмегаблоковые разломы должны остаться в ней лишь как “следы” со сменой простирания.

Что касается модели формирования рифта, то в настоящее время существуют несколько подходов 2D прямого и обратного синрифтового и пострифтового моделирования с различными исходными параметрами среды, на которой закладывался рифт. Наиболее приемлемым, на наш взгляд, является двухмерное термомеханическое моделирование для открытой сильно неравновесной двухслойной литосферы, которая

состоит из блочно-структурированной земной коры и вязко-пластичной подкорковой мантии [Starostenko et al., 1999; Старостенко и др., 2001]. Принимая во внимание геотермические данные, авторы обосновали:

- различные величины растяжения земной коры и разогретой, реологически ослабленной мантийной литосферы;
- формирование диапиров вследствие ее растяжения;
- поддержку термальной активности литосферы за счет образования сети разломов и интенсивной магматической деятельности.

Все эти процессы могут сопровождать формирование рифта. Однако, как следует из существенной неоднородности состава и строения консолидированной коры, на которой возник рифт, в каждом будущем его сегменте может превалировать тот или иной из перечисленных процессов, который вызывает перестройку, или создание “новой” коры. Эти обстоятельства затрудняют решение термомеханической задачи и требуют 3D моделирования. Как указывают авторы работы [Stephenson, Stovba, 2012], неоднородность консолидированной коры в сочетании с активизацией мантийной части литосферы и сдвигом вдоль разломов различных простираний привели к различной степени ее растяжения (1.3 на северо-западе, 2.3 на юго-востоке), различной мощности и скорости накопления осадков, разной ширине осевого рифта и областей, охваченных рифтовыми процессами, а в некоторых случаях – асимметрии всей структуры ДДВ. Признаком присутствия вращательных движений при раскрытии рифта является изменение направлений простирания оси рифта, а ее последовательное смещение вдоль межсегментных разломов – следствием правых сдвигов вдоль них.

Поскольку мы имеем данные о современном состоянии литосферы, которое только частично зафиксировало фанерозойские события ее истории, есть надежда, что неоднородности различных ее слоев, которые сформированы, главным образом, под влиянием мантийных процессов, могут внести дополнительный вклад в геодинамическую характеристику формирования рифта и впадины в целом.

Цель исследований

Геодинамическая интерпретация комплекса полученных ранее результатов 3D плотностного и магнитного моделирования, а также данных о разломной тектонике консолидированной коры Днепровской части Днепровско-Донецкой впадины в свете механизма ее формирования.

Методика

Детальный анализ структурных соотношений строения осадочной толщи и консолидированной

коры, блокового строения и кинематики разломов в позднем протерозое Украинского щита, Воронежского массива и их склонов с привлечением данных сейсмотомографии о более глубоких горизонтах литосферы.

Результаты

Особенности строения и состава консолидированной коры и верхней мантии различных сегментов ДДВ

Неоднородности литосферы ДДВ в целом, описанные в [Старостенко и др., 2017] сформированы на протяжении всей истории развития впадины и должны содержать информацию о геодинамических особенностях рифтообразования, обусловивших сегментацию рифта.

Поэтому проследим изменения в строении различных этажей литосферы и их соотношения в

пределах каждого из сегментов по простиранию ДДВ.

В *Черниговском сегменте* (рис. 1) разрезы литосферы существенно отличаются от остальных сегментов ДДВ по составу коры и морфологии ее главных разделов. В данном сегменте, в отличие от остальных, под осевым рифтом присутствует “гранитный” слой. В северо-западной части сегмента (рис. 2) большую часть консолидированной коры составляет “диоритовый” слой, формы рельефа подошвы и кровли которого коррелируют с рельефом кровли коромантийной смеси (КМ). Антиклинальные формы этих поверхностей относятся к магматически активизированным прибортовым частям рифта, которые характеризуются проявлением щелочно-ультраосновных лав, штоков, пирокластики и многочисленными вулканами [Wilson, Leashkevich, 1996]. Последние располагаются над краевыми частями глубинного магнитного блока с намагниченностью 2 А/м.

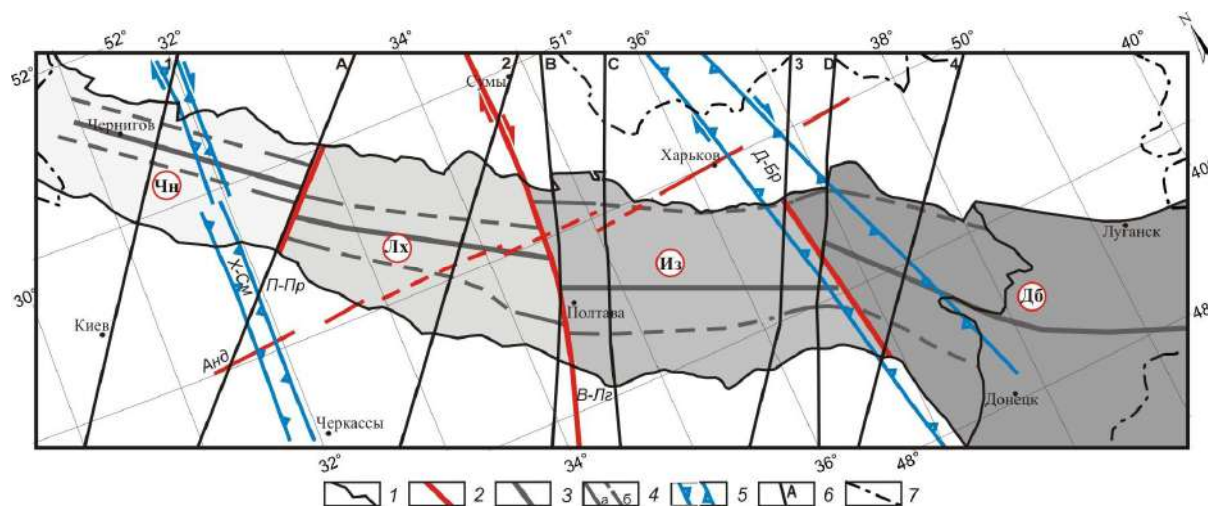


Рис. 1. Сегментация Днепровско-Донецкой впадины

по [Тектоника..., 2015] и положение линий разрезов литосферы (см. рис. 2–9)

(1 – граница ДДВ; 2 – границы главных сегментов впадины; девонский рифт: 3 – ось; 4 – границы центрального рифта: по данным [Stephenson, Stovba, 2012] (a); по комплексу геофизических данных (б); 5 – трансрегиональные тектонические швы: X-См – Херсон Смоленск; Д-Бр – Донецк Брянск; 6 – разрезы литосферы по данным [Stephenson; Stovba; 2012] (A; B; C; D); расчетные (1–4); 7 – государственные границы. Буквы в кружках – главные сегменты в пределах ДДВ: Чн – Черниговский; Лх – Лохвицкий; Из – Изюмский; Дб – Донбасс. Разломы: П-Пр – Переяслав-Хмельницкий-Прилуцкий; В-Лг Верховцевско – Львовский; Анд – Андрушевский)

Fig. 1. The segmentation of the Dnieper-Donets basin by [Tectonics..., 2015] and position of the lithosphere cross-section lines (see Fig. 2–9)

(1 – the boundary of the DDB; 2 – boundaries of the main segments of the basin; Devonian rift: 3 – axis; 4 – the borders of central rift by [Stephenson, Stovba, 2012] (a); according to the complex of geophysical data (b); 5 – transregional suture zones: X-См – Kherson Smolensk; Д-Бр – Donetsk Bryansk; 6 – the lithosphere cross-sections by [Stephenson; Stovba; 2012] (A; B; C; D); calculated one (1–4); 7 – the state border. Letters in circles – the main segments within the DDB: Чн – Chernihovskiy; Лх – Lohvitskiy; Из – Izyumskiy; Дб – Donbass. Faults: П-Пр – Pereyaslav-Khmel'nitsk-Prilukskiy; В-Лг Verhovtsevo – Lgovskiy; Анд – Andrushevskiy)

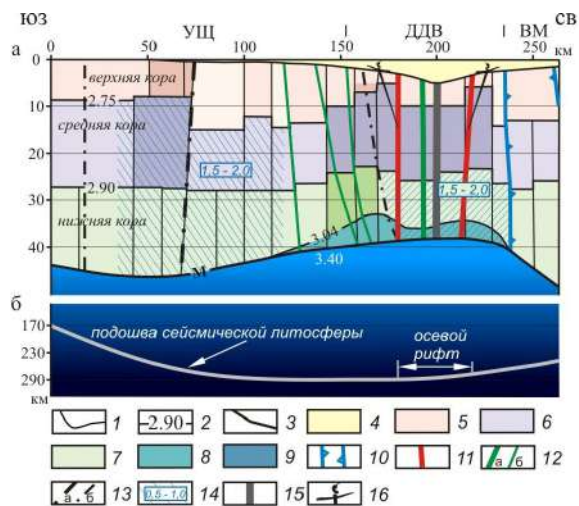


Рис. 2. Разрез литосферы вдоль профиля 1: а – плотностная модель земной коры; б – рельеф подошвы литосферы по [Глибинна..., 2011]. (1 – поверхность фундамента; 2 – изолинии плотности как границ условно выделенных слоев консолидированной коры: 2,75 г/см³ – подошва “гранитного”; 2,90 г/см³ – подошва “диоритового”; 3 – раздел Мохо; слои земной коры: 4 – осадочный; 5 – “гранитный”; 6 – “диоритовый”; 7 – “базальтовый”; более светлый цвет – блоки с меньшим градиентом изменения плотности с глубиной (разуплотненные); более темный – с большим градиентом (уплотненные); 8 – коромантийная смесь; 9 – мантия; 10 – трансрегиональный тектонический шов; 11 – краевые разломы осевой части рифта; 12 – осевой разлом рифта (а) и продольные разломы (б); 13 – широтные разломы (а) и другие; сопутствующие им (б); 14 – магнитные блоки и величина намагниченности; А/м; 15 – ось рифта; 16 – центры вулканизма)

Fig. 2. The lithosphere cross-section along the profile 1:

а – density model of the earth's crust; б – relief of the lithosphere base by [Deep ..., 2011] the basement surface; 2 – density isolines as a borders of the conventionally allocated crust layers: 2.75 g/cm³ as a bottom of the “granitic” one; 2.90 g/cm³ – the same of “dioritic”; 3 – Moho discontinuity; Earth crust layers: 4 – sedimentary; 5 – “granitic”; 6 – “dioritic”; 7 – “basaltic”; a light color shows the blocks with a smaller gradient of the density change with depth (decompaction); a dark color is the same with a large gradient (compaction); 8 – crust-mantle mixture; 9 – mantle; 10 – transregional suture zones; 11 – border faults of the axial rift part; 12 – axial rift fault (a) and longitudinal faults (b); 13 – latitude faults (a) and accompanying them (b); 14 – magnetic blocks and the value of magnetization (A/m); 15 – rift axis; 16 – volcanic centers

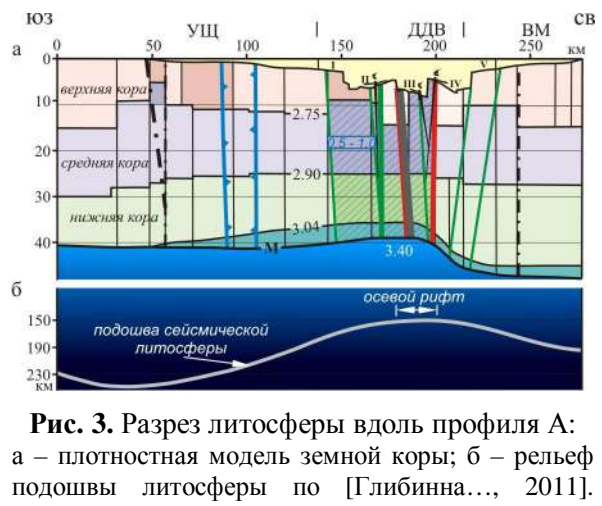


Рис. 3. Разрез литосферы вдоль профиля А: а – плотностная модель земной коры; б – рельеф подошвы литосферы по [Глибинна..., 2011]. (Римские цифры – структурные элементы по [Stephenson, Stovba, 2012]: плечи рифта (I, V), осевой рифт (III), бортовые зоны (II, IV)). Условные обозначения см. на рис. 2)

Fig. 3. The lithosphere cross-section along profile A:

а – density model of the earth's crust; б – relief of the lithosphere base by [Deep ..., 2011]. (Roman numerals – structural elements by [Stephenson, Stovba, 2012]: rift shoulders (I, V), the axial rift (III), the board zones (II, IV). Other of symbols see Fig. 2)

Рифту соответствует подъем раздела Мохо, который сопряжен с резким прогибом подошвы литосферы, не согласованным с простираем всей ДДВ и прослеженным в пределы УЩ. Коромантийная смесь распространена под рифтом и его бортами. Подкоровая мантия в этой части сегмента обладает повышенными значениями аномалий продольной сейсмической скорости [Цветкова, Бугаенко, 2012].

В юго-восточной части сегмента (рис. 3) разрез земной коры слабо дифференцирован, осевой рифт и его бортовые части не находят отражения в рельефе границ и мощности “диоритового” и “базальтового” слоев. Безграничная кора, как характерная черта рифтов, представлена только в северо-восточной части осевого рифта.

Глубинные магнитные образования распространены в уплотненных “диоритовом” и “базальтовом” слоях в осевом рифте, юго-западной бортовой части и плече рифта.

Области девонского магматизма и вулканы приурочены к краевым частям глубинного магнитного тела. Кровля “базальтового” слоя в этой части сегмента имеет плоский рельеф при слабо выраженном подъеме раздела Мохо и сокращенной мощности “базальтового” слоя под осевым рифтом относительно склонов УЩ и ВМ, что не является типичным для рифтовых структур.

Рельеф раздела Мохо асимметричен и коррелирует с рельефом подошвы литосферы. Коро-

мантийная смесь имеет практически постоянную мощность и выходит за границы ДДВ. Подкорковая мантия юго-восточной части Черниговского сегмента относится к области пониженных аномалий скорости продольных сейсмических волн (см. рис. 3) и [Старостенко и др., 2017, рис. 8]).

В целом Черниговский сегмент неоднороден по составу коры и морфологии внутрискоровых границ и подошвы литосферы.

Лохвицкий сегмент (см. рис. 1) характеризуется принципиально иным, по сравнению с Черниговским, соотношением мощностей слоев консолидированной коры и четко выраженными формами рельефа главных разделов литосферы. Консолидированная кора под осевым рифтом безгранична с ярко выраженными асимметричными подъемами кровли “базальтового” слоя, коромантийной смеси, подошвы коры и сейсмической литосферы. Закономерное смещение структурных форм этих границ в северо-восточном направлении создает картину асимметричного строения литосферы в целом и может интерпретироваться как результат серии наклонных сбросов, один из которых прослеживается и в подкорковой мантии (рис. 4).

Под рифтом существенно уменьшена мощность “базальтового” слоя относительно УЩ и ВМ и их склонов за счет увеличения мощности КМ. Область распространения собственно коромантийной смеси также подчеркивает упомянутую асимметрию. Консолидированная кора под всем рифтом уплотнена и магнитна. К краям блока магнитной коры тяготеют проявления девонского вулканизма. Тип магматизма на бортах рифта разный: на северо-востоке преобладает щелочно-ультраосновный, на юго-западе – мафический [Пистрак, Пашова, 1974; Wilson, Lyashkevich, 1996].

Сегменту полностью соответствует область пониженных аномалий скорости продольных сейсмических волн, которая частично распространяется за пределы ДДВ на северо-восток. На глубине 330–350 км под центром осевого рифта в слое Голицына-Гейко (СГГ) происходят изменения его скоростной характеристики: от низких скоростей на северо-западе к “переслаиванию” низких и высоких на юге (см. рис. 4, [Старостенко и др., 2017, рис. 8]).

Таким образом, характеристика литосферы и подлитосферной мантии Лохвицкого сегмента свидетельствуют о прямых признаках проявления в нем рифта.

Изюмский сегмент охарактеризован тремя разрезами (см. рис. 1). Профиль В (рис. 5) находится на границе с Лохвицким и частично повторяет черты его строения, при этом принципиально меняются соотношения мощностей слоев коры. Осевой рифт имеет безграничную кору и уменьшенную мощность “диоритового” слоя, особенно над подъемом кровли “базаль-

тового” в юго-западной части рифта. “Диоритовый” и “базальтовый” слои уплотнены и магнитны под всем рифтом.

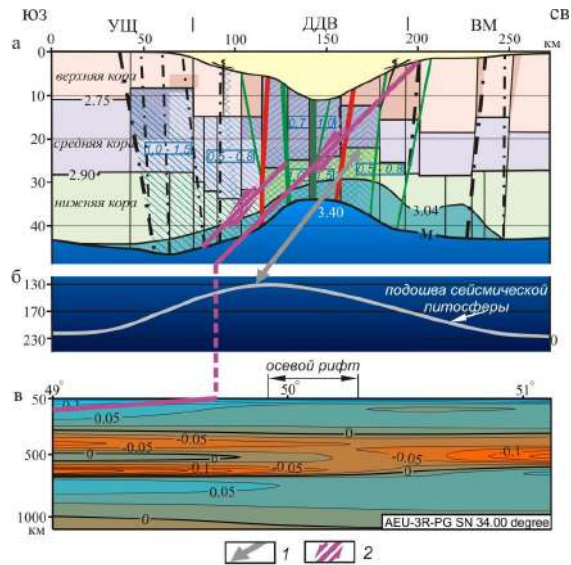


Рис. 4. Разрез литосферы вдоль профиля 2:

а – плотностная модель земной коры; б – рельеф подошвы литосферы по [Глибинна..., 2011]; в – аномалии сейсмической скорости в мантии по [Цветкова, Бугаенко, 2012]

(1 – смещение поднятий главных границ раздела земной коры и мантии; 2 – предполагаемые разломы внутри литосферы с направлением перемещений. Другие условные обозначения см. на рис. 2)

Fig. 4. The lithosphere cross-section along the profile 2:

a – density model of the earth's crust; б – relief of the lithosphere base by [Deep ..., 2011]; в – seismic velocity anomalies in the mantle by [Tsvetkova and Bugaenko, 2012]. (1 – anticline form displacement of the main interfaces of the crust and mantle; 2 – assumed faults within the lithosphere with the direction of displacements. Other of symbols see on the Fig. 2)

Коромантийная смесь распространена под осевым рифтом и склоном ВМ. Осевой рифт фиксируется четким подъемом раздела Мохо и, в отличие от Лохвицкого сегмента, нечетко проявленным подъемом подошвы литосферы. Уплотненная линза в верхней мантии отвечает выступу “базальтового” слоя.

Здесь, также как в Лохвицком сегменте, можно выделить наклонный разлом типа сброса с амплитудой 10 км, а также предположить сброс противоположного падения с амплитудой около 5 км на северо-востоке (см. рис. 5). Последний связывается с глубинной частью межсегментного Верховцевско-Льговского глубинного разлома. Структура коры подчеркивает ее асимметрию, но

в противоположном, по отношению к предыдущему разрезу (см. рис. 4), направлении.

В центральной части Изюмского сегмента разрез аналогичен предыдущему. Под осевым рифтом (рис. 6) консолидированная кора имеет базальтовый состав, рельеф подошвы литосферы становится близким к симметричному со слабым подъемом под рифтом.

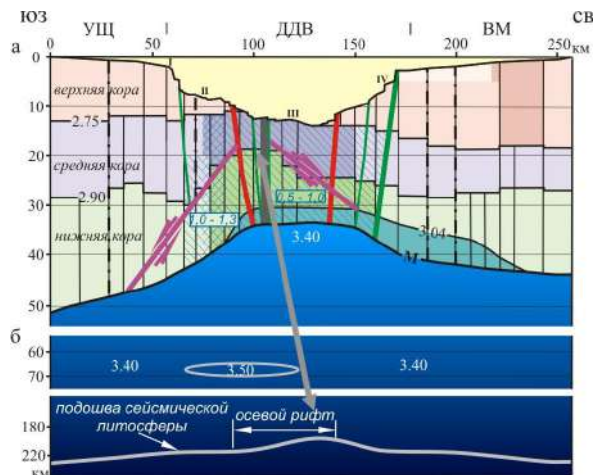


Рис. 5. Разрез литосферы вдоль профиля В: а – плотностная модель земной коры; б – рельеф подошвы литосферы по [Глибинна..., 2011]. (Овалом показана линза повышенной плотности ($г/м^3$), как эквивалентное распределение плотности мантии, полученное по данным трехмерного плотностного моделирования до глубины 100 км. Другие условные обозначения см. на рис. 2–4)

Fig. 5. The lithosphere cross-section along the profile B:

а – density model of the earth's crust; б – relief of the lithosphere base by [Deep ..., 2011]. (Oval shows high density (g/m^3) lens as equivalent to the distribution of the mantle density obtained according to the three-dimensional density modeling to a depth of 100 km. Other symbols see Fig. 2–4)

Асимметрия коры проявляется в рельефе раздела Мохо и кровли “базальтового” слоя, позиции глубинных магнитных источников, коромантийной смеси и в мощностях “диоритового” и “базальтового” слоев.

В подкоровой мантии выделена линза пород с плотностью $3,50 г/см^3$. Сегменту соответствует мантийная область “переслаивания” положительных и отрицательных аномалий скорости (см. рис. 6, [Старостенко и др., 2017, рис. 8]), а также изменение мощности и скоростной характеристики СГГ на глубинах 275–670 км.

Ближе к границе с Донбассом (рис. 7) в Изюмском сегменте структура литосферы претерпевает существенные изменения. В консоли-

дированной коре под осевым рифтом вновь появляется маломощный “диоритовый” слой, кровля “базальтового” слоя имеет “размытый” асимметричный антиклинальный вид. Коромантийная смесь концентрируется в виде резкого выступа мощностью 12 км и аномально высокой плотности ($3,20 г/см^3$) на разделе Мохо. В северо-восточной части рифта и на склоне ВМ средняя и нижняя кора магнитны. Кора ограничена слабо дифференцированным разделом Мохо, под которым верхняя мантия на глубинах 60–80 км уплотнена до $3,50 г/см^3$. В этом разрезе, как и далее на юго-восток, осевому рифту соответствует склон подошвы литосферы.

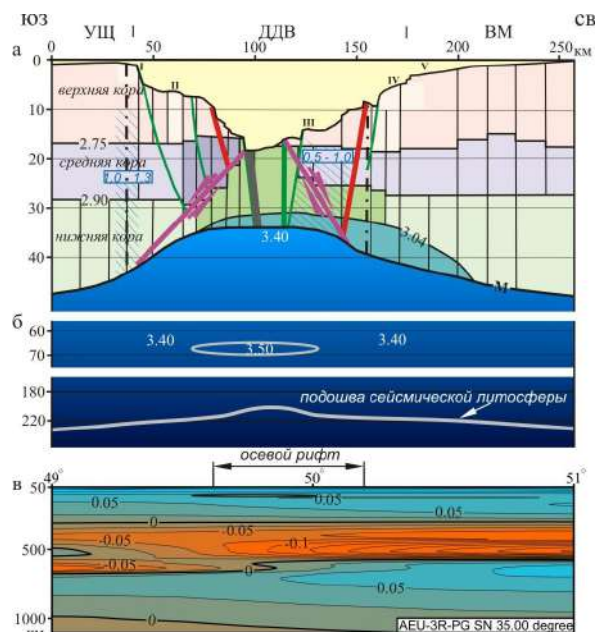


Рис. 6. Разрез литосферы вдоль профиля С: а – плотностная модель земной коры; б – рельеф подошвы литосферы по [Глибинна..., 2011]; в – аномалии сейсмической скорости в мантии по [Цветкова, Бугаенко, 2012]. (Условные обозначения см. на рис. 2–4)

Fig. 6. The lithosphere cross-section along the profile C:

а – density model of the earth's crust; б – relief of the lithosphere base by [Deep ..., 2011]; в – seismic velocity anomalies in the mantle by [Tsvetkova and Bugaenko, 2012] (Other of symbols see Fig. 2–4)

Разрез вдоль профиля D (рис. 8) освещает зону перехода от Изюмского сегмента к Донбассу и имеет некоторые принципиальные отличия от предыдущего (см. рис. 7). Утонение “диоритового” слоя и максимальный подъем кровли “базальтового” почти симметричной формы фиксируют наиболее прогнутую часть осевого рифта. Весь разрез консолидированной коры под рифтом уплотнен, а подъем раздела Мохо более

выражен. Подкорковая мантия имеет такую же характеристику, как и на предыдущем разрезе. Слой Голицына – Гейко под осевым рифтом меняет мощность, глубину залегания его границ и характер слоистости.

На профиле 4 (см. рис. 1), расположенном в северо-западной части Донбасса (рис. 9), “базальтовый” слой выходит на кристаллический фундамент в центральной части осевого рифта, его кровля имеет незначительные выступы в краевых частях рифта, которым соответствуют две локальные области уплотнения подкорковой мантии на глубине около 65 км.

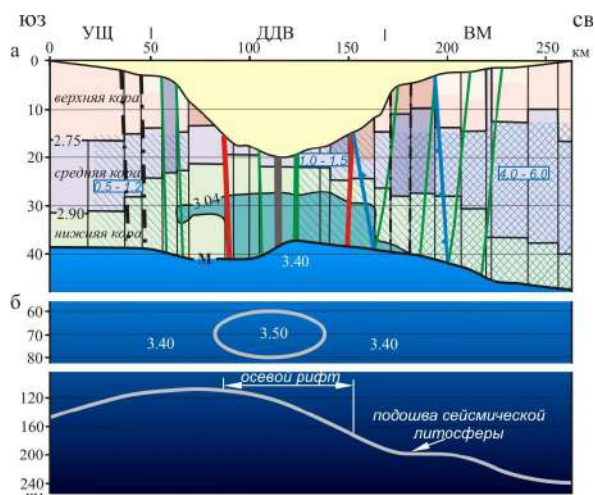


Рис.7. Разрез литосферы вдоль профиля 3: а – плотностная модель земной коры; б – рельеф подошвы литосферы по [Глибинна..., 2011]. (Условные обозначения см. на рис. 2, 5)

Fig. 7. The lithosphere cross-section along the profile 3:

a – density model of the earth's crust; б – relief of the lithosphere base by [Deep ..., 2011]. (Other of symbols see Fig. 2, 5)

Мощность КМ здесь самая большая в исследуемом регионе и достигает 16 км. Слабо дифференцированный рельеф раздела Мохо имеет форму уступа амплитудой около 5 км, который связан с тектоническим швом Донецк – Брянск.

Средняя и нижняя кора магнитна под склоном УЩ, северо-восточной частью рифта и склоном ВМ. Осевому рифту отвечает, как и в предыдущем случае, склон подошвы сейсмической литосферы.

Таким образом, можно констатировать, что сегменты консолидированной коры ДДВ отличаются по следующим параметрам: ее мощности, рельефу раздела Мохо и соотношению его с осью рифта, мощностям слоев, включая коромантийную смесь, ее области распространения и формам локализации, а также степени асимметрии структуры литосферы в целом. Формы рельефа подошвы литосферы изменяются

с северо-запада на юго-восток от несогласного прогиба, ярко выраженного антиклинального подъема через незначительный подъем до высокоамплитудной ступени погружения под ВМ [Старостенко и др., 2017, рис. 8)].

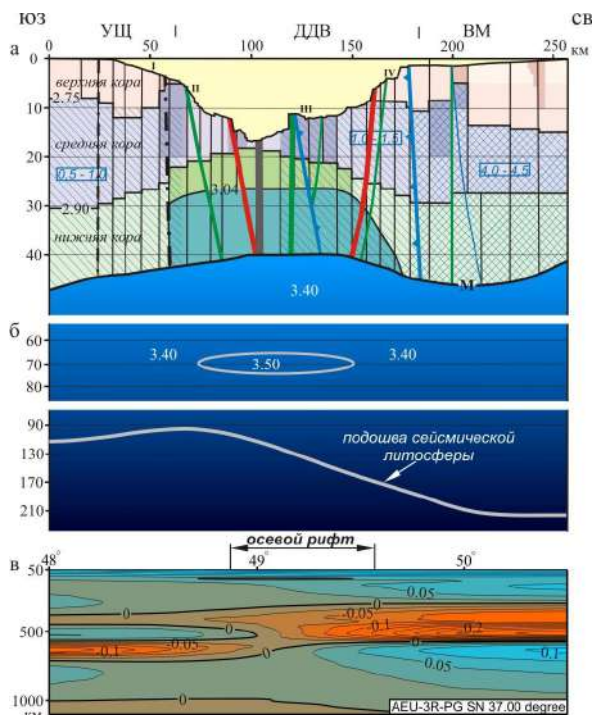


Рис. 8. Разрез литосферы вдоль профиля D: а – плотностная модель земной коры; б – рельеф подошвы литосферы по [Глибинна..., 2011]; в – аномалии сейсмической скорости в мантии по [Цветкова, Бугаенко, 2012]. (Условные обозначения см. на рис. 2, 5)

Fig. 8. The lithosphere cross-section along profile D:

a – density model of the earth's crust; б – relief of the lithosphere base by [Deep ..., 2011], в – seismic velocity anomalies in the mantle by [Tsvetkova and Bugaenko, 2012]. (Other of symbols see on the Fig. 2, 5)

Так сказать, классическое поднятие раздела Мохо в сочетании с подъемом подошвы литосферы, характерное для рифтов, соответствует осевому рифту только в Лохвицком и Изюмском сегментах.

Неоднородность вещественного состава и структуры литосферы ДДВ

Обобщенная структура коры ДДВ показана в виде разрезов вкрест впадины для каждого ее сегмента (рис. 10, а), форм рельефа раздела Мохо относительно оси рифта (рис. 10, б) и блок-диаграммы с разрезом вдоль оси рифта и соответствующим смещением каждого сегмента вдоль межсегментных разломов (рис. 11). Состав консолидированной коры характеризуется переменными соотношениями мощностей ее слоев, связанными с изменением основности.

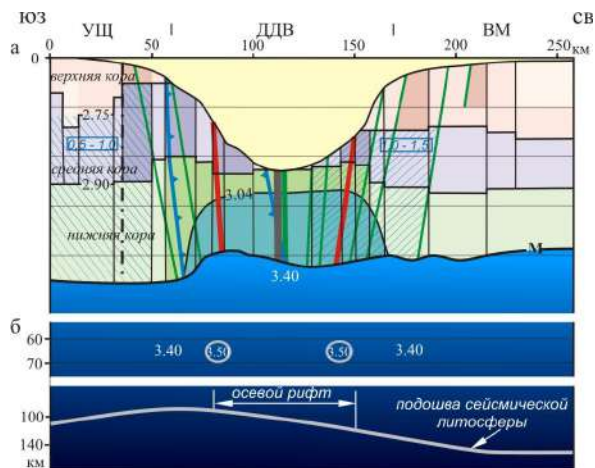


Рис. 9. Разрез литосферы вдоль профиля 4: а – плотностная модель земной коры; б – рельеф подошвы литосферы по [Глибинна..., 2011]. (Условные обозначения см. на рис. 2, 5)

Fig. 9. The lithosphere cross-section along the profile 4: а – density model of the earth's crust; б – relief of the lithosphere base by [Deep ..., 2011]. (Other symbols see Fig. 2, 5)

В Днепровской части впадины “гранитный” слой в пределах рифта присутствует фрагментарно с полным исчезновением в Лохвицком сегменте. “Диоритовый” слой уменьшается в мощности с северо-запада на юго-восток, где он практически отсутствует под осевым рифтом. “Базальтовый” слой имеет переменную мощность, существенно увеличивающуюся в этом направлении за счет увеличения мощности коромантийной смеси. Форма рельефа подошвы коры, как видим на рис. 10 б, имеет разную конфигурацию относительно оси рифта, что связано, в том числе, и с разной мощностью коры юго-западного и северо-восточного бортов. В переходной зоне к Донбассу (Пр. 3, D, 4) мощность коры изменяется от борта к борту без каких-либо закономерностей.

Мощность консолидированной коры ДДВ закономерно уменьшается в юго-восточном

направлении от сегмента к сегменту практически везде на 10 км с одновременным увеличением ее на северном борту по сравнению с южным (см. рис. 10, [Старостенко и др., 2017, рис. 5]). Формы рельефа подошвы литосферы также, как и подошвы коры, меняются от сегмента к сегменту и имеют разное соотношение с формами рельефа раздела Мохо (см. рис. 2–9, 10) от прямой корреляции в Лохвицком сегменте до обратной в Черниговском, отсутствии таковой в Изюмском и переходной зоне к Донбассу. Как видим, асимметричное строение ДДВ относительно оси рифта проявляется от поверхности до подошвы коры и даже до подошвы литосферы.

Рассмотрим теперь, какими причинами могут быть обусловлены приведенные выше особенности строения литосферы и состава коры ДДВ.

Одной из главных причин асимметричной ее структуры является иерархическая неоднородность литосферы на предрифтовой стадии и асимметрия источников тектонических процессов, в том числе и асимметрия мантийного плюма [Грачев, 2000 и др.], а, следовательно, и полей напряжений, ведущих к образованию рифта. Переориентация полей напряжений во времени известна в крупных рифтовых системах, например, в ЦентральноАфриканской [Ziegler, Cloetingh, 2004].

Под иерархической неоднородностью литосферы понимается различие в составе кристаллического фундамента и консолидированной коры в целом, в строении ее различных этажей вкрест и по простирацию будущего рифта, а также в мантийной части литосферы. Деформация литосферы и структурный стиль рифтов контролируется предшествующими структурами [Stephenson et al., 1993; Tommasi, Vauchez, 2001; Ziegler, Cloetingh, 2004; Lao-Davila, 2015, Katumwehe et al., 2015 и др.], в частности, реологической структурой литосферы, прочностными характеристиками коры, наличием коровых разделов, которые могут быть активизированы под действием напряжений, их типом (ортогональным или косым) и интенсивностью растяжения. На ранней рифтовой стадии континентальные рифты часто обнаруживают явную компоненту сдвиговой деформации [Ziegler, Cloetingh, 2004].

Заложение ДДВ происходило на неоднородном докембрийском фундаменте юго-западного сегмента Восточно-Европейского кратона – Сарматии (рис. 12), сложенной на севере от ДДВ блоками первого порядка Воронежского массива – Брянским, Курским, Ливенско-Воронежским, Россошанским [Карта..., 1992], – а на юге мегаблоками УЩ – Волыньским, Росинским, Ингульским, Среднеприднепровским, Приазовским. Северные блоки первого порядка образуют два мегаблока – Брянский и Курский, которые разделены Ингулеcko-Криворожско-Крупецкой шовной зоной I-го ранга. Южные мегаблоки образуют две микроплиты – Западную и Восточную, разделенные в пределах УЩ шовной зоной (трансрегиональным тектоническим швом) Херсон-Смоленск.

Блоки первого порядка и мегаблоки по обе стороны от ДДВ отличаются по типу и составу вещественных комплексов. Брянский блок относится к эндрбит-гранулитовой области и рассматривается как кратонизированный сегмент с широким развитием гранитизации и мигматит-гранитных вещественных комплексов. Росинский мегаблок, западная часть Курского, Ливенско-Воронежский и Россошанский блоки представляют собой выступы метабазит-амфибол-

гнейсового основания с преимущественным развитием амфиболито-гнейсовых поясов. Среднеприднепровский мегаблок и восточная часть Курского также имеют метабазит-амфиболито-гнейсовое основание, но спреобладанием зеленокаменных поясов. Приазовский мегаблок рассматривается как выступ метабазит-гранулитового

основания. Многократно активизированный Ингульский мегаблок отнесен в работе [Карта..., 1992] к подвижному поясу, вместе с шовной зоной Херсон-Смоленск и фактически представляет зону сочленения Западной метабазит-гранулитовой и Восточной метабазит-амфиболит-гнейсовой микроплит УЩ.

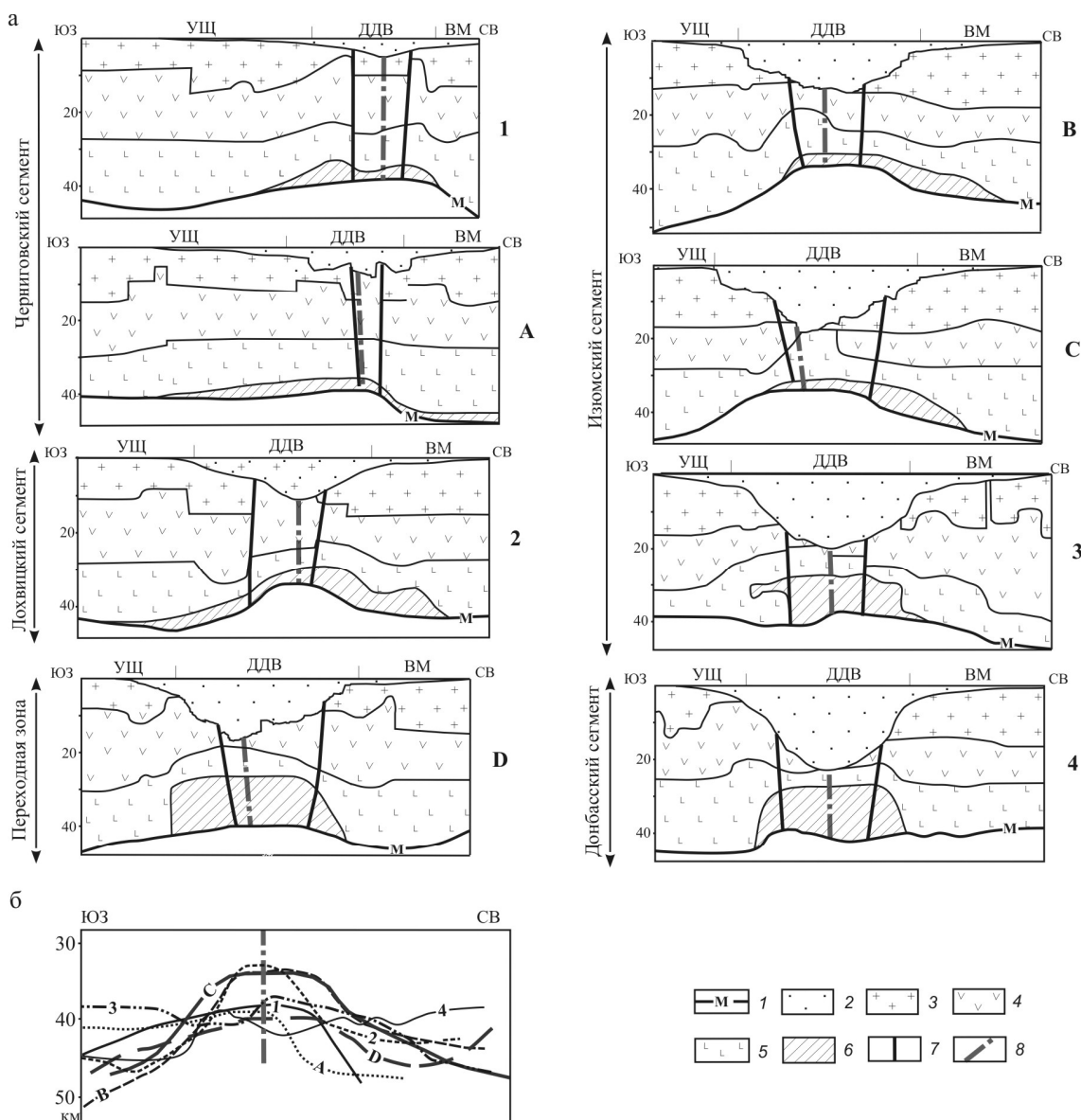


Рис. 10. Генерализованные разрезы земной коры вкост ДДВ (а) и поведение раздела Мохо относительно оси рифта по разрезам (см. номера на кривых) (б) (1 – положение раздела Мохо, слои земной коры: 2 – осадочный; 3 – “гранитный”; 4 – “диоритовый”; 5 – “базальтовый”; 6 – коромантийная смесь; 7 – краевые разломы осевой части рифта; 8 – ось рифта)

Fig. 10. Generalized cross sections of the crust across DDB (a) and Moho discontinuity behavior on the cross sections with respect to the rift axis (see the numbers on the curves) (b) (1 – the Moho discontinuity, the Earth's crust layers: 2 – sedimentary; 3 – “granitic”; 4 – “diioritic”; 5 – “basaltic”; 6 – crust-mantle mixture; 7 – border faults of the axial rift part; 8 – the rift axis)

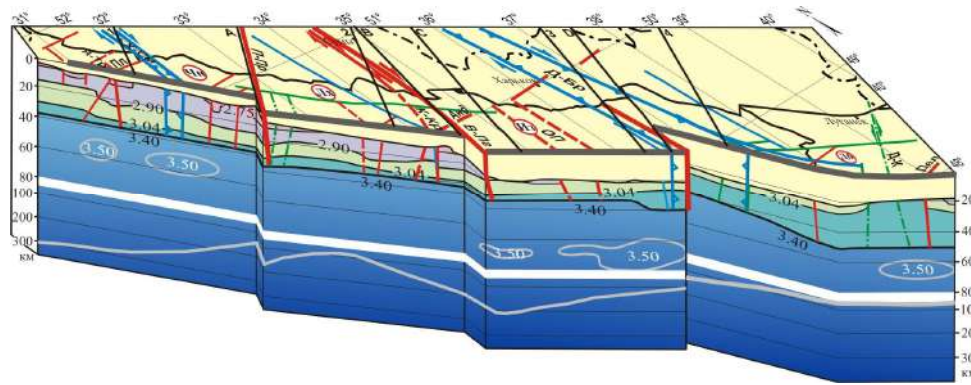


Рис. 11. Блок-диаграмма строения консолидированной коры ДДВ
(Условные обозначения см. на рис. 1, 2, 5)

Fig. 11. The block diagram of the DDB crystalline crust structure
(Other symbols see Fig. 1, 2, 5)

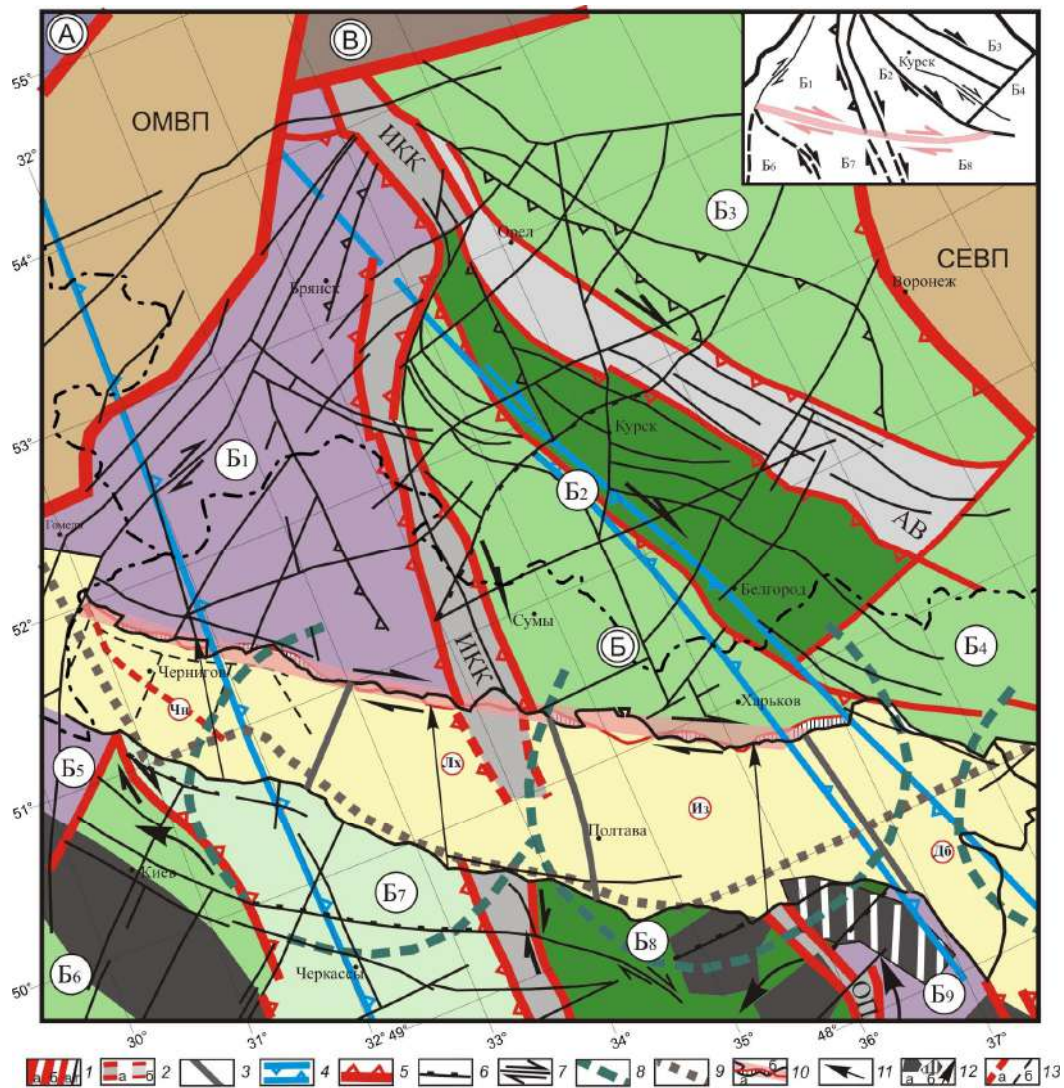


Рис. 12. Схема тектонического районирования кристаллического фундамента
Сарматии по [Карта..., 1992; Тектонічна..., 2007]

На врезке приведена реконструкция сочленения докембрийских структур на предрифтовом этапе с кинематической характеристикой главных разломов и предполагаемой шовной зоной. (1 – разломы:

межгеоблоковые (а); межмегаблоковые (б); межблоковые (в); другие (г); 2 – шовные зоны первого (а) и второго (б) ранга; 3 – межсегментные разломы ДДВ; 4 – трансрегиональные тектонические швы; кинематические типы разломов: 5 – надвиги; 6 – сбросы, 7 – сдвиги; 8 – кольцевые структуры, выделенные по аэрокосмическим данным; 9 – северная граница распространения высокоскоростного прослоя в слое Голицына-Гейко по [Цветкова, Бугаенко, 2012]; 10 – положение совмещенных северного (черный) и южного (красный) краевых разломов ДДВ и предполагаемое положение дорифтовой шовной зоны (розовая полоса), перекрытия (а) и “зияния” (б) при совмещении; 11 – направление перемещения южного краевого разлома для оптимального совмещения с северным; 12 – древние ядра консолидации коры (а), те же переработанные (б) с направлением их вращения во время формирования рифта по [Чекунов, Пашкевич, 1989]; 13 – положения разломов Украинского щита после совмещения краевых разломов ДДВ. Буквы в двойных кружках – сегменты Восточно-Европейского кратона: А – Фенноскандия; Б – Сарматия; В – Волго-Уралья. Вулканические межсегментные пояса: ОМВП – Осницко-Микашевичский; СЭВП – Ставропольско-Эртильский. Буквы в кружках – блоки первого ранга ВМ и мегаблоки УЩ: Б₁ – Брянский; Б₂ – Курский; Б₃ – Ливенско-Воронежский; Б₄ – Россошанский; Б₅ – Вольнский; Б₆ – Росинский; Б₇ – Ингульский; Б₈ – Среднеприднепровский; Б₉ – Приазовский. Шовные зоны: ИКК – Ингулецко-Криворожско-Крупецкая и ОП – Орехово-Павлоградская I-го ранга; АВ – Алексеевско-Воронежская II-го ранга)

Fig. 12. Tectonic zoning scheme of the crystalline basement of Sarmatia by the [Map ..., 1992; Tectonic ..., 2007].

The inset shows the reconstruction of the junction of Precambrian prerift stage structures, kinematic characteristics of the major faults and the supposed suture zone (1– faults: intergeoblocks (a); intermegablocks (б); interblocks (в); others (г) 2 – suture zones of the first (a) and second (б) ranks; 3 – DDB intersegment faults; 4 – transregional suture zones; kinematic types of faults: 5 – thrusts; 6 – faults; 7 – shears; 8 – circular structures marked by aerospace data; 9 – the northern border of the high velocity interlayer inside Golitsyn – Geiko layer by [Tsvetkova and Bugaenko, 2012]; 10 – position of superimposed northern (black) and south (red) DDB border faults and supposed prerift suture zone position (pink stripe), the overlap (a) and the “hiatus” (b) in combination; 11 – the direction of movement of the southern border fault for optimal alignment with the north one; 12 – the ancient core of the crust consolidation (a), the same reprocessed (b) and the direction of rotation during the rift formation by [Chekunov; Pashkevich; 1989]; 13 – the position of the Ukrainian shield faults after DDB border faults superimposing. The letters in the double circles: segments of the East European craton: А – Fennoscandia; Б – Sarmatia; В – Volga-Urals. Volcanic intersegment belts: ОМВП – Osnitsk-Mikashevichskiy; СЭВП – Stavropol-Ertilskiy. The letters in the circles: the blocks of the first rank of the Voronez massif and megablocks of the Ukrainian shield: Б₁ – Bryansk; Б₂ – Kursk; Б₃ – Lievens-Voronezh; Б₄ – Rossoshanskiy; Б₅ – Volynskiy; Б₆ – Rosinskiy; Б₇ – Inguskiyl; Б₈ – Middle Dnepr; Б₉ – Azov. Suture zones: ИКК – Ingulets – Krivoy Rog-Krupetskaya (I-rank); АВ – Alekseevsko-Voronetskaya and ОП – Orekhov-Pavlogradskaya (II-rank). Other symbols see Fig. 1)

Таким образом, на предрифтовой стадии докембрийский фундамент Сарматии был неоднороден по вещественному и структурно-формационному составу к северу и югу от будущего северо-западного генерального простирания рифта, косого по отношению к дорифтовым докембрийским структурам. Кроме того, Брянский, Росинский, Курский и Среднеприднепровский мегаблоки характеризуются разным стилем разрывной тектоники, но правосторонние сдвиги являются преобладающим кинематическим типом разломов в период последней докембрийской фазы активизации [Гинтов, 2005]. Этот тип разломов в Курском и Среднеприднепровском мегаблоках ярко проявляется в характерной морфологии складчатых структур и нарушений, опережающих главные разломы, типичных для правых сдвигов. Правый сдвиг установлен вдоль неоднократно активизировавшегося тектонического шва Донецк-Брянск [Кутас, Пашкевич, 2000]. Правосторонние сдвиги в Брянском и Росинском мегаблоках зафиксированы тектоно-

физическими наблюдениями вдоль Чернобыльского, Ядловско-Трактеевского и Криворожско-Кременчугского разломов Украинского щита [Гинтов, 2005]. Кроме правых сдвигов в Курском блоке первого порядка отмечается система дугообразных разломов с предполагаемым центром в районе тройного сочленения главных шовных структур Сарматии. Исходя из описанных различий докембрийского фундамента, можно предположить, что сочленение “северных” блоков первого порядка и “южных” мегаблоков на дорифтовой стадии происходило по шовной зоне, что обусловило заложение рифта и впадины именно вдоль этой зоны. Целый ряд зон разломов склона УЩ – северная часть Ядловско-Трактеевской, Днепродзержинской, Центрально-Волноваской, Павлоградская часть Орехово-Павлоградской шовной зоны – имеют северо-западное простирание и являются правыми сдвигами. Если это так, то время заложения дорифтовой шовной зоны следует отнести к позднему архею-раннему протерозою, а поле

тектонических напряжений при этом – к субширотному растяжению – субмеридиональному сжатию. *Итак, можно констатировать, что процесс формирования рифта являлся суммарным откликом на разный состав и структуру коры по обе стороны от дорифтовой шовной зоны, а также на неоднородность консолидированной коры по простиранию будущего рифта при преобладании правосторонних сдвигов вдоль разломов.*

Неоднородность современной консолидированной коры региона в целом охарактеризована ее типами, выделенными по соотношению мощностей составляющих ее слоев (условно

выделенных “гранитного”, “диоритового” и “базальтового” с включением в него так называемой коромантийной смеси (см. рис. 13, табл.). Типизация коры разработана по аналогии с типизацией коры юго-западной части Восточно-Европейской платформы на основе данных ГСЗ и гравитационного моделирования [Схема..., 1992] и Украинского щита [Куприенко и др., 2007]. Так как КМ практически во всей ДДВ, в отличие от УЩ и ВМ, составляет 20 % от мощности “базальтового” слоя и более, прогнозная петрологическая характеристика типов коры в ДДВ в некоторой степени условна.

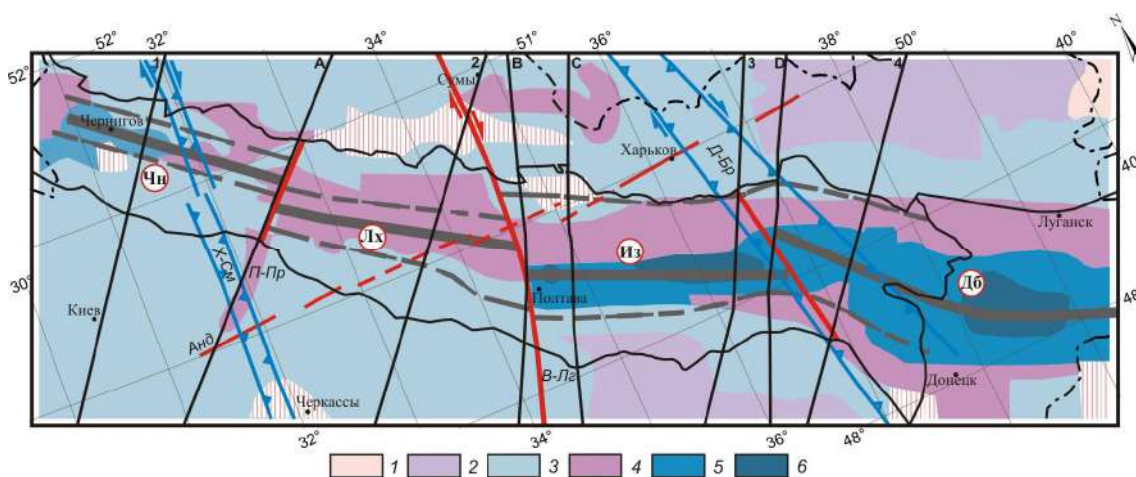


Рис. 13. Типы консолидированной земной коры ДДВ, выделенные по соотношению мощностей ее главных слоев по данным трехмерного плотностного моделирования (1 – гранитный; 2 – гранитно-диоритовый; 3 – диоритовый; 4 – лейкобазальтовый; 5 – базальтовый; 6 – магнезиальных базальтов. Красной штриховкой показана не типизированная кора. Другие условные обозначения см. на рис. 1)

Fig. 13. Types of the DDB crystalline Earth crust determined by the ratio of the main layers thicknesses according to the three-dimensional density modeling (1 – granitic; 2 – granite-dioritic; 3 – dioritic; 4 – leuko-basaltic; 5 – basaltic; 6 – magnesia basaltic. Red shading shows no typified crust. Other symbols see Fig. 1)

Долевое участие слоев в мощности консолидированной коры
Layers share in the thickness of the crust

| Слои | Гранитный | Диоритовый | Базальтовый |
|-------------------------|-----------|------------|-------------|
| Типы коры | | | |
| Гранитный | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| Гранитно-диоритовый | 0.3–0.4 | 0.4–0.6 | 0.1–0.3 |
| Диоритовый | 0.0–0.3 | 0.3–0.7 | 0.1–0.5 |
| Лейкобазальтовый | 0.0–0.3 | 0.2–0.5 | 0.4–0.7 |
| Базальтовый | 0.0–0.1 | 0.1–0.2 | 0.7–0.9 |
| Магнезиальных базальтов | 0.0 | 0.0 | 1.0 |

На фоне коры преимущественно диоритового типа, развитого за пределами ДДВ, во впадине кора представлена лейкобазальтовым, базальтовым типом и типом магнезиальных базальтов.

Ее основность увеличивается от сегмента к сегменту с северо-запада на юго-восток, подчиняясь продольной системе разломов со сдвиговыми перемещениями по межсегментным разломам. Асимметричная картина распределения типов коры относительно оси рифта отмечается в Лохвицком и Изюмском сегменте. В этих сегментах кора лейкобазальтового типа характеризуется повышенной намагниченностью “диоритового” и “базальтового” слоев. В западной части Черниговского сегмента и Донбассе глубинные магнитные тела частично относятся к базальтовому типу коры.

При сравнении неоднородности подкоревой части литосферы [Старостенко и др., 2017, рис. 8] с типами коры (см. рис. 13) обнаруживается, что базальтовый тип и тип магнезиальных базальтов Изюмского сегмента и Донбасса развиты в осевом

рифте в области “переслаивания” положительных и отрицательных аномалий скорости подкоревой мантии, что, может служить показателем переработки коры.

В заключение можно отметить, что заложение рифта происходило на шовной зоне, которая разделяла неоднородную по составу и типу тектоники дорифтовую кору по обе стороны от будущего рифта, что обусловило сегментацию консолидированной коры ДДВ и разную степень асимметрии ее структуры, что в современной подкоревой мантии отражается в виде ее неоднородности. Увеличение основности коры с северо-запада на юго-восток подчеркивает особенности раскрытия рифта в обратном направлении.

Геодинамическая интерпретация полученных данных

Описанная предрифтовая гетерогенность литосферы существенно повлияла на неоднородность поля напряжений на предрифтовой стадии и при раскрытии рифта, на локализацию рифта, на степень растяжения и прогибания, скорость накопления осадков, иерархическую сегментацию рифта, асимметрию структуры и, в конечном счете, на формирование неоднородной, преобразованной в процессе рифтообразования, консолидированной коры ДДВ.

Как считают P. Ziegler и S. Cloetingh [2004] “растяжение литосферы рифтовых бассейнов контролируется комбинацией сил на границах плит, сил трения, возникающих в основании литосферы благодаря напряжению над ветвями авеллинга конвектирующей системы астеносферы. Хотя мантийный плюм может не быть первичной движущей силой рифтинга, он играет важную вторичную роль, ослабляя литосферу и контролируя вулканическую активность рифта”. В упомянутой работе рассмотрена возможность перехода “пассивного” рифтинга к “активному”, хотя, по мнению P. Ziegler и S. Cloetingh, различие между “пассивным” и “активным” рифтингом достаточно условно.

Концепция *активного рифтогенеза* исходит из представления о первичности восходящего потока астеносферного вещества, который поднимает и раздвигает литосферу, что и приводит к рифтогенезу. Концепция *пассивного рифтогенеза* как первопричину рассматривает побочный эффект внешних сил на литосферные плиты, способный передать напряжение на большие расстояния. Если горизонтальные растягивающие силы достаточно велики, то рифтогенез состоится в благоприятно ориентированной ослабленной зоне. Снижение давления в результате растяжения может вызвать декомпрессию, частичное плавление и уменьшение вязкости астеносферного вещества, под линейной зоной формируется глубинный механизм, который поддерживает дальнейшее развитие рифта и питает его маг-

матизм. По сути, пассивный рифтогенез таким образом переходит к активному.

Таким образом, “в пассивной версии предполагается активное растяжение литосферы внешними силами при пассивной реакции подлитосферной мантии. В активной версии, наоборот, активно в форме мантийного диапира ведет себя мантия, вызывая пассивное растяжение литосферы” [Гончаров, 2007].

Положение и простираение предрифтовой шовной зоны (“щели”, по [Чекунов, 1994]), по которой происходил раскол и раздвиг коры Сарматии, можно восстановить путем “закрытия” впадины, соединяя ее краевые разломы, как это сделано в цитируемой работе. Зарождение системы разломов такой шовной зоны можно отнести по крайней мере к позднему протерозою [Кутас, Цвященко, 1993; Геология..., 1989; и др.]. На рис. 12 приведен результат соединения южного краевого разлома ДДВ с северным. Максимальное совмещение краевых разломов невозможно осуществить без последовательного разворота друг относительно друга их фрагментов в пределах сегментов против часовой стрелки примерно на 5° . Такие развороты согласуются с наличием вращательных движений с центром в Брагинско-Лоевском выступе при раскрытии рифта, обоснованных в работе А. В. Чекунова [1994, 1994а], а также с поведением оси рифта, которая последовательно смещается на юго-запад от сегмента к сегменту и изменяет простираение с северо-запада на юго-восток от 125° (Черниговский), 120° (Лохвицкий), 110° (Изюмский). Учитывая приведенную кинематическую характеристику разломов этой части Сарматии на позднепротерозойском этапе активизации, можно сделать вывод (см. рис. 12, врезка), что и сама шовная зона на предрифтовом этапе, была правым сдвигом и служила той ослабленной зоной, на которой зародился рифт. Этому не противоречит вывод P. Ziegler и S. Cloetingh [2004], А. В. Чекунова и И. К. Пашкевич [1989] о сдвигово-вращательном движении против часовой стрелки древних блоков УЩ (гранулитовых ядер, частично активизированных) во время заложения рифта, зафиксированных глубинными магнитными источниками (см. рис. 12). Ю. Г. Леонов [2001] одним из признаков пассивного механизма на начальной стадии континентального рифтогенеза также считает наличие сдвиговой компоненты деформации вдоль оси зарождающегося рифта. Если следовать модельным представлениям о формировании рифта [Starostenko et al., 1999; Старостенко и др., 2001; Stephenson, Stovba, 2012 и др.] и принять во внимание полученные данные о неоднородности литосферы, можно предположить, что рифтогенез происходил по сценарию перехода “пассивного” рифта в “активный”, специфического для каждого сегмента. В работе [Кутас, Цвященко, 1993] в качестве механизма формирования ДДВ также

обсуждается пассивный рифтогенез, а подъем мантийного диапира рассматривается как вторичное явление. Мантийно-плюмовое происхождение рифта ДДВ описано во многих работах [Chekunov et al., 1992; Чекунов, 1994; Стомба и др., 2006 и др.] и подтверждено геохимической характеристикой рифтовых магматических образований [Wilson, Lyashkevich, 1996].

Принципиальная схема развития рифта ДДВ в целом неоднократно обсуждалась в ряде работ, а с учетом изложенных результатов может быть сформулирована следующим образом:

- Днепровско-Донецкий палеорифт зародился на жесткой неоднородной, достаточно мощной и холодной литосфере;
- на начальной стадии рифтообразования растяжение коры со сдвигом (транстения) происходило по ослабленной дорифтовой шовной зоне правого сдвига под влиянием внешних сил с предварительным нагревом (*пассивный рифтинг*);
- как следствие растяжения верхней части коры – декомпрессия подкоровой литосферы, ослабление и растяжение ее (переход к *активному рифтингу*);
- пульсирующий подъем астеносферы, формирование диапира, растяжение нижней мантийной части литосферы, прогрев ее, вулканическая деятельность, эрозия коры снизу, переработка и дальнейшая деформация земной коры;
- синеклизная стадия, обусловленная остыванием диапира.

С одной стороны, реакция земной коры на поле напряжений в каждом сегменте консолидированной коры на каждом этапе эволюции рифта определялась его особенностями строения, составом и, в конечном итоге, прочностной характеристикой. С другой стороны, возможна переориентация режима напряжений во времени, известная в крупных рифтовых системах, упоминая выше.

Следами преобразования литосферы является структурная и вещественная неоднородность ее в

современном виде. Признаком интенсивности растяжения на начальной стадии пассивного рифтогенеза может быть отсутствие или утонение в осевом рифте верхнего “гранитного” слоя дорифтовой коры, сохранившегося лишь на северо-западе Черниговского сегмента и фрагментарно в Изюмском. Утонение или выклинивание “диоритового” слоя также можно рассматривать как следствие растяжения коры на начальном этапе. Наличие глубинных магнитных неоднородностей связывается нами с зонами растяжения и проявлением магматизма основного состава в рифтовых структурах [Орлюк и др., 1994; Тектоника ..., 2015].

Преобразование коры при активном рифтогенезе в виде подъема границы астеносфера-литосфера (или расплава астеносферы в виде диапира) и плавления на границе кора-мантия (эрозия коры снизу) находит проявление в изменении рельефа раздела Мохо, уменьшении мощности консолидированной коры и появлению в разрезе коромантийной смеси. Этим же процессом можно объяснить увеличение мощности “диоритового” слоя в осевом рифте при отсутствии “гранитного” слоя в восточной части Черниговского и в Лохвицком сегментах за счет увеличения плотности “гранитного” слоя в результате базификации коры и проработки его до параметров “диоритового”.

Область распространения коромантийной смеси свидетельствует о неравномерном и асимметричном преобразовании материала коры относительно осевого рифта (см. рис. 10, рис. 14). Неравномерное “растекание” коромантийной смеси может быть обусловлено пульсирующим проявлением главных импульсов рифтинга – ранним франским, поздним франским, ранним фаменским и поздним фаменским, с которыми связаны активизация продольных и поперечных систем разломов, мантийная декомпрессия и подъем магмы к поверхности [Chekunov et al., 1992; Wilson, Lyashkevich, 1996 и др.].

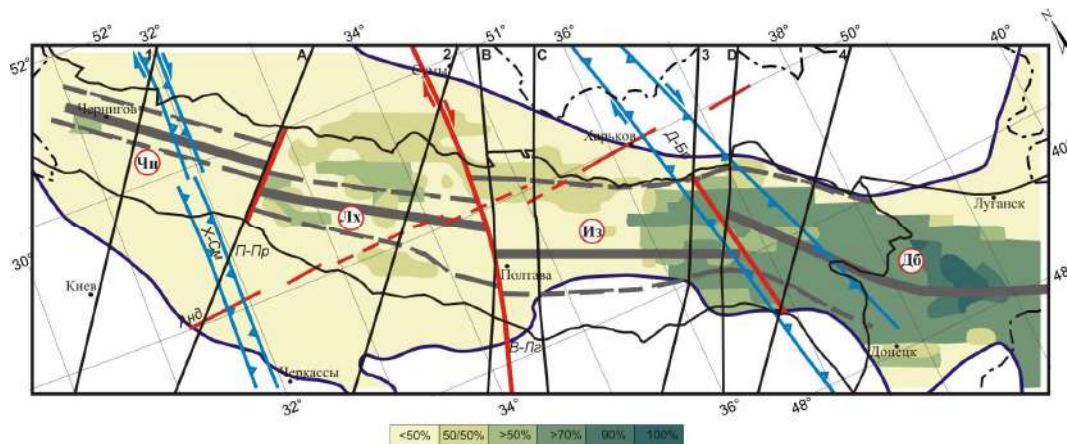


Рис. 14. Вклад коромантийной смеси в мощность “базальтового” слоя (в процентах)
(Другие условные обозначения см. на рис. 1)

Fig. 14. Contribution of the crust-mantle mixture to the thickness of “basalt” layer (percentage)
(Other of symbols see on the Fig. 1)

На рис. 14 приведена схема, отражающая процентное содержание коромантийной смеси в “базальтовом” слое, как показателя активизации и степени проработки его мантийным материалом. Общий “фон” (<50 %), характерный для Черниговского сегмента, выходит на северо-восток и юго-запад далеко за пределы ДДВ почти симметрично по отношению к ней до меридиана Полтавы, что может свидетельствовать о “сфере влияния” активного рифтинга, на наличие которой указывается в работе [Стовба, 2008]. Далее на юго-восток в Изюмском сегменте область КМ ограничена юго-западным краевым разломом осевого рифта, выходит за пределы ДДВ на северо-востоке и таким образом имеет асимметричный вид, одновременно подчеркивая связь с продольными разломами и распределением типов коры (см. рис. 13, 14). Асимметричное относительно оси рифта распространение КМ отмечается и в пределах Лохвицкого сегмента. Увеличение вклада коромантийной смеси в Лохвицком и Изюмском сегментах в пределах рифта и на его бортах подчинено простиранию продольных разломов и самого осевого рифта. В Лохвицком сегменте оно коррелирует с закономерным смещением форм рельефа главных разломов литосферы (см. рис. 4) предполагаемыми пологими разломами юго-западного падения в нижней коре и подкоровой части литосферы, возможно определившими асимметричное поступление мантийного материала. Аналогичные разломы в нижней коре можно предположить и в Изюмском сегменте (см. рис. 5, 6). В районе шва Донецк-Брянск линейные аномалии высоких содержаний КМ, как и продольные разломы, прослеживаются в область, переходную к Донбассу. При сравнении схемы типов консолидированной коры (см. рис. 13) со схемой разломной тектоники [Старостенко и др., 2017, рис. 3, б)] и схемой процентного вклада КМ в мощность базальтового слоя (см. рис. 14) обнаруживается принадлежность линейных зон повышенного содержания КМ к границам разных типов коры. Из приведенных данных следует, что каждый сегмент характеризуется своими особенностями преобразования нижней коры, а самая интенсивная ее проработка мантийным материалом связывается с продольными глубинными разломами. Здесь уместно отметить, что следствием переработки коры можно объяснить уплотнение “диоритового” и “базальтового” слоев в пределах осевого рифта и его бортовых частей (см. рис. 3–6, 8, 9) в Лохвицком и Изюмском сегментах.

Научная новизна

Впервые рассмотрены неоднородности литосферы как показатели разных этапов формирования рифта – начального пассивного и последующего активного. Показана роль сдвиговых деформаций и вращательных движений при заложении и развитии рифта.

Практическая значимость

Установленные связи неоднородности разных этажей литосферы могут использоваться для оценки нефтегазоносной перспективности региона.

Выводы

– Особенности строения и вещественного состава консолидированной коры ДДВ сформированы как “суммарный эффект” пассивного и активного этапов рифтогенеза. Последний, скорее всего, является следствием пульсирующей деятельности линейно вытянутых в форме гребней многофазных мантийных диапиров (астенолитов) [Гавриш, 1996; Геология..., 1989 и др.]. Именно им в конечном итоге должны соответствовать неоднородности современной подкоровой мантии и выделенные по комплексу геофизических параметров сегменты консолидированной коры ДДВ.

– Девонский рифт ДДВ заложен на шовной зоне северо-западного простирания, разделявшей домены докембрийского фундамента разного состава и строения по обе стороны от будущего рифта и ослабленной за счет правого сдвига вдоль нее.

– Раскрытие рифта на пассивном этапе вдоль этой древней шовной зоны происходило с юго-востока на северо-запад с участием правосдвиговых и вращательных движений блоков литосферы.

– Вращательные движения отдельных сегментов против часовой стрелки зафиксированы в изменении простирания оси осевого рифта от сегмента к сегменту.

– Откликом на неоднородность докембрийской коры, правые сдвиги вдоль межсегментных и широтных разломов в сочетании с вращательными движениями явилось неоднородное поле напряжений и формирование межсегментных разломов, несогласных с субмеридиональными межмегаблоковыми разломами фундамента УЩ и ВМ.

– Уменьшение мощности, или исчезновение “гранитного” и частично “диоритового” слоя рассматривается как следствие пассивного этапа рифтогенеза.

– Главными факторами активного этапа стали процессы активизации астеносферы – образование астеносферных выступов, магматизм, переработка коры и ее эрозия снизу. При этом на активном этапе неоднородность мантийных процессов отразилась в скоростной и плотностной неоднородности литосферы и рельефе ее подошвы.

– Области, охваченные рифтовым процессом, характеризуются уплотнением консолидированной коры прибортовых частей рифта и распространением коромантийной смеси на сопредельные склоны УЩ и ВМ.

– Консолидированная кора ДДВ, представленная типами коры: лейкобазальтовым, базальтовым и магнезиальными базальтов, имеет

существенно большую основность по сравнению с окружающими структурами, которая увеличивается от сегмента к сегменту с северо-запада на юго-восток, и сопровождается уменьшением толщины литосферы в этом направлении.

– Блоки консолидированной коры ДДВ различного состава ограничены межсегментными и продольными разломами, с которыми связаны линейные зоны максимального вклада коромантийной смеси в “базальтовый” слой, что является признаком их активизации.

– Асимметричное строение нижней коры и мантийной части литосферы и различные соотношения линз уплотнения мантийного вещества с рельефом ее подошвы свидетельствуют о вероятности присутствия наклонных (с углом падения около 20°) срывов внутри литосферы, как составной части механизма растяжения коры и поступления мантийного материала при рифтообразовании.

– Изучение связи сегментов консолидированной коры ДДВ со структурными неоднородностями различных этажей литосферы свидетельствует об обусловленности формирования осадочного слоя и его разрывной тектоники структурой консолидированной коры, а новообразованных особенностей последней, в частности степени асимметрии, неоднородностью литосферы.

Список литературы

- Гавриш В. К. Геодинамика и прогнозирование комбинированных нефтегазоносных ловушек / В. К. Гавриш // *Нафта і газ України* – 96 : матер. наук.-практ. конф. Харків, 14–16 травня 1996 р.). – Харків : Українська нафтогазова академія (УНГА). – 1996. – Т. 1. – С. 24–26.
- Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Глубинное строение и геотектоническое развитие / Под ред. В. К. Гавриша. – К. : Наук. думка, 1989. – 208 с.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины / О. Б. Гинтов. – К. : Феникс, 2005. – 572 с.
- Гончаров М. А. Конвективный механизм перехода от пассивного к активному рифтогенезу. Фундаментальные проблемы геотектоники / М. А. Гончаров // *Матер. XI тектонического совещания*. – М. : Геос. – 2007. – Т. 1. – С. 195–198.
- Грачев А. Ф. Мантийные плюмы и проблемы геодинамики / А. Ф. Грачев // *Физика Земли* – 2000. – № 4. – С. 3–37.
- Карта структурного районирования докембрия юго-западной части Восточно-Европейской платформы. М: 1:1 000 000 / ред. Л. С. Галецкий // *Комплект карт “Геология и металлогения юго-западной части Восточно-Европейской платформы”* М: 1:1 000 000 / Гл. ред. А. И. Зарицкий. – К. : Госкомгеология, Геопрогноз, Центргеология, ПО “Беларусь”, Всероссийский геологический Институт, Воронежский госуниверситет, 1992.
- Куприенко П. Я., Макаренко И. Б., Старостенко В. И., Легостаева О. В., Савченко А. С. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса // *Геофиз. журн.* – 2010. – Т. 32. – № 6. – С. 175–214.
- Куприенко П. Я. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Украинского щита / П. Я. Куприенко, И. Б. Макаренко, В. И. Старостенко, О. В. Легостаева // *Геофиз. журн.* – 2007. – Т. 29. – № 5. – С. 3–27.
- Кутас Р. И. Геотермическая и магнитная модели земной коры Донбасса (тектонический анализ совместно с данными ГСЗ) / Р. И. Кутас, И. К. Пашкевич // *Геофиз. журн.* – 2000. – Т. 22. – № 4. – С. 111–121.
- Кутас Р. И., Цвященко В. А. Тепловые процессы в геологической истории Донбасса / Р. И. Кутас, В. А. Цвященко // *Геофиз. журн.* – 1993. – Т. 15, № 2. – С. 42–53.
- Леонов Ю. Г. Континентальный рифтогенез: современные представления, проблемы и решения. Фундаментальные проблемы общей тектоники / Ю. Г. Леонов. – М. : Научный мир, 2001. – С. 155–173.
- Орлюк М. І. Оцінка намагніченості консолидированої кори Дніпровсько-Донецького авлакогену / М. І. Орлюк, І. К. Пашкевич // *Доп. АН України*. – 1994. – № 5. – С. 125–128.
- Пашкевич И. К. Магнитная неоднородность, разломная тектоника консолидированной земной коры и нефтегазоносности Днепровско-Донецкого авлакогена / И. К. Пашкевич, М. И. Орлюк, Т. В. Лебедь // *Геофиз. журн.* – 2014. – Т. 36. – № 1. – С. 64–80.
- Пистрак Р. М. Структурное положение очагов вулканизма в Припятско-Донецком авлакогене / Р. М. Пистрак, Н. Т. Пашова // *Геотектоника*. – 1974. – № 4. – С. 33–38.
- Старостенко В. И. Моделирование эволюции осадочных бассейнов с учетом структуры природной среды и процессов самоорганизации / В. И. Старостенко, В. А. Даниленко, Д. Б. Венгрович, Р. И. Кутас, Р. А. Стифенсон, С. Н. Стомба // *Физика Земли*. – 2001. – № 12. – С. 40–50.
- Старостенко В. И. Неоднородность литосферы Днепровско-Донецкой впадины и ее геодинамические следствия Часть 1 / В. И. Старостенко, И. К. Пашкевич, И. Б. Макаренко, П. Я. Куприенко, А. С. Савченко // *Геодинамика*. – 2017. – № 1(22). – С. 125–138.
- Стомба С. Н. Геодинамическая эволюция Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса : дис. ... д-ра геол. наук / С. Н. Стомба. – Киев : Научно-исследовательский Институт нефтяной и газовой промышленности (ДП “Науканафтогаз”), НАК “Нафтогаз України”, 2008. – 495 с.

- Стовба С. Н. Изучение динамики и геологических процессов Днепровско-Донецкого палеорифта / С. Н. Стовба, В. И. Старостенко, З. Н. Ляшкевич, А. Сэнтот // В кн.: Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Москва: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2006. – С. 307–314.
- Схема глубинного строения литосферы юго-западной части Восточно-Европейской платформы. М: 1:1 000 000 / Ред. А. В. Чекунов, // Комплект карт “Геология и металлогения юго-западной части Восточно-Европейской платформы” М: 1:1 000 000 / гл. ред. А. И. Зарицкий. – Киев: Госкомгеология, Геопрогноз, Центргеология, ПО “Беларусь”, Всероссийский геологический Институт, Воронежский госуниверситет, 1992. – 6 л.
- Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины / ред. В. И. Старостенко, О. М. Русаков. – Киев: Галактика, 2015. – 212 с.
- Тектонічна карта України. М-б 1:1 000 000 / Гол. ред. С. С. Круглов, Д. С. Гурський. – К. : Міністерство охорони природного середовища України. Державна геологічна служба, 2007.
- Тектоносфера Украины / под ред. А. В. Чекунова. – К. : Наук. думка, 1989. – 182 с.
- Цветкова Т. А. Сейсмоотография мантии под Восточно-Европейской платформой / Т. А. Цветкова, И. В. Бугаенко // Геофиз. журн. – 2012. – Т. 34. – № 5. – С. 161–172.
- Чекунов А. В. К геодинамике Днепровско-Донецкой рифт-синеклизы / А. В. Чекунов // Геофиз. журн. – 1994. – Т. 16. – № 3. – С. 3–13.
- Чекунов А. В. Поступательно-вращательные движения блоков земной коры в Днепровско-Донецком, Красноморском и Аденском рифтах // ДАН Украины. – 1994а. – № 7. – С. 112–116.
- Чекунов А. В. Глубинное строение, модель развития и нефтегазоносность Днепровско-Донецкого палеорифта / А. В. Чекунов, Л. Т. Калюжная, И. К. Пашкевич, Л. И. Рябчун // Геотектоника. – 1991. – № 1. – С. 37–47.
- Чекунов А. В. Тектоническая природа магнитных неоднородностей в литосфере Украины / А. В. Чекунов, И. К. Пашкевич // Докл. АН УССР, сер. Б. – 1989. – № 5. – С. 22–26.
- Bogdanova S. V. Long-lived E-W fault zones in the lithosphere of Western Sarmatia / S. V. Bogdanova, V. I. Starostenko, O. B. Gintov, I. K. Pashkevich, P. Ya. Kuprienko, R. I. Kutas, I. V. Makarenko, T. A. Tsvetkova // Geophysical Research. Abstr., 13–18 Apr. –2008. Vienna, Austria, 2008 – p. 10. – CD-ROM.
- Chekunov A. V. Dnieper-Donets palaeorift / A. V. Chekunov, V. K. Gavrish, R. I. Kutas and L. I. Ryabchun // Tectonophysics. – 1992. – Vol. 208. – pp. 257–272.
- Katumwehe A. B. The role of pre-existing Precambrian structures in the rift evolution: The Albertine and Rhino grabens, Uganda / A. B. Katumwehe, M. G. Abdelsalam, E. A. Atekwana // Tectonophysics. – 2015. – Vol. 646. – pp. 117–129.
- Lao-Davila D. A., Al-Salmi H. S., Abdesalam M. G., Atekwana E. A. Hierarchical segmentation of the Malawi Rift: The influence of inherited lithospheric heterogeneity and kinematics in the evolution of continental rifts // AGU Publications. 10.1002/2015TC003953. – pp. 2399–2417.
- Starostenko V. I. A new geodynamical-thermal model of rift evolution, with application to the Dnieper-Donets Basin, Ukraine / V. I. Starostenko, V. A. Danilenko, D. B. Vengrovich, R. I. Kutas, S. M. Stovba, R. A. Stephenson et al. // Tectonophysics. – 1999. – Vol. 313. – pp. 29–40.
- Stephenson R. A. and the EUROPROBE Intraplate Tectonics and Basin Dynamics. Dnieper-Donets and Polish Through working groups. Continental rift development in Precambrian and Phanerozoic Europe: EUROPROBE and the Dnieper-Donets Rift and Polish Trough basins // Sedimentary Geology. –1993. – Vol. 86. – pp. 159–175.
- Stephenson R., Stovba S. The Dniepr-Donets Basin // Regional Geology and Tectonics: Phanerozoic Rift System and Sedimentary Basins, D. G. Roberts and A. W. Bally (Eds), 2012 Geological Society. Special Publication. London. DOI:10.1016/B978-0-444-56356-9.00015-8. – pp. 421–436.
- Tommasi A., Vauchez A. Continental rifting parallel to ancient collisional belts: an effect to the mechanical anisotropy of the lithospheric mantle // Earth and Planetary Sci. Lett. – 2001. – Vol. 185. – pp. 199–210.
- Wilson M. Magmatism and the geodynamics of rifting of the Pripyat-Dniepr-Donets rift, East European Platform / M. Wilson, Z. M. Lyashkevich // Tectonophysics. – 1996. – 268. – pp. 65–81.
- Ziegler P. A., Cloetingh S. Dynamic processes controlling development of rifted basins / P. A. Ziegler, S. Cloetingh // Earth-Science Review. – 2004. – 64, pp. 1–50. DOI: 10.1016/S0012-8252(03)00041-2.

В. СТАРОСТЕНКО, І. ПАШКЕВИЧ, І. МАКАРЕНКО, П. КУПРІЄНКО, О. САВЧЕНКО

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, пр. Палладіна, 32, Київ, Україна, 03680, тел.: +38(044)4242100, ел. пошта: irinam@igph.kiev.ua

НЕОДНОРІДНІСТЬ ЛІТОСФЕРИ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ
ТА ЇЇ ГЕОДИНАМІЧНІ НАСЛІДКИ. II ЧАСТИНА. ГЕОДИНАМІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Мета. Геодинамічна інтерпретація комплексу отриманих раніше результатів 3D густинного і магнітного моделювання, а також даних про розломну тектоніку консолідованої кори Дніпровської частини Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) в світлі механізму її формування. **Методика.** Детальний аналіз структурних співвідношень будови осадової товщі, блокової будови консолідованої кори і кінематики її розломів в пізньому протерозої Українського щита (УЩ), Воронезького масиву (ВМ) і їх схилів із залученням даних сейсмотомографії про більш глибокі горизонти літосфери. **Результати.** Особливості будови і речовинного складу консолідованої кори ДДЗ сформовані як “сумарний ефект” пасивного і активного етапів рифтогенеза. Останній, швидше за все, є наслідком лінійно витягнутих багатофазних мантійних діапирів (астенолітів). Їм відповідає неоднорідність сучасної підкорової мантії і сегментація консолідованої кори. Девонський рифт ДДЗ закладений на шовній зоні північно-західного простягання, що розділяє домени докембрійського фундаменту різного складу і будови. Розкриття рифту на пасивному етапі відбувалося вздовж давньої шовної зони з південного сходу на північний захід за участю правозсувних і обертальних рухів блоків літосфери. Неоднорідність докембрійської кори, праві зрушення уздовж міжсегментних і широтних розломів в поєднанні з обертовими рухами призвели до нерівномірних полів напружень і формуванню нових міжсегментних розломів. Зменшення потужності або зникнення “гранітного” і частково “діоритового” шару стало наслідком пасивного етапу рифтоутворення. Головними факторами активного етапу були процеси активізації астеносфери, переробки кори, її ерозія знизу, формування швидкісної і густинної неоднорідності літосфери і рельєфу її підшови. Консолідована кора ДДЗ, має істотно більшу основність в порівнянні з оточуючими структурами. Її потужність збільшується від сегмента до сегмента з північного заходу на південний схід, і супроводжується зменшенням товщини літосфери. Зони максимального внеску коромантії суміші в базальтовий шар є ознакою їх активізації. Асиметрична будова нижньої кори і мантії частини літосфери свідчать про присутність похилих зривів всередині літосфери, як складової частини механізму розтягування кори і надходження мантійного матеріалу при рифтоутворенні. Формування осадового шару і його розривної тектоніки обумовлено структурою консолідованої кори. **Наукова новизна.** Вперше розглянуто неоднорідності літосфери як показники різних етапів формування рифта - початкового пасивного і подальшого активного. Показана роль зсувів і обертальних рухів під час закладання і розвитку рифта. **Практична значущість.** Встановлені зв'язки неоднорідності різних поверхів літосфери можуть використовуватися для оцінки нафтогазоносносності перспективності регіону.

Ключові слова: Дніпровсько-Донецька западина, літосфера, рифт, геодинаміка

V. STAROSTENKO, I. PASHKEVICH, I. MAKARENKO, P. KUPRIENKO, O. SAVCHENKO

Institute of geophysics by S. I. Subbotin name NAS of Ukraine, 32, Palladin av., Kiev, Ukraine, 03680, tel.: +38(044)4242100, e-mail: irinam@igph.kiev.ua

LITHOSPHERE HETEROGENEITY OF THE DNIEPER-DONETS BASIN AND ITS GEODYNAMICAL
CONSEQUENCES. II PART. GEODYNAMICS INTERPRETATION

Aim. Geodynamic interpretation of previously obtained 3D density and magnetic modeling results, and data on consolidated crust fault tectonics of the Dnieper part of Dnieper-Donets basin (DDB) in the light of its formation mechanism. **Methodology.** A detailed analysis of the structural relations of the sedimentary strata structure, crystalline crust block structure, and its fault kinematics in the Ukrainian shield (USH), Voronezh massif (VM) and their slopes during the late Proterozoic taking into account the seismotomography data for the deeper lithosphere horizons. **Results.** Features of the structure and the material composition of the consolidated crust DDB were formed as a “summary effect” of passive and active stages of rifting. Last and most likely, is the result of multi-phase linear elongated mantle diapirs (asthenolith). They correspond to the heterogeneity of modern subcrustal mantle and crust segmentation. Devonian DDB rift formed on the north-western suture zone separating the Precambrian basement domains of different composition and structure. The rift opening in the passive stage occurred along an ancient suture zone from the south-east to north-west with participation of dextral and rotational movements of the lithosphere blocks. The heterogeneity of the Precambrian crust and the right shears along inter-segment and latitudinal faults, in combination with rotational movements, caused the non-uniform stress fields and the formation of new inter-segment faults. Disappearance of the “granite” layer and partly decreasing thickness of “diorite” were the result of passive rift formation stage. The main factors of

this active stage include the activation processes of the asthenosphere, crust reprocessing, bottom erosion, formation of velocity and density heterogeneities of the lithosphere, and its bottom relief. Crystalline crust of the DDB has a substantially greater basicity **compared to** surrounding structures. Its thickness increases from segment to segment from the North-West to the South-East, and is accompanied by a decreasing of the lithosphere thickness. The maximum contribution crust-mantle mixture to the basalt layer thickness is a sign of their activation. The asymmetric structure of the lower crust and mantle lithosphere indicate the presence of the inclined disruptions within the lithosphere, as part of the extension mechanism of the crust and mantle material penetration during the rifting. Formation of the sedimentary layer and its fault tectonics are caused by the structure of the crystalline crust. **Originality.** For the first time the heterogeneity of the lithosphere are considered as indicators of different stages of the rift formation (the initial passive and subsequent active). The role of shear deformations and rotational movements in the forming and development of the rift are shown. **Practical significance.** Established heterogeneity relations of the different layers of the lithosphere can be used to assess oil and gas prospects in the region.

Key words: Dnieper-Donets basin, the lithosphere, the rift, geodynamics.

REFERENCES

- Gavrish V. K. *Geodinamika i prognozirovaniye kombinirovannykh neftegazonosnykh lovushek* [Geodynamics and forecasting of combined oil and gas traps], *Materialy naukovykh-praktychnoy konferentsiyi "Nafta i gaz Ukrainy – 96", 14–16 travnya 1996 roku, Xarkiv* [Proceedings of the Conference "Oil and Gas of Ukraine – 96", May 14–16, 1996, Kharkiv], *krayinska naftogazova akademiya (UNGA)* [Ukrainian Oil and Gas Academy (UOGA)], 1996, Vol. 1, pp. 24–26 (in Russian).
- Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskoj vpadiny. Glubinnoe stroenie i geotektonicheskoe razvitie* [Geology and petroleum potential of the Dnieper-Donets Basin. Deep structure and geotectonic development]. Ed. V. K. Gavrish, Kiev, *Izd-vo Naukova Dumka* ["Scientific thought" Publ.], 1989, 208 p. (in Russian).
- Gintov O. B. *Polevaya tektonofizika i eye primeneniye pri izuchenii deformatsiy zemnoy kory Ukrainy* [Field tectonophysics and its application in the study of the crust deformation of the Ukraine.], Kyiv, *Izd-vo "Feniks"* ["Feniks" Publ.], 2005, 572 p. (in Russian).
- Goncharov M. A. *Konvektivnyy mekhanizm perekhoda ot passivnogo k aktivnomu riftogenezu* [Convective mechanism for the transition from passive to active rifting], *Materialy XI tektonicheskogo soveshchaniya "Fundamentalnyye problemy geotektoniki" T. 1.* [Proceedings of the XI tectonic meeting, Moscow, 2006], Moskva, *Geos* [Geos Publ.], 2007, pp. 195–198 (in Russian).
- Grachev A. F. *Mantiynnye plyumy i problemy geodinamiki* [Mantle plumes and problems of geodynamics], *Fizika Zemli* [Izvestiya, Physics of the Solid Earth], 2000, no 4, pp. 3–7 (in Russian).
- Karta strukturnogo rajonirovaniya dokembrija jugo-zapadnoj chasti Vostochno-Evropejskoj platformy* [Map of Precambrian structural zoning of south-western part of the East European platform.] Scale 1:1 000 000 / Ed. L. S. Galeckij. *Komplekt kart "Geologiya i metallogenija jugo-zapadnoj chasti Vostochno-Evropejskoj platformy"* [Complete set of the maps "Geology and Metallogeny of the south-western part of the East European Platform"] Scale 1:1 000 000, Ed. A. I. Zarickij, Kiev, *Goskomgeologija, Geoprognoz, Centrgeologija, PO "Belarus"*, *Vserossijskij geologicheskij Institut, Voronegskiy gosuniversitet* [Goskomgeologia, Geoprognoz, Centergeology, PA "Belarus", All-Russian Geological Institute, Voroneg State University], 1992, 6 sheets (in Russian).
- Kuprienko P. Ya., Makarenko I. B., Starostenko V. I., Legostaeva O. V., Savchenko A. S. *Trehmernaja plotnostnaja model' zemnoj kory i verhnej mantii Dneprovsko-Donetskoj vpadiny i Donbassa* [Three-dimensional density model of the crust and upper mantle of the Dnieper-Donets Basin and Donbas], *Geofiz. zhurn.* [Geophysical journal], 2010, Vol. 32, No 6, pp. 175–214 (in Russian).
- Kupriyenko P. Ya., Makarenko I. B., Starostenko V. I., Legostaeva O. V. *Trehmernaja plotnostnaja model' zemnoj kory i verhnej mantii Ukrainy* [Three-dimensional density model of the crust and upper mantle of the Ukrainian Shield], *Geofiz. Zhurn* [Geophysical journal], 2007, Vol. 29, No 5, pp. 3–27 (in Russian).
- Kutas R. I., Pashkevich I. K. *Geotermicheskaja i magnitnaja modeli zemnoj kory Donbassa (tektonicheskij analiz sovместno s dannymi GSZ)* [Geothermal and magnetic models of the earth's crust of Donbas (tectonic analysis jointly with DSS data)], *Geofiz. zhurn.* [Geophysical journal], 2000, Vol. 22, No 4, pp. 111–121 (in Russian).
- Kutas R. I., Tsvyashchenko V. A. *Teplovyie protsessy v geologicheskoy istorii Donbassa* [Thermal processes in the geological history of the Donbas], *Geofiz. zhurn.* [Geophysical journal], 1993, Vol. 15, No 2, pp. 42–53 (in Russian).
- Leonov Yu. G. *Kontinentalnyy riftogenez: sovremennyye predstavleniya. problemy i resheniya* [A continental rifting: modern ideas, problems and solutions], *Fundamentalnyye problemy obshchey tektoniki* [Fundamental

- problems of general tectonics], Moscow, *Nauchnyy mir* ["The scientific world" Publ.], Moscow, 2001, pp. 155–173 (in Russian).
- Orlyuk M. I., Pashkevych I. K. *Ocinka namagnichenosti konsolidovanoi kory Dniprovsko-Donetskogo avlakogenu* [Evaluation of crystalline crust magnetization of the Dnieper-Donets avlakogene], *Dop. AN Ukrainy* [Reports of Sciences of Ukraine], 1994, No 5, pp. 125–128 (in Ukrainian).
- Pashkevich I. K., Orlyuk M. I., Lebed' T. V. *Magnitnaja neodnorodnost', razlomnaja tektonika konsolidirovannoj zemnoj kory i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskogo avlakogena* [Magnetic heterogeneity, fault tectonics of the crystalline crust and petroleum potential of the Dnieper-Donets aulacogene] *Geofiz. zhurn.* [Geophysical journal], 2014, Vol. 36, No 1, pp. 64–80 (in Russian).
- Pistrak R. M., Pashova N. T. *Strukturnoye polozheniye ochagov vulkanizma v Prip'yatsko-Donetskom avlakogene* [The structural position of the centers of volcanic activity in the Pripyat-Donets aulacogene], *Geotektonika* [Geotectonics], 1974, No4, pp. 33–38.
- Starostenko V. I., Danilenko V. A., Vengrovich D. B., Kutas R. I., Stifenson R. A., Stovba S. N. *Modelirovaniye evolyutsii osadochnykh basseynov s uchetom struktury prirodnoy sredy i protsessov samoorganizatsii* [Modeling of the sedimentary basins evolution with tacing into account the natural environment structure and processes of self-organization], *Fizika Zemli* [Izvestiya, Physics of the Solid Earth], 2001, No 12, pp. 40–50.
- Starostenko V. I., Pashkevich I. K., Makarenko I. B., Kuprienko P. Ya., Savchenko A. S. *Neodnorodnost litosfery Dneprovsko-Donetskoy vpadiny i eye geodinamicheskiye sledstviya: chast 1* [Lithosphere heterogeneity of the Dnieper-Donets basin and its geodynamical consequences: part 1], *Geodynamics*, 2017, no. 1(22), pp. 125–138.
- Stovba C. N. *Geodinamicheskaya jevoljucija Dneprovsko-Donetskoy vpadiny i Donbassa* [Geodynamic evolution of the Dnieper-Donets Basin and Donbas], Dis. doktora geol. nauk [Geol. sciences thesis] Kiev, *Nauchno-issledovatel'skiy Institut nef'tjanoy i gazovoy promyshlennosti (DP "Naukanaftogaz")*, NAK "Naftogaz Ukrainy", [Research Institute of Oil and Gas Industry (SA "Naukanaftogaz"), NAK "Naftogaz Ukraine"], 2008, 495 p. (in Russian).
- Stovba S. N., Starostenko V. I., Ljashkevich Z. N., Sjejtntot A. *Izuchenie dinamiki i geologicheskikh processov Dneprovsko-Donetskogo paleorifta* [The study of the dynamics and geological processes of the Dnieper-Donets paleorift], In book *Stroenie i dinamika litosfery Vostochnoy Evropy* [The structure and dynamics of the lithosphere of Eastern Europe], Moscow, *GEOKART, GEOS*, 2006, pp. 307–314 (in Russian).
- Shema glubinnogo strojenija litosfery jugo-zapadnoj chasti Vostochno-Evropejskoj platformy* [The scheme of the lithosphere deep structure of the south-western part of the East European platform] Scale 1:1 000 000, Ed. A. V. Chekunov, *Komplekt kart "Geologija i metallogenija jugo-zapadnoj chasti Vostochno-Evropejskoj platformy"* [Complete set of the maps "Geology and Metallogeny of the south-western part of the East European Platform"] Scale 1:1 000 000, Ed. A. I. Zarickij, Kiev, *Goskomgeologija, Geopronoz, Centr geologija, PO "Belarus"*, *Vserossijskiy geologicheskij Institut, Voronezskiy gosuniversitet* [Goskomgeologia, Geopronoz Centergeology, PO "Belarus", All-Russian Geological Institute, Voroneg State University], 1992, 6 sheets (in Russian).
- Tektonika i uglevodorodnyj potencial kristallicheskogo fundamenta Dneprovsko-Donetskoy vpadiny* [Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donets Basin], Eds. V. I. Starostenko, O. M. Rusakov, Kiev, *Galaktika*, 2015, 212 p. (in Russian).
- Tektonichna karta Ukraïni* [Tectonic map of the Ukraine] Scale 1:1 000 000 / Eds. S. S. Kruglov, D. S. Gurskiy, Kyiv: Ministerstvo okhorony pryrodnogo seredovyshcha Ukrainy. Derzhavna geologichna sluzhba [Ministry of Natural Resources of Ukraine. State Geological Service], 2007 (in Ukrainian).
- Tektonosfera Ukraïny* [Tectonosphere of the Ukraine], Pod red. A. V. Chekunova, Kiev, *Izd-vo Naukova Dumka* ["Scientific thought" Publ.], 1989, 182 p. (in Russian).
- Cvetkova T. A., Bugaenko I. V. *Sejsmotomografija mantii pod Vostochno-Evropejskoj platformyj* [Seismotomography of the mantle beneath the East-European platform], *Geofiz. zhurn.* [Geophysical journal], 2012, Vol. 34, No 5, pp. 161–172 (in Russian).
- Chekunov A. V. *K geodinamike Dneprovsko-Donetskoy rift-sineklizy* [To the geodynamics of the Dnieper-Donets rift-syncline], *Geofiz. zhurn* [Geophysical journal], 1994, Vol. 16, No 3, pp. 3–13 (in Russian).
- Chekunov A. V. *Postupatelno-vrashchatelnyye dvizheniya blokov zemnoj kory v Dneprovsko-Donetskom. Krasnomorskom i Adenskom riftakh* [Forward and rotational movements of crustal blocks in the Dnieper-Donets, Red Sea and Aden rifts] *DAN Ukrainy* [Reports of the Academy of Sciences of Ukraine], 1994a, No 7, pp. 112–116 (in Russian).
- Chekunov A. V., Kalyuzhnaya L. T., Pashkevich I. K., Ryabchun L. I. *Glubinnoye stroyeniye. model razvitiya i neftegazonosnost Dneprovsko-Donetskogo paleorifta* [Deep structure, development model, and oil and gas potential of the Dnieper-Donets paleorift], *Geotektonika* [Geotectonics], 1991, No 1, pp. 37–47.
- Chekunov A.V., Pashkevich I.K. *Tektonicheskaya priroda magnitnykh neodnorodnostey v litosfere Ukraïny* [Tectonic nature of magnetic heterogeneities in the lithosphere of Ukraine], *Dokl. AN USSR. ser. B*, [Reports of USSR, Series B], 1989, No 5, pp. 22–26.

- Bogdanova S. V., Starostenko V. I., Gintov O. B., Pashkevich I. K., Kuprienko P. Ya., Kutas R. I., Makarenko I. B., Tsvetkova T. A. Long-lived E-W fault zones in the lithosphere of the Western Sarmatia, *Geophysical Research. Abstr.*, 13-18 Apr., 2008, Vienna, Austria, 2008 -10, CD-ROM.
- Chekunov A. V., Gavrish V. K., Kutas R. I. and Ryabchun L. I. Dnieper-Donets palaeorift. *Tectonophysics*, 1992, Vol. 208, pp. 257–272.
- Lao-Davila D. A., Al-Salmi H. S., Abdesalam M. G., Atekwana E. A. Hierarchical segmentation of the Malawi Rift: The influence of inherited lithospheric heterogeneity and kinematics in the evolution of continental rifts, *AGU Publications*, 10.1002/2015TC003953, pp. 2399–2417.
- Katumwehe A.B., Abdelsalam M.G., Atekwana E.A. The role of pre-existing Precambrian structures in the rift evolution: The Albertine and Rhino grabens, Uganda, *Tectonophysics*, 2015, Vol. 646, pp. 117–129.
- Stephenson R. A. and the EUROPROBE Intraplate Tectonics and Basin Dynamics. Dnieper- Donets and Polish Through working groups. Continental rift development in Precambrian and Phanerozoic Europe: EUROPROBE and the Dnieper-Donets Rift and Polish Trough basins, *Sedimentary Geology*, 86, 1993, pp. 159–175.
- Starostenko V. I., Danilenko V. A., Vengrovich D. B., Kutas R. I., Stovba S. M., Stephenson R. A. et al. A new geodynamical-thermal model of rift evolution, with application to the Dnieper-Donets Basin, Ukraine, *Tectonophysics*, 1999, Vol. 313, pp. 29–40.
- Stephenson R., Stovba S. The Dniepr-Donets Basin, Regional Geology and Tectonics: Phanerozoic Rift System and Sedimentary Basins, D.G. Roberts and A.W. Bally (Eds), 2012, London, DOI:10.1016/B978-0-444-56356-9.00015-8, pp. 421–436.
- Tommasi A., Vauchez A. Continental rifting parallel to ancient collisional belts: an effect to the mechanical anisotropy of the lithospheric mantle, *Earth and Planetary Sci. Lett.*, 2001, Vol. 185, pp. 199–210.
- Wilson M., Lyashkevich Z. M. Magmatism and the geodynamics of rifting of the Pripyat-Dniepr-Donets rift, East European Platform, *Tectonophysics*, 1996, Vol. 268, pp. 65–81.
- Ziegler P.A., Cloetingh S. Dynamic processes controlling development of rifted basins, *Earth-Science Review*, 2004, 64, pp. 1–50. DOI:10.1016/S0012-8252(03)00041-2.

Надійшла 10.02.2017 р.