

Барташук А.В.Украинский научно-исследовательский институт природных газов (УкрНИИГаз), Харьков, Украина, alekseybart@gmail.com

КОЛЛИЗИОННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ. ЧАСТЬ 2. ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ДЕФОРМАЦИЙ

Тектоническая инверсия Днепровско-Донецкой впадины началась в позднегерцинскую эпоху под влиянием коллизионных движений компрессионного орогена на окраине Палеотетиса. Этими движениями вызваны субгоризонтальные тектонические срывы и образование надвиговой решетки в палеозойском платформном чехле Западно-Донецкого грабена, контролировавшей процессы коллизионного коробления горизонтов. Во взбросо-надвиговом режиме осадочные геомассы выдавливались от осевых зон максимального сжатия к бортовым зонам «геодинамической тени», что обусловило формирование в северной и осевой частях грабена крупной линейной взбросо-складчатости, а в южной - покровов надвигания.

В позднем мезозое и кайнозое, в режиме интерференции взбросо-надвигового и горизонтально-сдвигового полей происходили деформации герцинской надвиговой решетки и приразломной взбросо-складчатости с образованием кулисно сочлененных складчатых зон и эшелонированных покровов надвигания. Группирование осей сжатия в западной части Донбасса, испытывавшего орогеническое воздымание, вызвало надвигание осадочных геомасс на синеклизный автохтон юго-восточного сегмента впадины. В Западно-Донецком грабене альпийско-герцинский аллохтон слагает тело сегмента тектонического вклинивания геомасс. Вдоль магистральных сдвиго-надвигов, образующих тектонические рельсы его вторжения, сформировались геодинамические зоны выдавливания геомасс, сложенные кулисно сочлененными взбросо-складками. В форланде сегмента, на окончаниях магистральных сдвиго-надвигов, образовался передовой чешуйчатый веер сжатия, в хинтерланде, на корнях покровов надвигания - складчатые сутурные зоны.

С использованием инструментальных определений вергентности тектонитов, данных реконструкции полей напряжений и деформаций разработана оригинальная кинематическая модель тектонической инверсии рифтогенной структуры. Показано, что деформации платформного чехла Западно-Донецкого грабена осуществлялись по кинематическому механизму поперечного ороклина выдвигания геомасс поддвигового типа, сформированного под давлением тектонического штампа Донецкого складчатого пояса.

Ключевые слова: геодинамические режимы, кинематический механизм, сегмент вклинивания, веер сжатия, складчатые сутуры, ороclin выдвигания, тектонический штамп, Днепровско-Донецкая впадина.

Структурно-кинематическая эволюция земной коры Припятско-Днепровско-Донецкого прогиба (ПДДП), расположенного на южной окраине Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и образованного Припятским прогибом, Днепровско-Донецкой впадиной (ДДВ) и Донецким прогибом (Донбасс) осуществлялась в контрастных геодинамических обстановках: 1 - палеопротерозойской коллизии литосферных плит ВЕП - Фенноскандии и

Сарматии, что привело к объединению мегаблоков Украинского щита и Воронежского кристаллического массива; 2 - раннерифейского рифтогенеза с раздвигом континентальной литосферы и формированием линейного трогового прогиба в теле Сарматской плиты; 3 - эпиконтинентального рифтогенеза в позднем девоне-карбоне с образованием недоразвившегося рифта - авлакогена; 4 - позднегерцинской платформенной активизации на фоне синеклизного прогибания рифтогенного бассейна с формированием складчатости в Припятском прогибе и ДДВ и основных линейных складчатых зон в Донецком прогибе; 5 - киммерийско-альпийской инверсии тектонического режима с образованием Донецкого складчатого пояса (ДСП), усложнением и частичным разрушением рифтогенной структуры ДДВ коллизионными деформациями [Геологическая..., 1993; Тектонічна карта..., 2007].

Работами В. Попова, Д. Айзенверга, В. Хаина, Л. Зоненшайна, С. Субботина, В. Соллогуба, В. Чекунова, В. Казьмина, Н. Тихоновой, В. Корчемагина, М. Коппа, В. Емца, В. Дудника, Ю. Рябоштана, С. Стовбы, Р. Стифенсона, В. Анциферова, О. Гинтова, В. Гончара и др., детально исследовавшими литолого-фациальные условия осадконакопления и тектонику южной окраины ВЕП, сформировано общее представление о геодинамических обстановках геологической эволюции ДДВ и Донбасса [Попов, 1963; Субботин, Соллогуб, Чекунов, 1976; Хаин, 1976; Корчемагин, Емец, 1987; Корчемагин, Рябоштан, 1987; Геология и нефтегазоносность..., 1988; Зоненшайн, Кузьмин, Натапов, 1990; Копп, 1991; Стовба, Стифенсон, 2000; Анциферов и др., 2004; Дудник, Корчемагин, 2004; Гинтов, 2005; Казьмин, Тихонова, 2005; Копп, Корчемагин, 2010].

Территория юго-восточного сегмента ДДВ в пределах Западно-Донецкого грабена (ЗДГ) характеризуется сложным геологическим строением из-за неоднократного наложения надвиговых и сдвиговых покровно-складчатых деформаций различных геологических эпох, развитых зонально [Геологічна карта..., 2007] (рис. 1). В структурно-тектоническом отношении платформенный чехол имеет многоэтажное строение: в стратиграфическом разрезе установлены четыре угловых несогласия, которые разделяют пять структурных этажей, выделенных в разрезе палеозоя, мезозоя и кайнозоя вследствие чередования эпох осадконакопления и деформаций, иногда сопровождавшихся магматизмом [Тектонічна карта..., 2007]. Из-за неполного охвата территории деформациями различных эпох возникли не только вертикальные, но и латеральные соотношения между складчатыми структурными этажами, которые в различных тектонических районах имеют разное стратиграфическое наполнение. Каждый структурный этаж, за исключением недеформированного осадочного чехла, вместе с остатками свит и нестратифицированных образований, в своем составе содержит комплекс новообразованных тектонитов, которые насквозь пересекают более древние этажи [Тектонічна карта..., 2007] (С. Горайнов, Ю. Склярченко, УкрНИИГаз, 2017).

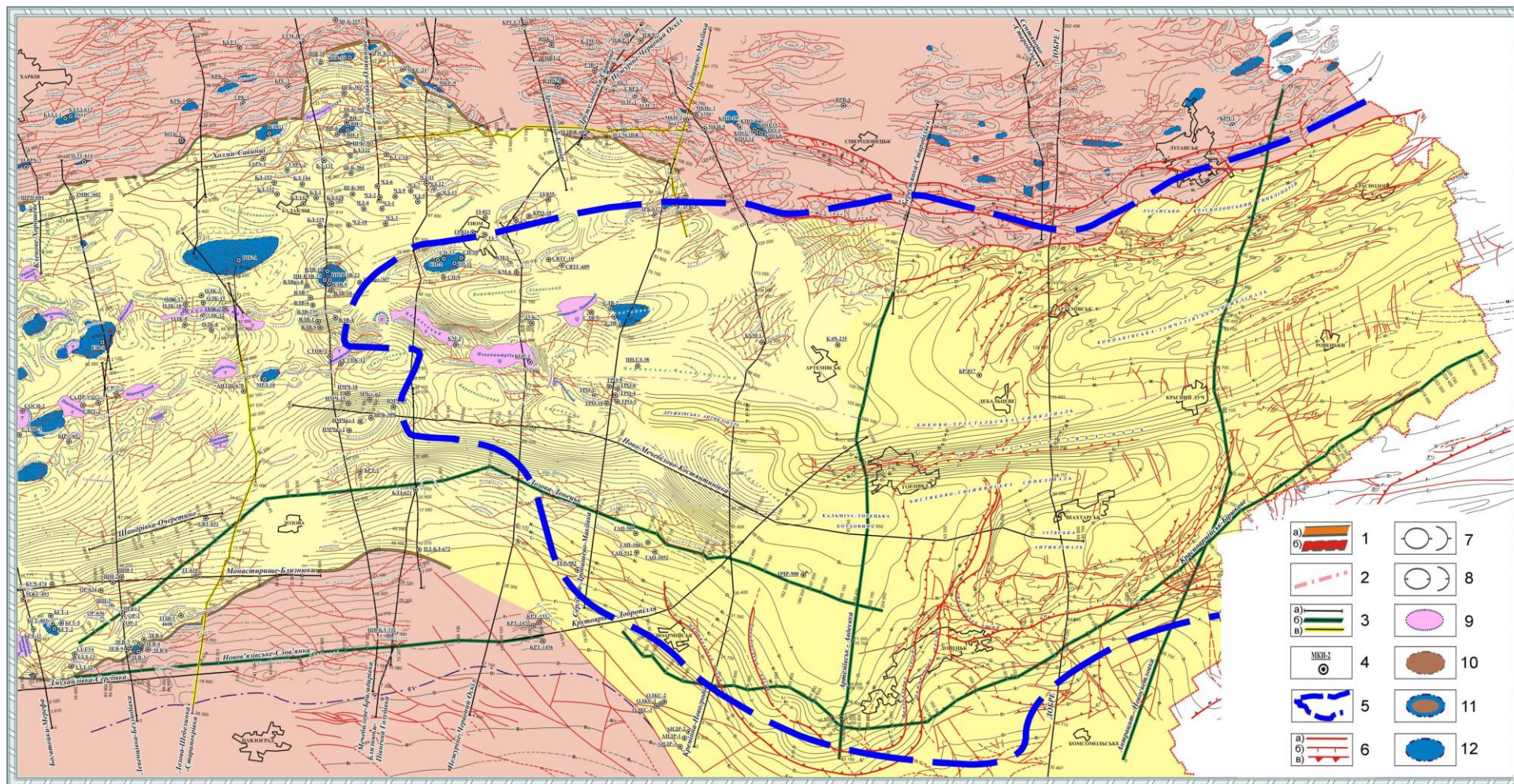


Рис. 1. Фрагмент тектонической карты Украины (территория переходной зоны между Днепровско-Донецкой впадиной и Донецким складчатым сооружением) [Тектонічна карта..., 2007]

1 - краевые региональные разломы: а - закартированные, б - прогнозируемые; 2 - ось Западно-Донецкого грабена; 3 - региональные сейсмопрофили: а - прошлых лет, б - новые, 4 - скважины; 5 - Западно-Донецкий тектонический сегмент; 6 - разломы: а-б: сбросы согласные и обратные; 7 - антиформы; 8 - синформы; 9 - соляные штоки; 10-12 - месторождения: 10 - нефтяные, 11 - нефтегазоконденсатные, 12 - газоконденсатные и газовые.

На территории ЗДГ и переходной зоны между ДДВ и ДСП в осадочном чехле установлены крутые углы падения горных пород (до 50-70⁰), сильная дислоцированность и насыщенность палеозойской осадочной толщи комплексами тектонитов, пересекающих насквозь осадочный чехол, высокие палеотемпературы, вызвавшие повышенную плотность осадочных пород и глубокий метаморфизм углей Донбасса, активный вулканизм кислого состава и связанные с ним гидротермально-метасоматические проявления [Геологічна карта..., 2007; Тектонічна карта..., 2007]. Все это рассматривается следствием геодинамических процессов, происходивших на активных тектонических плитах Тетиса, вызвавших значительное тангенциальное сжатие рифтогенной структуры, интенсивные горизонтальные перемещения геомасс и покровно-складчатые деформации, характеризующие инверсию тектонического режима Донбасса и ДДВ [Геологическая история..., 1993].

Исследование кинематического механизма коллизионных деформаций, обусловивших тектоническую инверсию ДДВ, является актуальной задачей региональной геотектоники. Ее решение будет способствовать познанию природных механизмов структурно-кинематической эволюции континентальной земной коры, условий формирования и закономерностей размещения в недрах осадочных бассейнов новейших инверсионных складчатых структур – потенциальных ловушек углеводородов в недрах Днепровско-Донецкой нефтегазоносной провинции. Для совершенствования теоретической базы геолого-разведочных работ на нефть и газ, с использованием структурно-кинематического анализа деформационных структур на материалах геокартирования дислокационных этажей палеозойского чехла ЗДГ, с учетом полевых инструментальных определений вергентности тектонитов герцинской и альпийской эпох орогенеза, данных реконструкции полей тектонических напряжений и новейших материалов количественного моделирования коллизионных деформаций южной окраины ВЕП, исследовался природный механизм тектонической инверсии рифтогенной структуры. На основе диагностики кинематического механизма инверсионных деформаций автором ранее даны объяснения геологического феномена формирования позднегерцинской и альпийской систем тектонического надвигания осадочных геомасс субрегионального масштаба, слагающих структуру Западно-Донецкой покровно-складчатой тектонической области [Барташук, 2020].

Установлено, что после почти полной осадочной компенсации рифтогенного бассейна в середине карбона [Гончар, 2018], в геологическом развитии ДДВ начали преобладать восходящие тектонические движения, обусловившие процессы континентального осадконакопления, в ходе которых седиментационная инверсия сперва дополнилась, а затем сменилась инверсией тектонического режима [Геологическая история..., 1993]. В течение

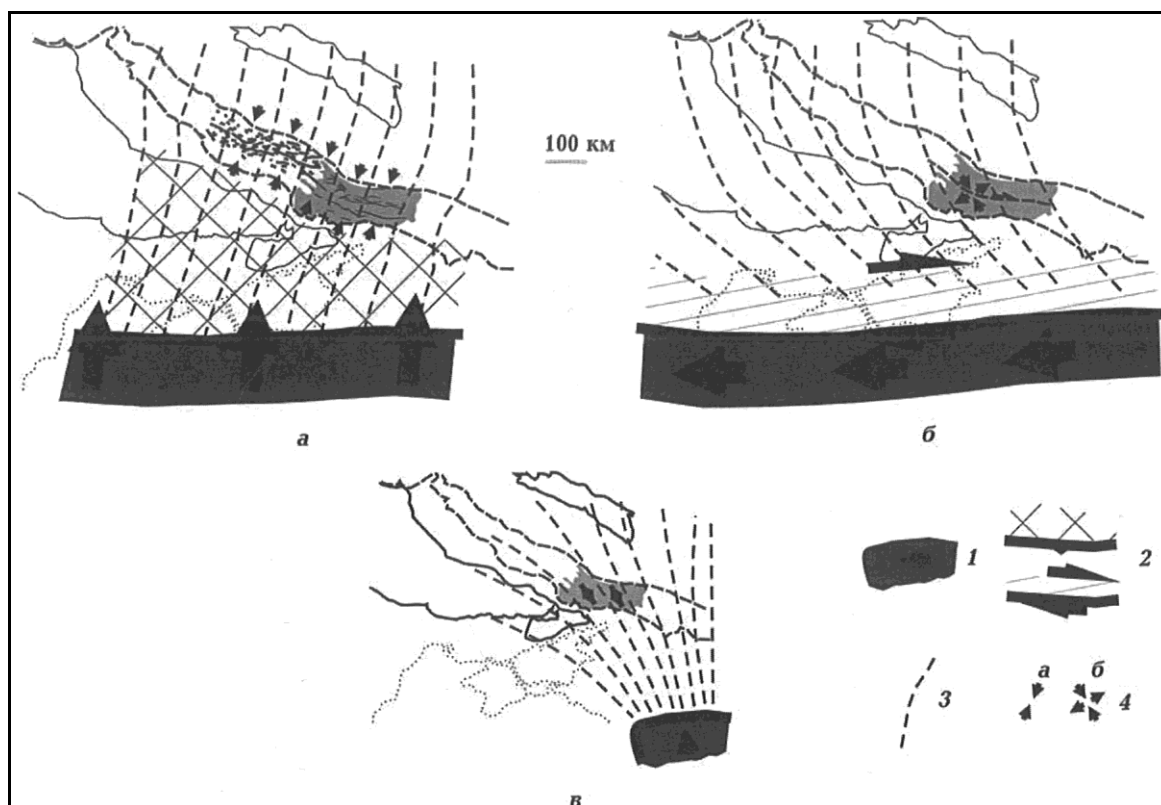
московского века произошло коренное изменение фаций осадконакопления в морском бассейне. Морскую седиментацию дополнили обстановки аллювиально-дельтовой долины, временами эвстатически заменявшиеся в центральной и юго-восточной частях мелководно-морскими. В тоже время глубоководный бассейн продолжал свое существование лишь к востоку от Донбасса [Геология и нефтегазоносность..., 1988]. В позднем карбоне с увеличением площади континентальной аккумуляции произошло усиление седиментационной инверсии осадочного бассейна ДДВ, при этом территория Донбасса вышла из состава бассейна осадконакопления как область устойчивой суши.

Прогрессирование инверсионного подъема Донбасса и его дальнейшая структурная эволюция в качестве ДСП происходила в режиме тангенциального сжатия, вызванного коллизионным давлением с юга вновь формирующегося позднепалеозойского орогена Кавказа [Хаин, 1976]. Позднегерцинские коллизионные события и тектонические движения на окраине ВЕП рассматриваются проявлением «большой коллизии» между Африкой и Европой [Геологическая история..., 1993] либо результатом причленения нескольких микроконтинентов к южной окраине ВЕП без столкновения этих плит [Зоненшайн, Кузьмин, Натапов, 1990], либо режимом правосторонней транстенсии [Стовба, Стифенсон, 2000], что наименее вероятно для Донбасса. Мезозойские и кайнозойские движения, которые привели к прогрессированию режима сжатия, осложнению существующей складчатости и формированию и деформационных структурных ансамблей правосторонней кинематики, рассматриваются следствием коллизионных процессов в Черноморско-Кавказском сегменте компрессионного орогена Палеотетиса [Корчемагин, Рябоштан, 1987; Анциферов и др., 2004; Гинтов, 2005; Копп, Корчемагин, 2010; Meyers et al., 2010; Копп и др., 2017].

По данным количественного моделирования тектонической инверсии ДДВ и Донбасса, земная кора рифтогена, расположенного на южной окраине ВЕП, представляла собой тектонически ослабленную внутриплитную, конвергентную зону концентрации межплитных деформаций [Гончар, 2019]. При этом тип деформаций определялся характером взаимодействия литосферных плит в окрестностях ВЕП, а фазы орогенеза и обусловленная ими инверсионная складчатость отражали пространственно достаточно удаленные позднегерцинские, киммерийские и альпийские коллизионные процессы. Поэтому инверсионный этап развития юго-восточной части ДДВ и Донбасса рассматривается как результат их размещения в тылу компрессионного орогена Палеотетиса, начавшего свое формирование не позднее ранней перми.

Сопоставление модельных и реконструированных полей напряжений ДДВ и ДСП [Гончар, 2019] свидетельствует, что начало их тектонической инверсии приходится на конец ранней перми. Деформации рифтогенной структуры происходили в режиме косой коллизии

под влиянием встречных движений левосторонней кинематики северного фронта коллизионного орогена, сформированного на активной плите в пределах Палеотетиса (рис. 2а). В теле Сарматской плиты ВЕП это коллизионное событие создало поле напряжений северо-восточного тангенциального сжатия. В результате рифтогенный бассейн испытывал неравномерную в поперечном сечении деформацию: инверсионная складчатость охватила преимущественно осевую и северную прибортовую зоны ДДВ. В это время закладывались основные линейные складчатые зоны Донбасса, центрального и юго-восточного сегментов впадины.



**Рис. 2. Схемы геодинамических обстановок тектонической инверсии
Днепро-Донецкой впадины [Гончар, 2019]**

а - коллизионный режим начального этапа; б - транспрессия в режиме правостороннего горизонтального сдвига главного этапа; в - схема индукционного влияния удаленного коллизионного орогена.

1 - подвижная зона активной окраины; 2 - деформационные обстановки: сверху - коллизии, внизу - право-сдвиговые деформации; 3 - модельные траектории напряжений сжатия; 4 - режимы: а - тангенциального сжатия; б - горизонтально-сдвиговых деформаций.

Дальнейшую тектоническую эволюцию бассейна, начало которой приходится на позднепермский век, обусловили сдвиговые смещения правосторонней кинематики с небольшой компонентой сжатия вблизи южной окраины ВЕП. При этом траектории сжимающих напряжений в пределах Украинского щита изменили направление на северо-западное, а на территории впадины приобрели север-северо-западную ориентацию (см.

рис. 2б). В результате область максимальных горизонтально-сдвиговых деформаций разместилась в южной, примыкающей к активной оконечности орогена, приграничной полосе. Это вызвало незначительное растяжение на большей части территории юго-восточного сегмента ДДВ и Донбасса с образованием горизонтальных сдвигов правой кинематики, контролировавших наложенную приразломную складчатость. Взбросовые обстановки могли сохраняться лишь в северо-восточной части бассейна, что объясняется веерообразным распределением траекторий сжимающих напряжений, которым в Донбассе обусловлено формирование поля сжатия северо-восточного направления (см. рис. 2в).

Распределение нормальных напряжений доверхнепермского этапа развития отражает напряженное состояние структуры синеклизного чехла ДДВ, близкое к одноосному растяжению по вертикали при одновременном горизонтальном, вкрест простирания слоев, сжатию [Корчемагин, Рябоштан, 1987]. Поперечное косое сжатие рифтогенной структуры происходило во взбросо-надвиговом режиме, характеризовавшемся северо-восточным наклоном оси максимальных напряжений сжатия Б1. По мнению автора, такая геодинамическая ситуация обусловила зарождение в ДДВ и Донбассе многочисленных, полого наклоненных тектонических срывов (рис. 3), послуживших первичным тектоническим каркасом для формирования герцинской надвиговой решетки. С учетом установленной для территории ЗДГ инструментальными методами юго-западной вергентности герцинских надвигов (С. Горайнов, Ю. Складченко, УкрНИИГаз, 2017), предполагается, что надвиговая решетка контролировала тектонический транспорт дислоцированных, смятых в складки геомасс палеозойского чехла от свержсжатой осевой зоны бассейна в направлении менее сжатых участков - геодинамических убежищ (зон геодинамической тени) на южному борту и склонах Приазовского кристаллического массива [Барташук, 2020]. По такому кинематическому механизму, по мнению автора, сформирована герцинская система тектонического надвигания геомасс.

Согласно данным отечественных исследователей [Корчемагин, Рябоштан, 1987; Анциферов и др., 2004; Гинтов, 2005] на главном этапе тектонической инверсии ДДВ, в киммерийскую и альпийскую эпохи орогенеза, образовалось горизонтально-сдвиговое поле правосторонней кинематики движений с северо-западным и северным направлениями сжимающей компоненты (см. рис. 2б). Начиная с позднего триаса неравномерное сжатие бассейна сопровождалось умеренным локальным растяжением вдоль оси средних напряжений сжатия Б2, наклоненной в северо-западном направлении. При этом, в соответствии с законами геомеханики [Гзовский, 1975], горизонтальные перемещения активизированных геомасс осадочных пород могли осуществляться вдоль парных осей τ максимальных касательных напряжений, наклоненных на юг и запад.

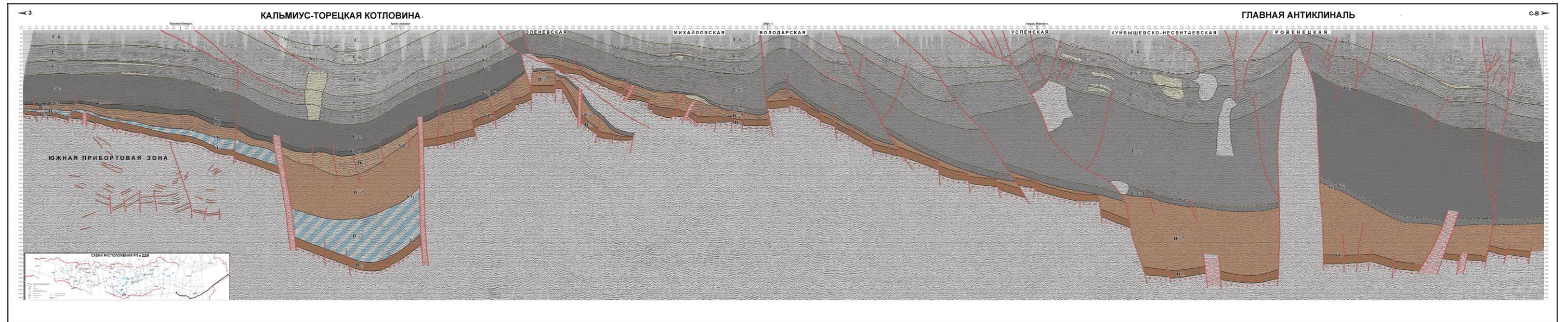


Рис. 3. Региональный сейсмопрофиль Красноармейск-Бирюково (по материалам В.И. Победаш, ДГП «Укргеофизика», 2014)

Врезка - линия профиля на карте.

В позднем мезозое-кайнозое прогрессирующее сжатие на фоне общего инверсионного подъема Донбасса вызвало осложнение герцинской складчатости, о чем свидетельствуют криволинейные деформации первично линейной герцинской надвиговой решетки и динамически сопряженных с ней осей приразломных линейных взбросо-складок. Деформационное структуроформирование происходило в геодинамической обстановке интерференции регионального горизонтально-сдвигового поля правосторонней кинематики движений и общего коллизионного тангенциального сжатия с наклоном оси сжатия в северо-западных и северных румбах (см. рис. 2б).

Такая геодинамическая обстановка вызвала образование в центральной части ЗДГ района концентрации осей сжатия северо-западной, «донецкой» ориентировки (рис. 4) [Гончар, 2019]. Благодаря этому, в сдвиго-надвиговом режиме происходило перемещение дислоцированных геомасс осадочного чехла от испытывающей воздымание инверсионной геоструктуры ДСП на северо-запад - в направлении менее сжатой территории юго-восточного сегмента ДДВ.

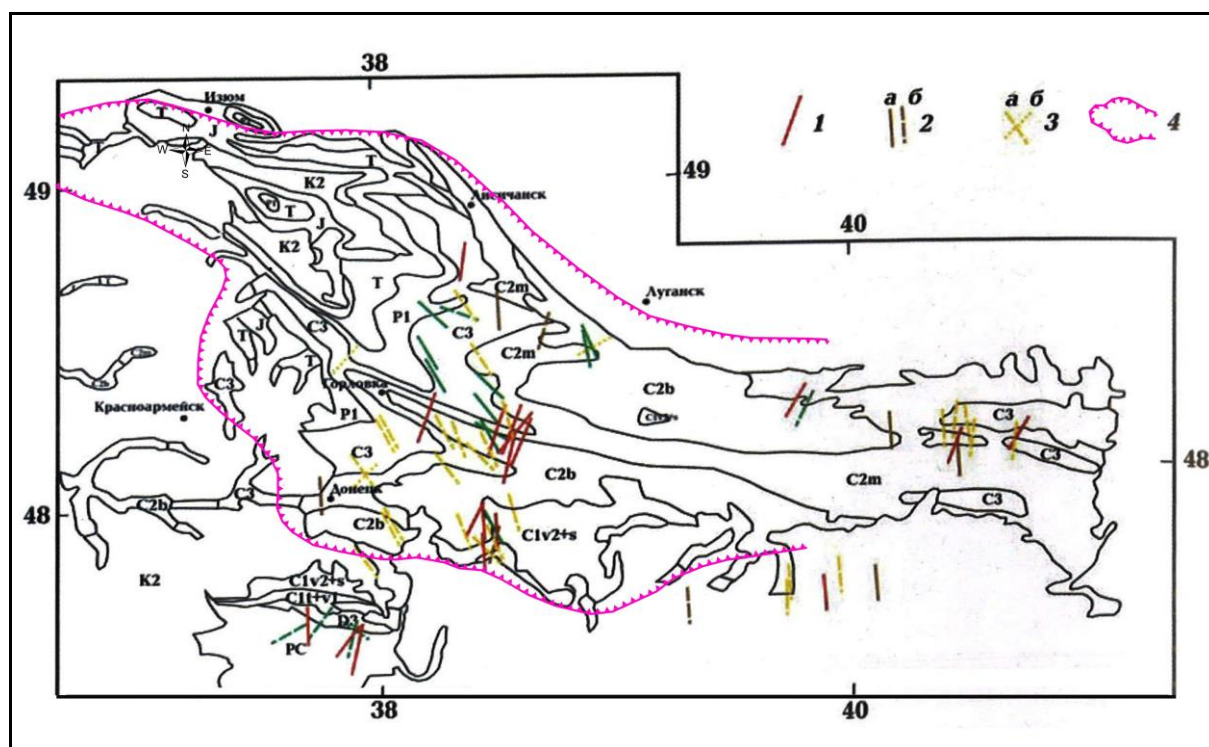


Рис. 4. Схема ориентации осей сжатия на территории Западно-Донецкого грабена и переходной зоны с Донецким складчатым поясом ([Гончар, 2019] с дополнениями)

1-3 - ориентация осей сжатия согласно геодинамическим моделям: 1 - коллизии; 2 - правосторонней транспрессии : а - взбросового, б - сдвигового типов; 3 - правостороннего сдвига: а - сдвигового, б - сбросового типа; 4 - сегмент тектонического вклинивания геомасс.

В ранее опубликованной статье [Барташук, 2020] показано, что горизонтальные движения по разломам и тектонический транспорт осадочных геомас к геодинамическим

убежищам в грабене контролировались Герцинской и Альпийской (Ларамийской и Аттической) сдвиго-надвиговыми решетками, вдоль которых сформировались кулисно сочлененные взбросо-складчатые зоны и ансамбли чешуй и пластин тектонических покровов надвигания (см. рис. 1-5 в [Барташук, 2020]). В результате образованы две динамически сопряженные системы тектонического надвигания геомас - Герцинская и Альпийская, которые слагают структурно-тектонический каркас Западно-Донецкой покровно-складчатой области, выделенной в пределах юго-восточного сегмента ДДВ [Барташук, 2020].

Основными элементами геологического строения Западно-Донецкой тектонической области по данным геокартирования (С. Горайнов, Ю. Скляренко, УкрНИИГаз, 2017) являются:

- осадочные свиты кайнозоя и их эрозионные останцы,
- захороненные под кайнозойским чехлом дислоцированные свиты мезозоя,
- деформированные тектонические блоки осадочных свит палеозоя,
- тектониты Стыльского, Соколовского, Шумиловского динамометаморфических комплексов позднегерцинского и альпийского возрастов,
- тектонические останцы докембрийских нестратифицированных комплексов в отдельных тектонических блоках,
- магматические и вулканические комплексы палеозоя и мезозоя,
- девонские соляные диапиры.

Самым молодым комплексом тектонитов является Аттический, северной границей развития которого в грабене являются плоскости Марьевского и Лисичанского сдвиго-надвигов (см. рис. 2, 3 в [Барташук, 2020]). К югу от них весь доаттический чехол дислоцирован и разбит на тектонические блоки, слагающие Западно-Донецкую покровно-складчатую область. В ее пределах эти блоки с разрывом и угловым несогласием перекрываются прерывистым моноклинальным чехлом недислоцированных плиоцен-антропогеновых отложений. Под осадочным чехлом в ЗДГ залегает Герцинский структурный этаж, включающий тектонические блоки палеозоя, докембрия и девонские соляные диапиры.

В пределах Бахмутской и Кальмиус-Торецкой осевых котловин решетка герцинских надвигов юго-западной вергентности контролирует эшелоны пластин покровов надвигания удлиненной формы северо-восточного и восточного простирания, образующие Герцинскую систему тектонического надвигания геомасс палеозойского чехла (см. рис. 2-5 в [Барташук, 2020]). В тылу системы надвигания, в осевой части грабена, в районе параметрической скв. Артемовская-1, на Герцинском этаже с резким разрывом и угловым несогласием залегают остатки мезозойского чехла, сохранившиеся от полного разрыва в осевой зоне.

На южном борту Бахмутской котловины герцинские и альпийские магистральные

сдвига-взбросы северо-западного простирания слагают Центральную линейную зону горизонтально-сдвигового контроля (см. рис. 1, 2 [Барташук, 2020]). Она контролирует осевую складчатую зону кулисно сочлененных, линейных приразломных взбросо-складок, сложенную Велико-Камышевахской, Новотроицкой, Дружковско-Константиновской и Главной антиклиналями. В форланде герцинской системы надвигания, в юго-восточной части Изюмского сегмента ДДВ, с погружением подошвы мезозоя на северо-запад наблюдается постепенный выход из-под размыва мезозойского осадочного комплекса, при этом на восточных склонах Орельской котловины кровля Герцинского этажа залегает на глубинах более 3 км (см. рис. 2, 3 [Барташук, 2020]).

В пределах блоков аттического века под кайнозойскими отложениями установлена реликтовая блоковая структура Ларамийской покровно-складчатой области. Ее слагают крупные тектонические пластины и более мелкие чешуи, которые разделяются зонами ларамийских надвигов и перекрываются чехлом кайнозоя с угловым несогласием (см. рис. 2-5 в [Барташук, 2020]). Блоки имеют вытянутую форму в плане, контролируемую надвигами переменных простираний с изгибом на север. Породы в пределах блоков смяты в многочисленные складки. Решетка надвигов и ограниченные ею тектонические блоки на отдельных участках замещаются метасоматитами Остромогильского комплекса, пересекаются и деформируются сеткой аттических тектонитов шумиловского комплекса и дополнительно осложняются соляной тектоникой.

Аналогичные по морфологии и простиранию тектонические блоки и чешуи образованы на докембрийских полях Приазовского массива и в зоне его сочленения с ДСП. Интенсивность деформаций там существенно возрастает, что видно по уменьшению размеров тектонических блоков, расширению межблоковых зон дробления и появлению широких меланжевых зон северо-западной вергентности. На юго-западном фланге Ларамийской области, в зоне тектонического сочленения с Западно-Донбасской меланжевой зоной, по плоскости Самарского сдвига-надвига палеозойские и докембрийские породы надвинуты на мел (см. рис. 2, 3 в [Барташук, 2020]). Ларамийские тектониты пересекают слоистость осадочных пород под большими углами, особенно это касается мезозойских отложений. Отдельные ветви надвигов наследуют слоистость каменноугольных свит, например, Алмазный надвиг на некоторых участках. Это является следствием развития ларамийских деформаций по складчатой на то время структуре палеозоя – герцинскому неоавтохтону.

Межблоковая деструкция пород субстрата привела к образованию ларамийских тектонитов Сокольниковского комплекса, образующих непрерывную решетку, отдельные ветви которой являются магистральными сдвига-надвигами (см. рис. 2 [Барташук, 2020]). По

смещениям мезозойских свит, перекрытых чехлом кайнозоя с размывом и угловым несогласием и измеренной инструментально северо-западной вергентности горизонтальных смещений к ларамийским надвигам достоверно отнесены Северо-Донецкий (вертикальная амплитуда 800-1500 м), Алмазный (амплитуда от 500-800 до 1400 м), Дробышевский (амплитуда 300 м), Самарский (амплитуда 70-100 м), Центральный (амплитуда 260-300 м), Осовой или Селидовский (амплитуда 300 м).

Горизонтальными перемещениями геомасс в режиме коллизионного сжатия и в условиях ограниченного геологического пространства ЗДГ обусловлены деформации, вызвавшие искривления в плане плоскостей ларамийских магистральных сдвиго-надвигов на северном и южном флангах Ларамийской системы надвигания (см. рис. 1, 2 в [Барташук, 2020]). Причем, одновременно с изменением простирания надвигов с северо-западного на широтное происходили флексурные изгибания первично линейных осей герцинских приразломных антиклинальных складок, сформированных в их поднятых крыльях. Неизменным осталось лишь устойчивое северо-западное, «донецкое» простирание магистральных сдвиго-взбросов осевой зоны грабена - Сулино-Константиновского, Дилеевского и Осового, образующих Центральную зону кинематической симметрии и горизонтально-сдвигового контроля (см. рис. 1, 2 в [Барташук, 2020]).

Установлено, что осадочный чехол на территории исследований имеет переменный стратиграфический объем, который скачкообразно, при переходе через ограничивающую покровно-складчатую область систему краевых магистральных надвигов наращивается по мощности от 200 до 800 м с юго-востока на северо-запад и с юга на север от плиоцен-четвертичного до объема кайнозойского и далее - до мезо-кайнозойского (рис. 5, см. рис. 3). Соотношение моноклинально залегающего осадочного чехла и складчатой области свидетельствует о ее новейшем возрасте и интенсивной современной денудации.

Анализ структурных рисунков тектонитов и ансамблей деформационных структур коллизионного этапа на территории ЗДГ позволил воссоздать кинематический механизм тектонической инверсии рифтогенной структуры в пределах юго-восточного сегмента ДДВ. На сравнительной схеме герцинских, ларамийских и аттических тектонитов (рис. 6) показано, что разломный каркас коллизионных деформаций, слагающих Герцинскую и Альпийскую покровно-складчатые системы, образован тремя динамично сопряженными линейными зонами горизонтально-сдвигового контроля - Северо-Восточной, Юго-Западной и Центральной. Первые две выделяются в качестве внешних границ сегмента тектонического вклинивания осадочных геомасс – инверсионной тектонической структуры вторжения, которая сформировалась на территории ЗДГ под давлением тектонического штампа ДСП. Достаточно уверенно границы клиноформной структуры идентифицируются и на карте

глубинных разломов ДДВ [Глубинные геологические..., 1978] (см. рис. 5).

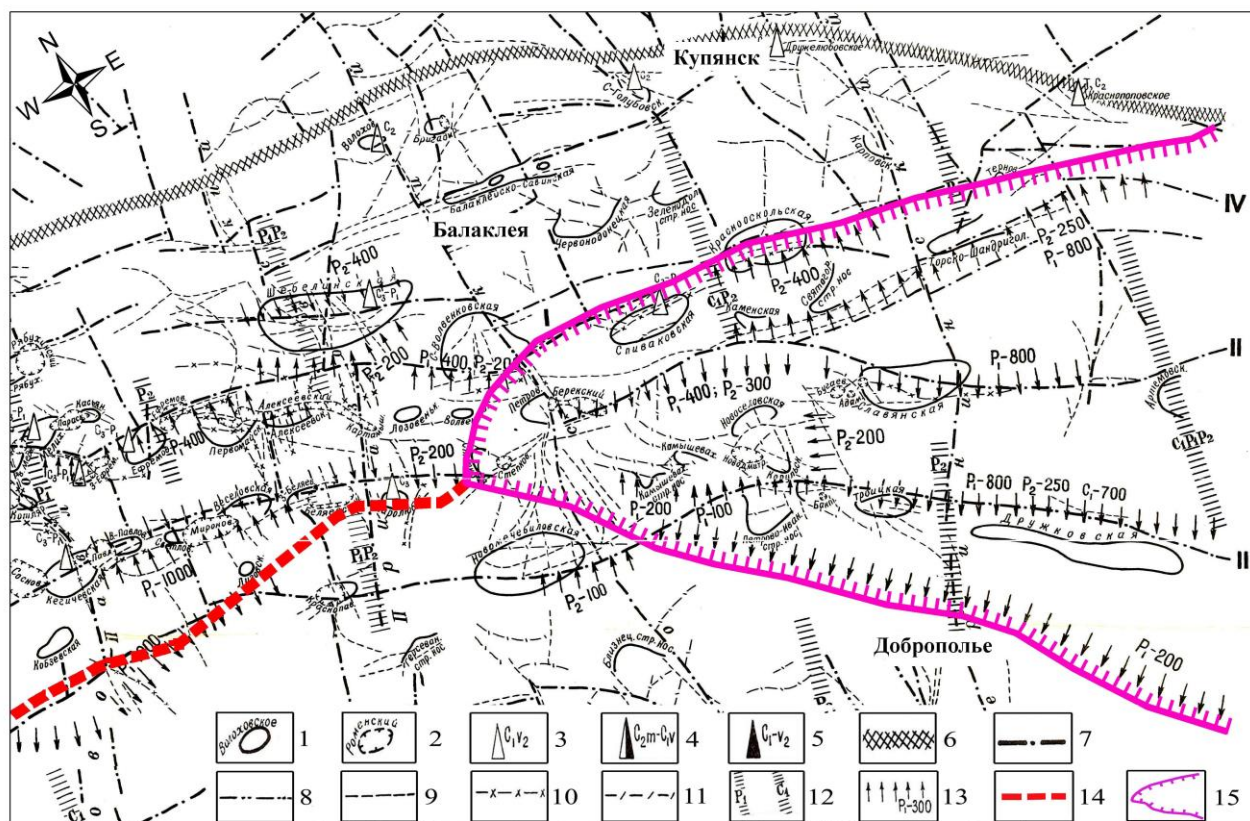


Рис. 5. Фрагмент карты разломов Днепровско-Донецкой впадины
([Глубинные геологические..., 1978] с дополнениями)

1 - структуры чехла; 2 - соляные штоки; 3-5 - нефтегазовые месторождения и возраст залежей; 6-11 - разломы: 6 - краевые; 7 - в фундаменте; 8 - в девоне; 9 - в карбоне; 10 - в перми; 11 - на локальных структурах; 12-13 - изменения толщины осадочных комплексов по: 12 - возрастному распределению; 13 - направлениям и градиентам изменений (м); 14 - граница продольных деформационных зон [Барташук, 2019]; 15 - граница клиноформного сегмента тектонического вклинивания геомасс [Барташук, 2020].

В соответствии с классификацией деформационных структур, сформированных в результате горизонтальных перемещений [Копп, 1991], сегмент вторжения геомасс определен тектоническим ороклином выдвигания поддвигового типа (см. рис. 6, врезка а). В форланде сегмента, на продолжениях магистральных сдвига-надвигов альпийской и герцинской генераций, в юго-восточном сегменте впадины образовался тектонический узел динамично сопряженных тектонитов, диагностированный передовым чешуйчатым веером сжатия (см. рис. 2, 6, врезка б в [Барташук, 2020]). На северо-восточном крыле сегмента, вдоль решетки ларамийских и аттических надвигов сформировались зоны кулисно сочлененных, линейных взбросо-складок (см. рис. 5). Вдоль его юго-западного крыла отмечается полоса чешуйчатых тектонических покровов, контролируемая тектоническим каркасом альпийских и герцинских надвигов. В осевой части сегмента вдоль кулисной системы сдвига-взбросов образована Центральная линейная зона горизонтально-сдвигового

контроля, охватывающая самые крупные в регионе взбросо-антиклинали, наибольшей из которых является Главная антиклиналь (см. рис. 1, 3, 5, 6).

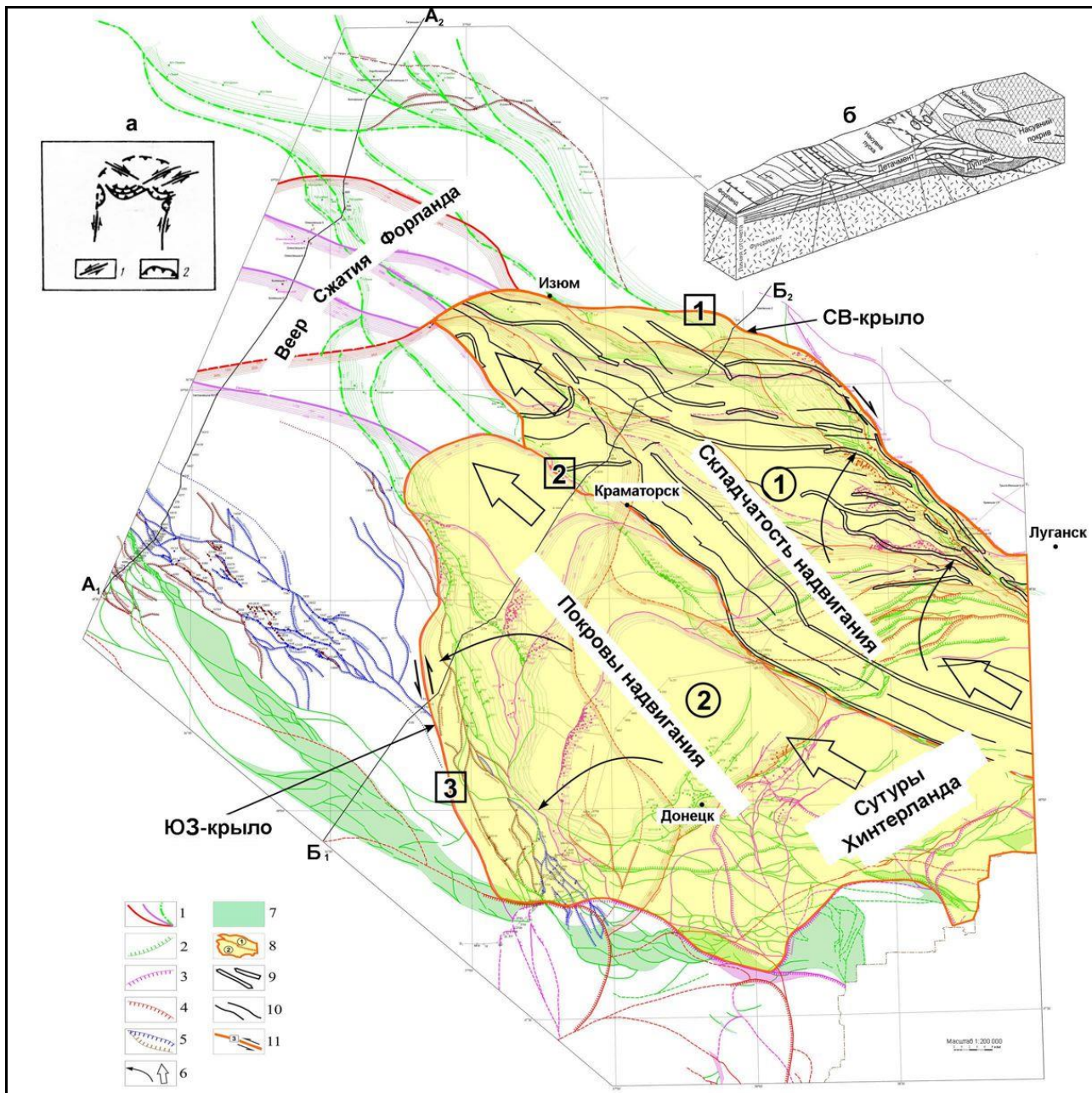


Рис. 6. Кинематическая модель формирования Западно-Донецкой покровно-складчатой области

1 - передовой тектонический веер сжатия; 2-5 - рифтогенные сбросы, согласные и несогласные; 6 - общие направления растекания и транспорта геомасс палеозойского чехла; 7 - Южно-Донецкая меланжевая зона; 8 - сегмент тектонического вклинивания: (1) - Луганско-Камышевахский район кулисной складчатости, (2) - Кальмиус-Торецкий район чешичатых покровов надвигания; 9 - линейные синформы; 10 - антиформы; 11 - линейные зоны горизонтально-сдвигового контроля: [1] - Северо-Восточная, [2] - Центральная, [3] - Юго-Западная.

Врезки: а - кинематическая схема формирования тектонического ороклина выдвигания (план) [Копп, 1991], б - принципиальная модель покровно-складчатой системы (А.Н. Худoley, СПбГУ, ВСЕГЕИ, 2005).

Северо-восточную линейную зону горизонтально-сдвигового контроля вторжения

клиноформного сегмента составляют Северо-Донецкий, Алмазный, Дробишевский ларамийские и Марьевский, Дилеевский, Крестищенский и Лисичанский аттические сдвиго-надви́ги (рис. 2-6 в [Барташук, 2020]). Юго-западную граничную зону сегмента формируют кулисно сочлененные ветви герцинских (Котлинского, Александровского, Мерцаловского и Новоселовского), ларамийских (Самарского и Войковского) надвигов и аттических (Муравьевского и Криворожско-Павловского) надвигов.

Результаты структурно-кинематического анализа свидетельствуют, что эти три динамично сопряженные линейные зоны служили своеобразными «тектоническими рельсами» надвигания мезозойско-альпийского покровно-складчатого аллохтона на слабо дислоцированный рифтогенный автохтон юго-восточной части ДДВ. Это позволяет с точки зрения тектонофизики обосновать сделанный ранее [Барташук, 2020] теоретический вывод о том, что наиболее значимым структурным результатом инверсии тектонического режима в ДДВ явилось формирование на территории ЗДГ инверсионной геоструктуры субрегионального масштаба - Западно-Донецкой покровно-складчатой тектонической области. Главным структурным элементом области выделен тектонический сегмент вклинивания осадочных геомасс. Предполагается, что сегмент вклинивания сформирован под давлением «тектонического штампа» ДСП, что будет предметом более детального рассмотрения в следующей статье.

Теоретическим итогом региональных геотектонических исследований является создание кинематической модели тектонической инверсии рифтогенной структуры в юго-восточном сегменте ДДВ. Согласно модели автора, на начальном этапе инверсии, в позднегерцинскую эпоху орогенеза, вследствие коллизионных движений активной окраины Палеотетиса происходило тангенциальное сжатие рифтогенной структуры во взбросо-надвиговом режиме. Это обусловило образование в осадочном чехле ЗДГ герцинской надвиговой решетки, контролировавшей формирование крупной линейной складчатости и поперечный к проститранию грабена тектонический транспорт палеозойских осадочных геомасс из осевой в бортовые зоны. В течение главного этапа инверсии, в мезозойскую и кайнозойскую эпохи, вдоль решетки альпийских (ларамийских и аттических) надвигов на герцинский неоавтохтон и слабо дислоцированный синеклизный автохтон со стороны испытывающего инверсионный подъем Донбасса надвинута интенсивно смятая в складки осадочная толща. Тектоническими рельсами продольного вторжения геомасс служили три линейные, динамично сопряженные зоны горизонтально-сдвигового контроля - Северо-Восточная, Юго-Западная и Центральная. Под давлением тектонического штампа ДСП по кинематическому механизму поперечного ороклина выдвигания вдоль них сформировался клиноформный сегмент тектонического вклинивания геомасс, который является главным

структурным элементом инверсионной геоструктуры субрегионального масштаба - Западно-Донецкой покровно-складчатой области.

Литература

Анциферов А., Туркель М., Хохлов М., Привалов В., Голубев А., Майборода А., Анциферов В. Газоносность угольных месторождений Донбасса. - Киев: Наукова думка, 2004. - 229 с.

Барташук А.В. Коллизионные деформации Днепровско-Донецкой впадины. Часть 1. Тектоника Западно-Донецкого грабена // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2020. - Т.15. - №3. - http://www.ngtp.ru/rub/2020/28_2020.html. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/28_2020

Барташук О. Структурно-кінематична еволюція земної кори Дніпровсько-Донецького палеорифту. Частина 1. Структурні прояви реїдної деформації в осадовому чохлах // Тектоніка і стратиграфія. - 2019б. - Вип. 46. - С. 5-16.

Геологическая история территории Украины. Палеозой / Отв. ред. П. Цегельнюк. - Киев: Наукова думка, 1993. - 199 с.

Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия / Отв. ред. Д. Айзенберг. - Киев: Наукова думка, 1988. - 148 с.

Геологічна карта докайнозойських утворень України. Масштаб 1:1000000 / Отв. ред. В. Калінін. - 2007.

Гзовский М. Основы тектонофизики. - М.: Наука, 1975. - 536 с.

Гинтов О. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. - Киев: Феникс, 2005. - 572 с.

Глубинные геологические срезы Днепровско-Донецкой впадины (в связи с перспективами нефтегазоносности). Объяснительная записка к геологическим картам ДДВ на срезах -5000 и -6000 м масштаба 1:500000 / Отв. ред. В. Глушко. - Киев: УКРНИИГАЗ, УКРНИГРИ, 1978. - 88 с.

Гончар В. Тектоническая инверсия Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса (модели и реконструкции) // Геофизический журнал. - 2019. - Т.41. - №5. - С.47-86.

Гончар В. Формирование и осадочное заполнение Днепровско-Донецкой впадины (геодинамика и фации) в свете новых данных палеотектонического моделирования // Геофизический журнал. - 2018. - Т.40. - №2. - С. 67-94.

Дудник В., Корчемагин В. Киммерийское поле напряжений в пределах Ольховатско-Волынцевской антиклинали Донбасса, его связь с разрывными структурами и магматизмом // Геофизический журнал. - 2004. - Т. 26. - № 4. - С.75-84.

Зоненшайн Л., Кузьмин М., Натапов Л. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн.1, Кн.2. - Москва: Недра, 1990. - 328 с., 334 с.

Казьмин В., Тихонова Н. Раннемезозойские окраинные моря в Черноморско-Кавказском регионе: палеотектонические реконструкции // Геотектоника. - 2005. - №5. - С. 20-35.

Копп М. Структурные рисунки, связанные с продольными перемещениями внутри складчатых поясов (на примере Средиземноморско-Гималайского пояса) // Геотектоника. - 1991. - №1. - С. 21-36.

Копп М., Колесниченко А., Мострюков А., Васильев Н. Реконструкция кайнозойских напряжений/деформаций востока Русской плиты и пути ее применения для решения

региональных и прикладных задач // Геодинаміка. - 2017. - №2 (2). - С. 46-66.

Копп М., Корчемагин В. Кайнозойские поля напряжений/деформаций Донбасса и их вероятные источники // Геодинаміка. - 2010. - №1(9). - С. 17-48.

Корчемагин В., Емец В. Особенности развития тектонической структуры и поля напряжений Донбасса и Восточного Приазовья // Геотектоника. - 1987. - №3. - С. 49-55.

Корчемагин В., Рябоштан Ю. Тектоника и поля напряжений Донбасса. Поля напряжений и деформаций в земной коре. - М.: Наука, 1987. - С. 164-170.

Попов В. Донецкий бассейн: тектоника. Геология угля и горючих сланцев СССР. Т.1. - М.: ГОНТИ, 1963. - С. 103-151.

Стовба С., Стифенсон Р. Сравнительный анализ строения и истории формирования юго-восточной части Днепровско-Донецкой впадины и Донецкого складчатого сооружения // Геофизический журнал. – 2000. - Т. 22. - № 4. - С. 37-61.

Субботин С., Соллогуб В., Чекунов А. Строение и эволюция земной коры Украины и сопредельных регионов Тетиса в свете новых данных и представлений / Геофизический сборник. - 1976. - С. 13-45.

Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000000 / Відп. ред. С. Круглов, Д. Гурський. - 2007. - 95 с.

Хаин В. Региональная геотектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия. - М.: Недра, 1976. - С. 185-205.

Meyers M., Hammers M., van Hinsbergen D., Kitchka A., Langereis C., Stephenson R. New late Paleozoic paleopoles from the Donbas Foldbelt (Ukraine): New late Paleozoic paleopoles from the Donbas Foldbelt (Ukraine): Implications for the Pangea A vs. B controversy. Earth and Planetary Science Letters. - 2010. - Vol. 297(1-2). - P. 18-33.

Bartashchuk A.V.

Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases (UkrNIIGaz), Kharkiv, Ukraine,
alekseybart@gmail.com

COLISIONAL DEFORMATIONS OF THE DNEIPER-DONETS BASIN. PART 2. GEODYNAMIC MODES AND KINEMATIC MECHANISM OF TECTONIC INVERSION

The tectonic inversion of the Dnieper-Donets Basin and the Donets Foldbelt began in the Late Hercynian epoch under the influence of collisional movements of the left-sided kinematics of the compression orogen on the edge of the Paleotethys. It is shown that as a result of gently inclined disruptions in the Paleozoic platform cover of the West Donets Graben, a thrust lattice was formed, which controlled the processes of collisional buckling of the horizons in the thrust and strike-slip modes. As a result of the displacement of geomasses from the axial zones of maximum compression to the zones of "geodynamic shadow" - in the direction of the Basin borders in the northern and axial parts of the Graben, linear uplift folds were formed, and in the southern - thrust covers.

At the Late Mesozoic and Cenozoic, in the mode of interference of the uplift-thrust and strike-slip fields of the reverse, right-sided kinematics of movements, deformations of the Hercynian thrust lattice and the dynamically conjugated linear near-fault folding took place with the formation of coulisse articulated upthrust-fold zones and en-echelon overthrust covers. The geodynamic setting of the grouping of the compression axes in the western part of the Donbass, which was experiencing orogenic uplift, caused the thrust of allochthonous geomasses to the syncline related autochthon of the southeastern segment of the depression. In the West Donets Graben, this caused an increase in the section beyond the Hercynian Neoautochthon and the Cimmerian-Alpine allochthon with the formation of a clinoform wedging Segment. Along the main strike-slip faults, which form the tectonic rails of its invasion, geodynamic zones of geomass squeezing out, formed by curvilinear, en-echelon upthrow folds, were formed. In the foreland of the Segment, at the ends of dynamically coupled thrust and strike-slip faults, a forward compression fan is formed; in the hinterland, on the roots of thrust covers, folded suture zones are formed.

Based on the results of the kinematic analysis of the Hercynian and Alpine deformation structures, a new kinematic model of the tectonic inversion of the riftogenic structure of the Southeastern Segment of the Dnieper-Donets Basin has been developed. In accordance with it, the deformations of the sedimentary cover of the West Donets Graben were carried out according to the kinematic mechanism of a transverse orocline of pushing geomasses of the sub-thrust type, under the pressure of the tectonic stamp of the Donets Foldbelt.

Keywords: geodynamic modes, kinematic deformation mechanism, wedging segment, forward compression fan, folded sutures, thrusting orocline, tectonic stamp, Dnieper-Donets Basin.

References

Antsiferov A., Tirkel' M., Khokhlov M., Privalov V., Golubev A., Mayboroda A., Antsiferov V. *Gazonosnost' ugol'nykh mestorozhdeniy Donbassa* [Gas content of coal deposits of Donbass]. Kiev: Naukova dumka, 2004, 229 p.

Bartashchuk A.V. *Kollizionnye deformatsii Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. Chast' 1. Tektonika Zapadno-Donetskogo grabena* [Collisional deformations of the Dnieper-Donets Basin. Part 1. Tectonics of the Western-Donetsk Graben]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2020, vol. 15, no. 3, available at: http://www.ngtp.ru/rub/2020/28_2020.html. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/28_2020

Bartashchuk O. *Strukturno-kinematichna evolyutsiya zemnoï kori Dniprovsko-Donetskogo paleoriftu. Chastina 1. Strukturni proyavi reïdnoï deformatsii v osadovomu chokhli* [Structural and kinematic evolution of the Earth's crust of the Dnieper-Donets paleorift. Part 1. Structural manifestations of reid deformation in the sedimentary cover]. *Tektonika i stratigrafiya*, 2019,

vol. 46, pp. 5-16.

Dudnik V., Korchemagin V. *Kimmeriyskoe pole napryazheniy v predelakh Ol'khovatsko-Volyntsevskoy antiklinali Donbassa, ego svyaz' s razryvnymi strukturami i magmatizmom* [The Cimmerian stress field within the Olkhovatsko-Volyntsevsky anticline of the Donbass, its relationship with discontinuous structures and magmatism]. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2004, vol. 26, no. 4, pp. 75-84.

Geologicheskaya istoriya territorii Ukrainy. Paleozoy [Geological history of the territory of Ukraine. Paleozoic]. Editor P. Tsegel'nyuk. Kiev: Naukova dumka, 1993, 199 p.

Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. Stratigrafiya [Geology and oil and gas content of the Dnieper-Donets Basin. Stratigraphy]. Editor D. Ayzenverg. Kiev: Naukova dumka, 1988, 148 p.

Geologichna karta dokaynozoy'skikh utvoren' Ukraïni. Masshtab 1:1000000 [Geological map of pre-Cenozoic formations of Ukraine. Scale 1:1,000,000]. Editor V. Kalinin, 2007.

Gintov O. *Polevaya tektonofizika i ee primenenie pri izuchenii deformatsiy zemnoy kory Ukrainy* [Field tectonophysics and its application in the study of deformations of the earth's crust in Ukraine]. Kiev: Feniks, 2005, 572 p.

Glubinnye geologicheskie srezy Dneprovsko-Donetskoy vpadiny (v svyazi s perspektivami neftegazonosnosti). Ob'yasnitel'naya zapiska k geologicheskim kartam DDV na srezakh -5000 i -6000 m masshtaba 1:500000 [Deep geological sections of the Dnieper-Donets basin (in connection with the prospects of oil and gas). Explanatory note to the geological maps of the DDV on the sections -5000 and -6000 m scale 1: 500000]. Editor V. Glushko. Kiev: UKRNIIGAZ, UKRNIGRI, 1978, 88 p.

Gonchar V. *Formirovanie i osadochnoe zapolnenie Dneprovsko-Donetskoy vpadiny (geodinamika i fatsii) v svete novykh dannykh paleotektonicheskogo modelirovaniya* [Formation and sedimentary filling of the Dnieper-Donetsk depression (geodynamics and facies) in the light of new data of paleotectonic modeling]. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2018, vol. 40, no. 2, pp. 67-94.

Gonchar V. *Tektonicheskaya inversiya Dneprovsko-Donetskoy vpadiny i Donbassa (modeli i rekonstruktsii)* [Tectonic inversion of the Dnieper-Donets basin and Donbass (models and reconstructions)]. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2019, vol. 41, no. 5, pp. 47-86.

Gzovskiy M. *Osnovy tektonofiziki* [Fundamentals of tectonophysics]. Moscow: Nauka, 1975, 536 p.

Kaz'min V., Tikhonova N. *Rannemezozoy'skie okrainnye morya v Chernomorsko-Kavkazskom regione: paleotektonicheskie rekonstruktsii* [Early Mesozoic marginal seas in the Black Sea-Caucasus region: paleotectonic reconstructions]. *Geotektonika*, 2005, no. 5, pp. 20-35.

Khain V. *Regional'naya geotektonika. Vneal'piyskaya Evropa i Zapadnaya Aziya* [Regional geotectonics. Extra-Alpine Europe and Western Asia]. Moscow: Nedra, 1976, pp. 185-205.

Kopp M. *Strukturnye risunki, svyazannye s prodol'nymi peremeshcheniyami vnutri skladchatykh pojasov (na primere Sredizemnomorsko-Gimalayskogo poiasa)* [Structural drawings associated with longitudinal movements inside the folded belts (on the example of the Mediterranean-Himalayan belt)]. *Geotektonika*, 1991, no. 1, pp. 21-36.

Kopp M., Kolesnichenko A., Mostryukov A., Vasil'ev N. *Rekonstruktsiya kaynozoy'skikh napryazheniy/deformatsiy vostoka Russkoy plity i puti ee primeneniya dlya resheniya regional'nykh i prikladnykh zadach* [Reconstruction of Cenozoic stress and deformations in the eastern European platform with its regional and practical application]. *Geodinamika*, 2017, no.2 (2), pp. 46-66.

Kopp M., Korchemagin V. *Kaynozoy'skie polya napryazheniy/deformatsiy Donbassa i ikh veroyatnye istochniki* [Cenozoic stress / strain fields of the Donbass and their probable sources]. *Geodinamika*, 2010, no. 1(9), pp. 17-48.

Korchemagin V., Emets V. *Osobennosti razvitiya tektonicheskoy struktury i polya napryazheniy Donbassa i Vostochnogo Priazov'ya* [Peculiarities of the development of the tectonic structure and stress field of Donbas and the Eastern Azov region]. *Geotektonika*, 1987, no. 3,

pp. 49-55.

Korchemagin V., Ryaboshtan Yu. *Tektonika i polya napryazheniy Donbassa. Polya napryazheniy i deformatsiy v zemnoy kore* [Tectonics and stress fields of Donbass. Fields of stress and strain in the Earth's crust]. Moscow: Nauka, 1987, pp. 164-170.

Meyers M., Hammers M., van Hinsbergen D., Kitchka A., Langereis C., Stephenson R. New late Paleozoic paleopoles from the Donbas Foldbelt (Ukraine): New late Paleozoic paleopoles from the Donbas Foldbelt (Ukraine): Implications for the Pangea A vs. B controversy. *Earth and Planetary Science Letters*, 2010, vol. 297(1-2), pp. 18-33.

Popov V. *Donetskiy baseyn: tektonika. Geologiya uglya i goryuchikh slantsev SSSR. T.1* [Donetsk Basin: Tectonics. Geology of coal and oil shale in the USSR. Vol. 1]. Moscow: GONTI, 1963, pp. 103-151.

Stovba S., Stifenson R. *Sravnitel'nyy analiz stroeniya i istorii formirovaniya yugo-vostochnoy chasti Dneprovsko-Donetskoy vpadiny i Donetskogo skladchastogo sooruzheniya* [Comparative analysis of the structure and history of the formation of the southeastern part of the Dnieper-Donetsk depression and the Donetsk fold structure]. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2000, vol. 22, no. 4, pp. 37-61.

Subbotin S. Sollogub V., Chekunov A. *Stroenie i evolyutsiya zemnoy kory Ukrainy i sopredel'nykh regionov Tetisa v svete novykh dannykh i predstavleniy* [Structure and evolution of the earth's crust in Ukraine and adjacent regions of Tethys in the light of new data and concepts]. *Geofizicheskiy sbornik*, 1976, pp. 13-45.

Tektonichna karta Ukraïni. Masshtab 1:1000000 [Tectonic map of Ukraine. Scale 1:1,000,000]. Editors S. Kruglov, D. Gurs'kiy, 2007, 95 p.

Zonenshayn L., Kuz'min M., Natapov L. *Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR. Kn. 1, Kn. 2.* [Tectonics of lithospheric plates in the USSR. Book 1, 2]. Moscow: Nedra, 1990, 328 p., 334 p.

© Бартащук А.В., 2020

