

Л.І. Пимоненко, І.М. Скопиченко, В.В. Вергельська

ГЕОДИНАМІКА ФОРМУВАННЯ ДОНЕЦЬКОГО БАСЕЙНУ

Запропонована модель ґрунтується на мобіліській концепції тектоніки, згідно з якою сучасна структура басейну є результатом спільного впливу геодинамічних процесів і сил, викликаних переміщенням і взаємодією літосферних плит. Поряд із відомими планетарними процесами, на формування Донбасу, розміщеного на південній околиці Східноєвропейської плити (СЄП), вплинули конвергентні процеси, що відбувалися на ній, та мембранні зусилля, створені під час переміщення плити вздовж меридіана.

З'ясовано, що осадконакопичення, вулканізм, інверсія геотектонічного режиму, палеогеотемпературний режим, який зумовив високий ступінь метаморфізму вугілля на Донбасі, визначаються конвергентними процесами, що відбувалися на південній околиці СЄП у фанерозої.

Ключові слова: Донецький басейн, геодинаміка, тектоніка, мобіліська концепція, осадконакопичення, вулканізм.

Вступ. Проведені дослідження засвідчили, що геодинамічні умови рифею і фанерозою на Донбасі, як околиці Східноєвропейської платформи (СЄП), відрізнялися. На відміну від рифею, у палеозої СЄП перебувала в умовах періодичних стискань, на тлі яких утворювалися локальні зони вторинних полів розтяжних напруг. Із цими локальними зонами і пов'язане формування структур Донбасу.

Як показав огляд попередніх розроблених моделей формування Донбасу, вони ґрунтуються на двох механізмах утворення локальних розтяжних напруг. В основі першого механізму лежить явище напруженого розриву (з розкриттям тріщини) холодної літосфери (за моделями А.К. Міхальова, В.Я. П'янкова, В.А. Разницина та ін.), другий – пов'язує утворення вторинного поля з в'язким розривом пластичної (прогрітої) літосфери (у моделях А.В. Чекунова, А.Ф. Грачова, В.К. Гавриша та ін.). У згаданих моделях другої групи утворюваний грабен посідає центральну частину області прогрітої літосфери. Але регіональне прогрівання такого масштабу мало б викликати певні зміни в породах Українського щита (УЩ) і Воронежського кристалічного масиву (ВКМ). Та їх не виявлено, тож механізм, розкритий у першій групі моделей, видається переконливішим.

Мета. Визначити етапи формування Донецького басейну та окреслити періоди формування газоносності. Науково обґрунтувати геодинамічну модель Донбасу на засадах мобіліської концепції тектоніки.

Матеріали та методи досліджень. Матеріалом для публікації слугували виробничі звіти, геофізичні дослідження, наукові публікації та польові й аналітичні дослідження порід вугільного і безвугільного Донбасу, які провели автори.

Виклад основного матеріалу. Земля є сфероїдом, а її зовнішня оболонка складається із жорстких літосферних плит, які, переміщуючись, пристосовуються до змінної кривини еліпсоїда обертання. Їхня деформація викликає появу так званих мембранних напружень [25, 26].

Механізм закладення Донецького басейну

Під час переміщення плити з низьких широт у високі виникають напруги розтягнення, а в разі зворотного переміщення – стиснення. Унаслідок розтягування в тілі плит літосфери утворюються «рухомі» тріщини [25], тобто континентальна літосфера розколюється взавдовжки не одночасно, а локально та стрибкувато, в ослаблених зонах раніше, жорстких – пізніше. Просування розломів одностороннє, від океану до континенту, залишені позаду тріщини розширюються й подовжуються.

Величина мембранних напружень, за даними С.І. Шермана, Ю.Г. Дніпровського [28] і Л. Туркотта [26] сягає 6,7 кбарів. Особливо великий вплив вони мають на так звані критичні (20–25°) широти, де утворюються глобальні зони сколювання.

М.В. Чирвінський і В.Б. Сологуб [27] на підставі аналізу палеокліматичних умов під час

накопичення осадів ДДЗ з'ясували, що в палеозої СЄП активно переміщалася в субекваторіальних широтах і в девоні мала субширотне простягання. У періоди D₁–D₂; C₁–C₃ відбувалося переміщення СЄП до полюса (до того ж у карбоні величина переміщення майже вдвічі більша), а в D₂–D₃, C₃–P₁, P₁–P₂ – до екватора. З нижнього девону до триасу відбувалося переміщення СЄП у межах 15–20° пд. ш. – 20–23° пн. ш.; з триасу до палеогену – від 20–23° пн. ш. до 25–32° пн. ш. [17, 27] (табл. 1).

Таблиця 1.

Характеристика тектонічних рухів СЄП у палеозої

| Період | Напрямки переміщення [17] | Переважаючі умови | Потужність відкладів на Донбасі, м |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| D ₂ – D ₃ | До екватора | Стиснення | 700,0 (D ₃) |
| D ₃ – C ₁ | До полюса | Розтягування | 3000,0 (C ₁) |
| C ₁ – C ₂ | До полюса з поворотом | Розтягування зі зрушенням | 7000,0 (C ₂) |
| C ₂ – C ₃ | До полюса | Розтягування | 2300,0 (C ₃) |
| C ₃ – P ₁ | До екватора з поворотом | Стиснення зі зрушенням | 2000,0 (P ₁) |
| P ₁ – P ₂ | До екватора | Стиснення | 100,0 (P ₂) |
| T – P | До полюса | Розтягування | не підраховано |

Переміщення мало нерівномірний характер, змінювалася швидкість, кути повороту й напрямки руху, що впливало на величину розтяжних мембранних зусиль і потужність нагромаджуваних осадів. Найбільша потужність осадів у Дніпровсько-Донецькій западині (ДДЗ) характерна для карбону, коли переміщення було найбільшим і рух стабільним, на відміну від мезозою й девону. У середньому девоні, ранньому й середньому карбоні відбувалося розтягнення й максимальне нагромадження осадів, а в пізньому девоні, пізньому карбоні, пізній пермі – триасі – стиснення.

Збіг умов накопичення осадів з напрямком переміщення СЄП дає змогу припустити чималий внесок мембранних напруг у загальну суму сил, які сформували Донбас. У ДДЗ ці тектонічні рухи проявилися в активізації процесів галокінезу та зміни умов нагромадження осадів і пов'язані з такими фазами: бретонська (D₃/C₁), судетська (C₁/C₂), заальська (P₁/P₂), пфальцьська (P₂/T₁), адигейська (J₂/J₃), новокімерійська (кімерідж), ларамійська (J₃/P) і піренейська (харківський ярус).

Ці напруги ініціювали розколювання й розсування блоків кори. Зусилля були спрямовані від краю до центру континенту вздовж осі розсування (а не від осі розсування до країв, як у моделі В.А. Разниціна). Водночас максимальні зусилля були зосереджені на «відколі» тріщини. Такий механізм передбачає клинувату за простяганням і трикутну в розрізі форму басейну, що утворюється на континентальній околиці. Природно, що місце закладання девонського грабена було приурочено до рифею, оскільки ця ділянка кори була менш міцною, порівнюючи з Українським і Воронежським кристалічними масивами. Формування басейну відбувалося стрибкувато з південного сходу на північний захід.

Виокремлений геофізичними дослідженнями Новоузенський палеозойський грабен, розміщений також на південній околиці СЄП на північний схід від Донбасу (на продовженні Пачелмського), має клинувату форму, а потужність осадових відкладів, що виповнюють його, становить приблизно 15 км. Його будова й розміщення аналогічні Донецькому, що дає змогу припустити однаковий механізм їхнього закладання.

У разі зворотного руху плити (до екватора) з'являються горизонтальні стиснення. Стиснення осадових порід, що складаються із шарів різного речовинного складу, зумовило утворення осадового басейну лінзуватої форми (двоопуклої) – модель Прайса [29]. Таку ж будову має осадова товща Складчастого Донбасу.

У сучасному тектонічному плані Донбас – це антиклінорій, у нижньопалеозойському структурному поверсі – синклінальна складка. Складки другого порядку, що ускладнюють північний борт антиклінорія, мають асиметричну будову (у антикліналей північні крила положисті, південні – стрімкі). У праці [28] засвідчено наявність у центральній частині ДДЗ і Донбасу зони розуцільнення, яка виділяється зниженою швидкістю поздовжніх хвиль. Формування Донбасу за моделлю Прайса також підтверджується особливостями палеозойського тектонічного циклу: накопичення осадов (D + C + P₁) → початок підняття (C₃/P₁) → складчастість (P₁/P₂), відповідно до якого складчастості передувало підняття.

Геофізичні дослідження засвідчують [9] різні прояви в гравітаційному полі південного й північного крайових розломів Донбасу, які можна пояснити різною природою цих порушень. Південний крайовий розлом давніший. У його підшві лежить глибинний регматичний розлом, з рухами якого в рифейський час пов'язане закладення рифейського грабена. Північний розлом – молодший (палеозойський?), утворився внаслідок розтягування кори зі зрушенням під час переміщення плити вздовж меридіана на північ. Зазначені особливості: пізніше утворення північного розлому та його стрибкуватий розвиток з південного сходу на північний захід підтверджено в праці [8].

Асиметрія гравіметричних аномалій Донбасу дає змогу припустити участь у його утворенні горизонтальних сил зі зрушеннями складника, спрямованого вздовж простягання басейну. Зсувні переміщення близько 20 км зафіксовані в мезозої вздовж північного крила Донбасу [5, 20]. Поява таких деформацій у D₃–C₁, C₂–C₃, P₂–T₂ зумовлена рухом плити до екватора, під час якого виникає ортогональна система зсувних деформацій, орієнтована під кутом 45° до напрямку стискань. Участь у будові осадової товщі Донбасу зсувних зусиль підтверджується особливостями велико- і середньоамплітудних порушень [5, 25], у формуванні басейну – характером гравітаційних кривих. У працях [8, 10, 11, 13, 14] зазначено, що материкові рифтові зони характеризуються великими симетричними негативними аномаліями Буге, пов'язаними з осадовими відкладами низької щільності. При широкій рифтовій долині в центральній частині трапляються позитивні аномалії, пов'язані з розтягуванням літосфери й проникненням основних порід. Такий характер аномалій притаманний рифейським грабенам, що утворилися внаслідок глобальних розтягувань. Геофізичні дослідження [9] підтверджують асиметричний характер поля сили тяжіння для Донбасу. Асиметричний характер аномалій установлений для рифту Мертвого моря, структур Нової Зеландії, Тонга, Алеут тощо, утворення яких пояснюється участю горизонтальних сил із чималими зрушеннями [9]. Оскільки для рифтових структур характерні симетричні аномалії, то асиметричний характер гравітаційного поля не засвідчує генетичного зв'язку між палеозойським Донецьким басейном і рифтогенезом.

Фізичне моделювання [18] показало, що зміщення осі басейнів на північний схід можливе тільки внаслідок періодичної дії горизонтальних стискувальних зусиль із чималим складником зрушень. Донбас має таку саму будову: за геофізичними даними вісь рифейського грабена зміщена на північний захід від осі палеозойського та північний схід (мезозойський прогин) від осі мезозойського. Осі прогинів субпаралельні. Оскільки будова прогинів, розміщених на півдні плити, аналогічна, то можна припустити, що й геодинамічні процеси, які їх сформували, подібні. Отже, субпаралельність осей прогинів, характер аномалій сили тяжіння, відомості про зсувні дислокації осадової товщі дають змогу стверджувати, що горизонтальні сили зі зрушеннями брали участь у формуванні Донецького басейну.

У геологічній історії розвитку Донбасу велику роль відіграють постдіагенетичні процеси, перетворені осадові відклади. Під час дослідження палеогеотемпературних умов осадової товщі Донбасу й навколишніх структур виділено [1] контакти порід, які характеризуються різним ступенем постдіагенетичних перетворень – палеогеотемпературні неузгодження (ПГН), які свідчать про зміну інтенсивності або природи процесів (екзогенні (розмиття), ендегенні (ендогенне вогнище, тектоніка)) на окремих відтинках часу. Основною геологічною ознакою, що характеризує вплив конвергентних процесів, є наявність

стратиграфічних незгод, пов'язаних зі значним підняттям і розмиттям відкладів, супроводжуване ПГН.

У досліджуваних структурах відповідно до даних [6, 7] час найбільшого підняття й розмиття відкладів не завжди збігається з ПГН (табл. 2).

Таблиця 2.

Час найбільшого підняття й розмиття відкладів

| Структура | Час найбільшого підняття й розмиття відкладів | | | | | | |
|----------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | C ₁ /C ₂ | | | T ₃ | | | |
| Прип'ятська западина | | | | | | | |
| ДДВ | | D ₃ /C ₁ | P ₁ /P ₂ | | | | K ₂ /P ₁ |
| Донбас | | | P ₁ /P ₂ | | | J ₃ | K ₂ /P ₁ |
| Східне Передкавказзя | | | P - T | | J ₁ /J ₂ | J ₂ /K ₁ | |
| Примітка. | T ₃ | - палеогеотемпературні неузгодження. | | | | | |

У Прип'ятській западині виділено два ПГН. Перше – C₁/C₂ – регіональне – зумовлене прогинанням западини й зануренням осадової товщі (максимальна температура прогрівання (t_{max} – 80 °С), друге – (тріас?) – локальне – пов'язане з появою ендегенного вогнища (t_{max} – 150 °С). Унаслідок впливу потужнішого джерела тепла відклади північної зони характеризуються вищим ступенем катагенетичних перетворень; температурні ізолінії мають специфічну зональну форму – у вигляді замкнених кривих зі збільшенням температури до центру. Тому сучасне геотермічне поле Прип'ятської западини має асиметричну форму, зумовлену накладенням регіонального й локального термічних полів.

У ДДЗ виділено одне передверхньопермське ПГН (t_{max} – від 100 до 220 °С), яке за часом збігається з початком інверсії геотектонічного режиму на Донбасі. Величини максимальних палеотемператур закономірно збільшуються з північного заходу на південний схід, від бортів до центру й заглибки. На одних глибинах за однакової потужності відкладів t_{max} на Донбасі становить 350 °С, у ДДЗ – 220 °С, що не можна пояснити тільки регіональним зануренням.

У передпізньопермський час джерело підвищення температур розміщувалося на південному сході Східного Передкавказзя. Його вплив зумовив закономірне зменшення температур з південного сходу на північний захід і максимальне прогрівання палеозойських відкладів у передпізньопермський час на Східному Передкавказзі → Донбасі → ДДЗ. На наступних етапах нагромадження осадів відклади не зазнавали жорсткіших термобаричних умов. За часом і напрямком дії характер палеогеотемпературних полів збігається з конвергентними процесами, що відбувалися на півдні СЄП. Відстань джерела унеможливила вплив на породи ДДЗ і Прип'ятської западини, палеогеотемпературне поле якої зумовлене, найімовірніше, процесами, що відбувалися на заході СЄП.

У ДДЗ, на відміну від Донбасу, прояви вулканізму в девоні приурочені до субмеридіональних порушень. З позицій запропонованої моделі можна пояснити: для умов Донбасу і ДДЗ південний борт (УЩ) піднятий стосовно північного (ВКМ), що свідчить про асиметрію глибинної будови й дає змогу припустити наявність глибинного розлому північно-західного простягання, поверхня якого слугувала провідником магматичних флюїдів з астеносфери й сприяла створенню великих магматичних резервуарів, приурочених до зон січних (субмеридіональних і субширотних) розломів. Активізація будь-якого напрямку зумовлювала приуроченість магматичних проявів до цих порушень (рис. 1). З огляду на те, що до середини девону Прип'ятська, Дніпровська й Донецька западини розвивалися відокремлено [22], то розтягнення, викликане переміщенням СЄП до полюса, викликало в Прип'ятській і Донецькій западинах розтягнення субширотних розломів, у ДДЗ – субмеридіональних.

Переміщення СЄП уздовж меридіана на північ, що почалося в середньому девоні, зумовило: активізацію рухів розтягу субширотним глибинним розломом, магматизм і створення (за порівняно короткий відтинок часу) з окремих западин єдиної Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецької мегаструктури (ПДДМ), а також нагромадження сульфатно-

карбонатних осадов цього віку. Із цим же періодом пов'язане закладення північного крайового розлому, що відбувалося стрибкувато й локально у вигляді окремих порушень. Активність тектонічних процесів на сході, північному заході й півночі СЄП до цього часу знизилася й істотного впливу на дальше формування тектоніки ПДДМ вони не мали. Геодинамічні процеси на півдні СЄП впливали на нерівномірність рухів (вертикальні й горизонтальні) блоків УЩ й Приазовського масиву. У Донецькому басейні ці переміщення зумовили закладення порушень і структур, просторово й генетично пов'язаних з глибинними розломами (Криворізько-Павлівський і Великоанадольський скиди, Вовчанська улоговина, флексурні складки Донецько-Макіївського району тощо).



Рис. 1. Східний фланг південної стінки Стельського кар'єру при в'їзній дорозі. Ін'єктивні субвертикальні та агломератуваті текстури трахіандезитів і порфіритів субвулканічного тіла, що прориває відклади «білого» й «сірого» девону (фото Н.В. Вергельської)

Зворотний рух СЄП у середині верхнього девону зумовив появу зсувних стиснень і сприяв зменшенню нагромадження осадов. Унаслідок підняття Чернігівсько-Брагінського виступу відбулося відокремлення Прип'ятської западини й надалі ця структура розвивалася самостійно.

З кінця девону і (або) початку карбону відбувається новий етап переміщення СЄП до полюса, який тривав до середини пермі. Центр прогину кам'яновугільного басейну нагромадження осадов розміщувався на північ від девонського, що підтверджують геофізичні дані. Нерівномірні стрибкуваті переміщення, викликані конвергентними процесами на північній околиці океану Тетис зумовили зміну регіональних трансгресивно-регресивних циклів, а рух блоків – локальних.

Таким чином, вулканізм, інверсія геотектонічного режиму на Донбасі, особливості палеогеотемпературних перетворень осадової товщі, особливості гравітаційного поля пояснюються дією різних сил і процесів, пов'язаних з переміщенням літосферних плит.

Ґрунтуємося на твердженні про те, що щільність гірських порід земної кори, літосфери й речовини глибших сфер Землі є найважливішою характеристикою їхніх фізичних властивостей і фазового стану, хоч у яких умовах вони були сформовані. Ця характеристика залежить від положення конкретного гірничопородного об'єкта в гравітаційному полі

планети й створює складну дискретність її будови в режимах постійних і змінних у часі ротаційних зусиль [3].

Зони розуцільнення в земній корі й глибинах приводять до істотних переміщень і обміну масами енергії поглинання тепла з його найактивнішим носієм – воднем – і утворенням ендотермальних сполук, а в зонах стиснення – ендотермічних сполук і режимів екранів. Компоненти з меншою щільністю переміщуються із зон стиснення й заповнюють місткіші зони розуцільнення, у яких зосереджують поклади піднятих із глибин і навколишніх зон стиснення відсепарованих легших, порівнюючи з попередніми осередками, мінералів і флюїдів.

Перебудова структур приводить до утворення в літосфері як вулканогенних, так і вулканогенно-осадових колекторів. Унаслідок перетворення в осадовій товщі під впливом вулканізму та інверсії геотектонічного режиму колектори наповнюються флюїдами та відбувається перерозподіл газу в товщі через створені тектонічними порушеннями шляхи міграції [4]. Взаємозв'язок магматичних проявів і тектонічних порушень пришвидшує перерозподіл газів у Донецькому басейні та ДДВ.

В основі запропонованого механізму утворення палеозойського басейну лежить явище пружного розриву (з розкриттям тріщини) холодної літосфери під дією локального розтягу. Поява вторинного поля розтягування викликана мембранними силами. Аналіз геолого-тектонічних особливостей структур дає змогу уточнити механізм утворення Донбасу. Це басейн асиметричної будови. З одного боку він обмежений глибинним регматичним розломом, а з іншого – нормальним скидом із субпаралельного простягання до нього. Утворення цих структур зумовлено одночасним зсувними рухом уздовж глибинного розлому й горизонтальним розтягуванням, перпендикулярним розлому. Породи рифейського грабена стали «слабкою» корою СЄП у зв'язках з Українським і Воронезьким кристалічними масивами, що й стало причиною формування Донецької западини в девоні. На цьому механізмі формування западин ґрунтується геодинамічна модель розвитку тектоніки регіону.

Отже, чергування локальних полів стиснення й розтягування в середньому девоні – тріасі, що зумовили закладення девонського грабена, формування поздовжньої складчастості й асиметрію гравітаційного поля, викликані мембранними зусиллями, які утворюються під час переміщень Східноєвропейської плити вздовж меридіана.

Донбас у *палеозої – мезозої* розмістився на південній околиці СЄП і являв собою внутрішньоконтинентальну клинувату морську затоку океану Тетіс. Між континентальним схилом і острівними дугами були басейни, у яких відбувалося нагромадження морських, прибережних, лагунно-континентальних відкладів. Конвергентні процеси, що відбувалися в Середземноморському поясі, зумовили формування структур, розміщених на півдні СЄП.

У мезозої Донецький басейн вирізняється інтенсивними інверсійними тектонічними процесами, унаслідок яких були виведені на поверхню й зім'яті в складки відклади карбону. Для осадової товщі Донбасу характерний поздовжній тип складчастості, який свідчить про пластичність літосфери на окремих (перм, палеоген) етапах розвитку структури. Пластичність літосфери визначається її термічним станом. Розглянуті геодинамічні умови фанерозою засвідчили, що локальним, періодично активним, джерелом прогрівання регіону могли бути субдукції, що відбувалися на південній околиці СЄП. Про можливий зв'язок тектоніки Донбасу з рухами в Чорноморському регіоні зазначено в працях Лунгерсгаузена, А.В. Муратова, В.О. Корчемагіна, проте ніхто не досліджував цього питання. Завдяки працям А.А. Моссаковського, Л.П. Зоненшайн, А.М. Городницького, А.А. Бєлова, В.Г. Казьміна, О.С. Ступки, М.І. Павлюка та ін. [21, 22, 23] докладно досліджено літолого-фаціальні умови нагромадження осадів і тектонічні особливості південної околиці СЄП, що дало змогу сформуувати нині загальне уявлення про геодинаміку цього регіону.

Кінець пермі – початок тріасу. Відклади пермської системи, представлені верхнім і нижнім відділами, збереглися в Бахмутській і Кальміус-Торецькій улоговинах. Залягають майже без перерви на верхньокам'яновугільних теригенних, лагунних відкладах нижньої пермі й до кінця пермі (верхи крматорської світи) змінюються червоноколірними

алевролітами й аргілітами, зрідка пісковиками. Верхня перм (потужність 100 м) представлена континентальними відкладами (конгломератами і конгломератуватими пісковиками, червоноколірними глинисто-алевролітовими породами), потужність яких з північного заходу на південний схід зменшується. Літолого-фаціальні умови нагромадження пермських відкладів показують зміну умов накопичення осадов у верхній пермі (заальська фаза). Блоки, які утворюють Донбас (але не ДДЗ), до кінця нижньої пермі припинили занурення, що почалося з верхнього девону, і під впливом зусиль, спрямованих з півдня й південного сходу, набули регіонального нахилу на північний захід, де й почалося нагромадження морських осадов; областю знесення був УЩ (рис. 2а).

У пермі на північній околиці басейну Палеотетис відбувався підсув океанської плити літосфери (рис. 2б). Для зон субдукції характерні глибокофокусні землетруси й вулканізм, високі теплові потоки, зумовлені тертям плит, великі горизонтальні напруги стиснення [19]. Характерними умовами для Донбасу були такі: на південному сході – підняття й розмиття, на північному заході – прогин і нагромадження осадов, фаціальні зміни від глибоководних морських до континентальних (вапняки → солі → аргіліти). Літологічні типи відкладів і поширення фацій у розрізі пермі узгоджуються з геодинамічними умовами регіону.

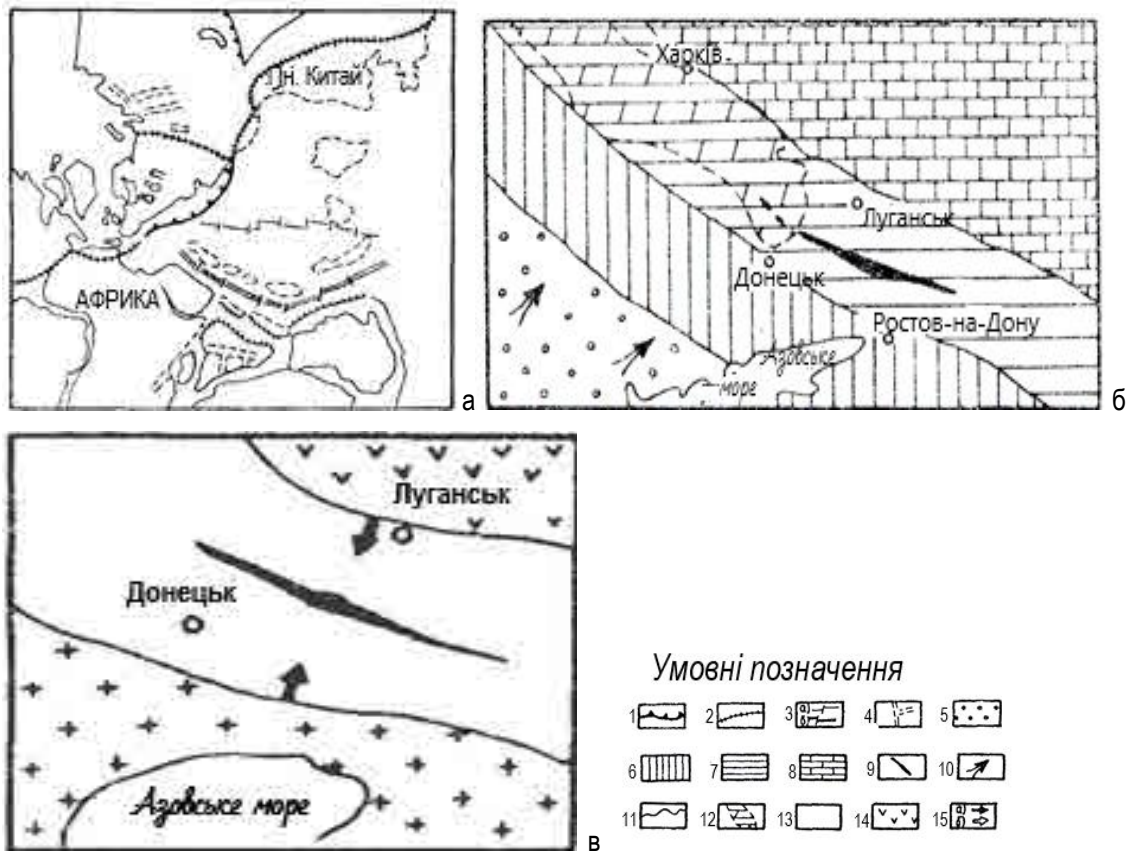


Рис. 2. Схеми геолого-тектонічних умов пермського періоду:

а) геодинамічна схема пермського періоду (за В.Г. Казьміним); б) схематична карта передбачуваного розподілу ситуацій седиментації в пермський час (за І.Ю. Лапкіним і Б.П. Стерліним); в) орієнтування осей головних нормальних напруг герцинського періоду (за В.О. Корчемагіним);

1 – зона субдукції; 2 – колізійні сугури; 3 – осі спредингу: а) відмерлі, б) активні; 4 – континентальні рифти; 5 – понижене узбережжя з переважно континентальними умовами; 6 – чергування заток, лагун і континентальних умов; 7 – чергування морських і лагунних умов; 8 – мілководне відкрите море; 9 – головна антикліналь Донбасу; 10 – переважний напрямок знесення; 11 – кордони континентів; 12 – зона сучасного поширення пермських відкладів; 13 – Український щит; 14 – Воронежський кристалічний масив; 15 – напрямки дії головних нормальних напруг: а) стискання, б) розтягування

Верхньопермське поле напруг Донбасу характеризується зміною орієнтування осі σ_1 , яке відбулося на кордоні ранньої й пізньої пермі: вісь σ_3 спрямована горизонтально, перпендикулярно до осьових площин поздовжніх складок; σ_1 – вертикально; σ_2 – горизонтально уздовж простягання басейну (рис. 2в). Ці умови характеризуються горизонтальним, навхрест простягання порід стисненням і вертикальним розтягуванням. Унаслідок дії цього поля сформувалася поздовжня складчастість басейну й генетично пов'язані з нею розривні порушення, що активізувалися субмеридіональними розломами. Відновлення напруг герцинського тектогенезу [16] свідчить про нестійкість орієнтувань осей σ_1 і σ_2 полів локального рівня, які відповідно до запропонованої моделі могли бути пов'язані з переміщеннями в зоні субдукції.

До пермського періоду приурочений другий донецький тектономагматичний цикл, до якого належать вивержені породи основного складу: шонкініти, монцонітпорфіри, трахідолерити і серія лампрофірових [7]. Виходи їхні представлені серіями розсіяних дайок, які приурочені до субширотних розломів, перпендикулярні напрямку дії сили. Тип вивержень – дайки – свідчить про розтягування літосфери, а склад порід – про глибини вогнища магми (40–50 км).

До кінця пермі (пфальцьська фаза) на Донбасі переважали напруги, спрямовані на формування басейну. Вони зумовили підняття поперечних блоків фундаменту (Ровеньківське підняття), формування поперечних складок і розривів. Субдукція створила додаткове джерело тепла, інтенсивність якого вглиб континенту зменшувалася.

У праці Г.І. Князева [15] встановлена послідовна зміна з південного сходу на північний захід: мезотермального поліметалевого (високотемпературного) → епітермального ртутного (середньотемпературного) → телетермального мідного і свинцево-цинкового зруденіння, що вказує на зниження температури гідротермальних процесів з південного сходу на північний захід. У цьому ж напрямку зменшується інтенсивність складчастості.

Зміна умов нагромадження осадових порід, зумовлена підняттям Донбасу, формування поздовжньої й поперечної дислокованості, зниження її інтенсивності й зменшення ступеня палеотемпературних перетворень з південного сходу на північний захід збігаються в часі з аналогічними процесами в інших регіонах, розміщених на південній околиці ССП, що свідчить про єдине джерело глобальних сил і узгоджується з геодинамічною моделлю розвитку регіону.

Триасовий період. Геодинамічні умови в триасі відрізняються від пермських – відбувається закриття зон субдукції і поява рифту. Низка терейнів і мікроконтинентів приєдналася до південної околиці [2, 12]. У триасі триває загальне підняття й скорочення площі акумуляції осадових порід, що почалося на Донбасі, а потім охопило всю ДДЗ. Знесення осадових порід відбувалося з УЩ, ВКМ і Донецької складчастої споруди, що підтверджують дані П.І. Степанова, А.З. Широкова, Д.Ф. Алімова [7], описані на території Західного Донбасу лінзи валунно-галькових утворень верхньопермського віку.

Підняття УЩ і Донбасу перешкоджало проникненню моря в ДДЗ, де панував озерний, озерно-болотний і озерно-річковий режими із сухим кліматом. Відклади триасу на території Донбасу представлені строкатоколірними континентальними відкладами (пісковики, конгломерати, залізняки, глини) червонооскольської, сребрянської та протопівської світ.

На півночі Донбасу відтоді почалося підсилення тектонічної активності й зародження мезозойського прогину, паралельного основним структурам басейну й розміщеного між Складчастим Донбасом і ВКМ.

Розміщення осей головних нормальних напруг і умови накопичення осадових порід відповідають напрямку й характеру сил, що діяли в регіоні. До кінця триасу геодинамічні умови в Тетісі змінилися.

Юрський період. Нижньоюрський період у Мезотетісі характеризується появою нової осі спредингу, утворенням басейнів накопичення осадових порід і активізацією субмеридіональних трансформних розломів, якими води південних морів проникали на північ. Цей процес супроводжувався магматичними явищами й тектонічними рухами, найінтенсивнішими в середній юрі. Особливо потужний вулканізм виявлений у Криму й на Кавказі [22, 23].

Відклади юрської системи на Донбасі представлені: тоарським, ааленським, байоським, батським, келовейським, оксфордським ярусами. Починаючи з нижньої юри, відбувається занурення басейну. Розріз верхньоюрських морських відкладів закінчується щільними глинистими оолітовими вапняками, що переходять у строкатоколірні лагунні та континентальні відклади. З кімерійськими фазами пов'язане поновлення вулканічної діяльності на Донбасі (бат) – третій донецький цикл, до якого належать андезити, трахіандезити, андезито-базальти, трахідацити. Магматичні тіла тяжіють до розривів і складок субмеридіонального простягання та найпоширеніші вздовж південної околиці, у північно-західній частині трапляються зрідка.

Активізація рухів субмеридіональними глибинними розломами зумовила диференційоване занурення блоків, що підтверджується різною потужністю юрських осадов. Підсилення магматичної діяльності, характер тектонічного поля відповідають геодинаміці регіону.

Крейдяний період. У крейді (австрійська фаза) відбулися істотні зміни в історії розвитку океанічної кори Тетіса [23]. У цей період напрямок руху Африки щодо Європи змінився: відбулося значне скорочення простору на сході Середземномор'я (коса субдукція), що привело до утворення нової осі розсування. На Донбасі відклади крейдової системи широко розвинені на півночі, півдні та сході, їхня загальна потужність досягає 650 м.

Нижньокрейдові (континентальні) відклади розвинені локально; верхньокрейдові (морські) – залягають на розмитій поверхні різних горизонтів палеозою й мезозою (кімерійські й австрійська фази), представлені всіма ярусами; вони перекриваються, з розмиттям, палеогеновими відкладами (ларамійська фаза). Літолого-фаціальні умови нижньої крейди відповідають підняттю, верхньої – опусканню, що охопило ДДЗ, Донецький кряж і більшу частину УЩ.

На Донбасі найактивніші тектонічні процеси – складчастість, порушення, збільшення амплітуд розривних порушень – у верхньокрейдову епоху (австрійська, субгерцинська і ларамійська фази) виявлені на північному борті.

За геофізичними даними на південь від Донецька розміщена ділянка земної кори, на якій немає гранітного шару, що пояснюється підняттям літосфери і його розмиттям [8]. З позицій запропонованої моделі ділянки можна обґрунтувати розміщенням Донбасу на північній околиці океану Тетіс і конвергентними процесами. Наявність кількох ділянок такого типу, які виділено на південній околиці СЄП [2], свідчить на користь останнього припущення.

Отже, інверсія, брак гранітного шару, утворення поздовжньої й поперечної дислокованості, відмінності в типах дислокацій на південному й північному бортах на Донбасі не суперечать впливу геодинамічних процесів, які відбувалися в Тетісі.

Вони зумовили чергування дії стиску та розтягу, які вплинули на умови нагромадження осадов (трансгресії і регресії), вулканізм і тектонічну активність. Країна СЄП і приєднані до неї мікроконтиненти або плити мали різноманітну форму й різні швидкості, що вплинуло на відмінності у формуванні структур у часі й геологічному середовищі.

На сьогодні геолого-геофізичними дослідженнями з'ясовано, що Дніпровська й Донецька западини розбиті глибинними розломами на блоки різної форми та розмірів. Особливе значення для Донбасу мають давні субмеридіональні розломи: Криворізько-Кременчуцький, Оріхово-Павлоградський, Кальміус-Джигінський. Вони перетинають всю СЄП з півдня на північ, представлені широкими зонами інтенсивної тріщинуватості та кулісоподібно розміщених стрімких складок і розломів. Рухи цих розломів властиві ще докембрію та тривають нині [23, 24].

Отже, зусилля, що утворилися внаслідок конвергентних процесів, які відбувалися на північній околиці Тетіса, передавалися субмеридіональним блокам фундаменту СЄП і впливали на будову південного борту Донбасу.

Визначено, що осадконакопичення, вулканізм, інверсія геотектонічного режиму на Донбасі, палеогеотемпературний режим, який зумовив високий метаморфізм вугілля, і

переміщення блоків фундаменту пов'язані з конвергентними процесами, що відбувалися на південній околиці СЄП у фанерозої.

Для фанерозойського етапу характерна дія різних за величиною й напрямком глобальних стискань, на тлі яких деформації розтягування локалізувалися у вузьких лінійних зонах. Формування локальних зон розтягування зумовлено мембранними напруженнями, що утворилися під час переміщення СЄП з південної півкулі в північну. Ці напруги зумовили появу субмеридіональних розтягів зі зрушеннями, спрямованими за простяганням басейну.

На кайнозойському етапі розвитку Донецького басейну інтенсивність глобальних тектонічних процесів помітно знизилася. У сформованій Євро-Азійській плиті Донецький басейн став внутрішньооплитковою структурою й наступні орогенні фази (савська, штирійська, аттична та ін.) позначилися здебільшого на зміні літолого-фаціальних умов. Розрядження напруги відбувалося на площинах вже наявних розломів, що поглиблювало їх і розширювало.

Найактивнішими сучасними зонами й осередками теплових аномалій на тлі активних висхідних неотектонічних рухів є бортові тектонічні межі Донецького грабена, центральні найувігнутіші, близькі до ізометричних у плані (за даними профілів глибинного сейсмічного зондування), депресії та поперечні, північно-східного простягання, Волновахсько-Чорнухінська та Єланчик-Ровеньківська зони розломів. Успадкованість контурів розвитку сучасних аномальних теплових потоків (вуглеводнево-водневих з найактивнішим теплоносієм воднем) свідчить про перспективу використання результатів дослідження теплових потоків у верхніх частинах земної кори як індикаторів шляхів міграції глибинних флюїдів.

Зони газоносності, визначені у вуглепородних масивах, пов'язані із тектонічними порушеннями різних періодів закладання, зокрема й дрібноамплітудною тектонікою, яка, найімовірніше, формувалася в період кайнозойського етапу розвитку Донбасу. Поповнення колекторів газами триває й нині, навіть у відпрацьованих вугільних виробках, що корелюється структурно-тектонічними особливостями вуглепородного масиву та пов'язане з тривалою дією розривних порушень.

Висновок. Унаслідок проведених досліджень з'ясовано, що формування Донбасу в неогей відбувалося за двох типів геодинамічних умов, які вплинули на грабенотворення, а саме: рифейських – визначаються переважальними глобальними розтягами, під дією яких грабен формується внаслідок розриву кори регматичними розломами; фанерозойських – характеризуються стисканнями, на тлі яких формування грабена відбувається в умовах локального поля розтягування.

Визначено, що чергування локальних полів стиснення й розтягування в середньому девоні – триасі, які зумовили закладення девонського грабена, утворення поздовжньої складчастості та асиметрію гравітаційного поля, викликані мембранними зусиллями, що утворюються під час переміщення СЄП уздовж меридіана. Визначено, що осадконагромадження, вулканізм, інверсія геотектонічного режиму на Донбасі та палеогеотемпературний режим, який зумовив високий метаморфізм вугілля, визначаються конвергентними процесами на південній околиці СЄП у фанерозої.

Запропоновано геодинамічну модель формування Донбасу з позицій тектоніки літосферних плит, згідно з якою сучасна структура басейну є результатом спільного впливу геодинамічних процесів і планетарних та екзогенних сил.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аммосов И.И., Горшков В.И., Гречишников Н.П. и др. Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых. Гл. 5. Эволюция палеогеотермии Доно-Днепровского прогиба. – М.: Наука, 1987. С. 67–97.
2. Белов А.А. Тектоническое развитие альпийской складчатой области в палеозое // Труды АН СССР, вып. 347. М.: Наука, 1981. 195 с.
3. Бондарчук В.Г. Движение и структура тектоносферы. К.: Наук. думка, 1970. 189 с.
4. Вергельська Н.В., Скопиченко І.М. Еволюція формування газоносності вугільних басейнів // Тектоніка і

стратиграфія. 2019. №46. С. 31–39.

5. *Височанський І.В.* Північний борт Дніпровсько-Донецької западини – особливості будови, перспективи нафтогазоносності і напрямки робіт // Тези допов. наук. наради «Тектогенез і нафтогазоносність надр України». Львів, 1992. С. 26–27.
6. *Гарецкий Р.Г.* Основные проблемы изучения тектоники платформ // Геотектоника, 1991. № 5. С. 3–14.
7. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Угольные бассейны и месторождения юга Европейской части СССР / Под ред. И.А. Кузнецова, В.В. Лапушина, М.Л. Левенштейна и др. М.: Гос. научн.-техн. изд-во лит. по геол. и охране недр. 1963. Т. 1. 1209 с.
8. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины / В.К. Гавриш, Г.Д. Забелло, Л.И. Рябчун и др. // Глубинное строение и геотектоническое развитие. К.: Наукова думка, 1989. 203 с.
9. *Голыздра Г.Я.* Комплексная интерпретация геофизических полей при изучении глубинного строения земной коры. М.: Недра. 1988. 212 с.
10. *Грачев А.Ф.* Рифтовые зоны Земли. М.: Недра. 1987. 284 с.
11. *Исаев Е.Н., Развалеев А.В.* О соотношении рифтогенного и дорифтового структурных планов (на примере Красноморского рифта) // Геотектоника. 1977. № 2. С. 39–52.
12. *Казьмин В.Г.* Коллизии и рифтогенез в истории океана Тетис // Геотектоника. 1989. № 5. С. 14–23.
13. *Кинг Б.* Основные черты структуры рифта Грегори в Кении и Северной Танзании // Система рифтов Земли. М.: Мир, 1970. С. 103–110.
14. *Кнопов Л., Белше Дж.* Гравиметрические наблюдения в районе рифта Мертвого моря // Система рифтов Земли. М.: Мир, 1970. С. 15–25.
15. *Князев Г.И.* Замкнутые и фрагментарные рудные пояса. К.: Наукова думка. 1973. 256 с.
16. *Корчемагин В.А.* Геологическая структура и поля напряжений в связи с эволюцией эндогенных режимов Донбасса: Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. М., 1984. 48 с.
17. *Кравчинский А.Я.* О сопряженности палеомагнитных и палеогеографических перестроек на Восточно-Европейской платформе // Проблемы движений и структурообразования в коре и верхней мантии. Тез. докл. Всесоюзного тектон. совещания. М.: ИГД АН СССР. 1983.
18. *Малкин В.В., Шеменда А.И.* О механизме континентального рифтогенеза // Геотектоника. 1989. № 5. С. 24–35.
19. Новая глобальная тектоника (тектоника плит). М.: Мир. 1974. 465с.
20. Особенности тектоники Днепровско-Донбасского авлакогена (роль сдвигов в структурообразовании) / И.В. Высочанский, В.В. Крот, И.И. Чебаненко и др. К.: ИГН НАН Украины (препринт), 1990. 42 с.
21. *Павлюк М.І.* Геодинамічна модель формування структури Кримсько-Чорно-морської нафтогазоносною провінції // Геол. і геох. 1998. № 1(102). С. 26–32.
22. *Пимоненко Л.И.* Динамика формирования Донецкого бассейна // Геотехническая механика: Межвед. сб. научных трудов ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 1998. С.47–51.
23. *Пимоненко Л.И.* Новая геодинамическая модель формирования Донбасса // Геология полезных ископаемых: Сб. научных трудов НГА Украины. Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999. Том 1, вып. 6. С. 87–91.
24. *Приходченко В.Ф.* Палеотектонічні умови утворення та закономірності просторового розташування малоамплітудних розривів вугленосної формації Донбасу: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мін. наук: 04.00.16 / НАН України, Ін-т геології і геохімії горючих копалин. Львів, 1998. 34 с.
25. *Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Глобальная эволюция Земли. М.: МГУ, 1991. 443 с.
26. Структурная геология и тектоника плит / Под ред. К. Сейферта. М.: Мир, 1990. Т. 1. С. 374–376.
27. *Чирвинская М.В., Соллогуб В.Б.* Глубинная структура Днепровско-Донецкого авлакогена по геофизическим данным. К.: Наукова думка, 1980. 178 с.
28. *Шерман С.И., Днепровский Ю.Г.* Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы ее изучения. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 1989. 155 с.
29. *Ярошевский В.* Тектоника разрывов и складок. М.: Недра, 1981. 245с.

REFERENCES

1. *Ammosov I.I., Gorshkov V.I., Grechishnikov N.P. etc.* 1987. Petrology of organic substances in the geology of combustible minerals. Chapter 5. Evolution of paleogeothermy of the Don-Dnieper depression. Moskva: Nauka. P. 67–97. – in Russian

2. Belov A.A. 1981. Tectonic development of the Alpine folded region in the Paleozoic. *Proceedings of the USSR Academy of Sciences*. Vol. 347. Moskva: Nauka. 195 p. – in Russian
3. Bondarchuk V.G. 1970. Movement and structure of the tectonosphere. Kiev: Nauk. dumka. 189 p. – in Russian
4. Vergelskaya N.V., Skopichenko I.M. 2019. Evolution of gas-bearing formation of coal basins. *Tectonics and stratigraphy*. №46. P. 31–39. – in Ukrainian
5. Vysochansky I.V. 1992. North side of the Dnieper-Donetsk depression-features of structure, prospects of oil and gas potential and directions of works / Thesis. dop. Science. meeting «Tectogenesis and oil and gas potential of Ukraine». Lviv. P. 26–27. – in Ukrainian
6. Garetsky R.G. 1991. The main problems of studying the tectonics of platforms. *Geotectonics*. № 5. P. 3–14. – in Russian
7. Geology of coal and oil shale deposits of the USSR. Coal basins and deposits of the south of the European part of the USSR / Ed. Kuznetsova I.A., Lapushina V.V., M.J. Levenstein et al. Moskva: Gos. scientific and technical izd-vo lit. by geol. and subsoil protection. 1963. Vol. 1. 1209 p. – in Russian
8. Geology and oil and gas content of the Dnieper-Donetsk depression / V.K. Gavrish, G.D. Zabello, L.I. Ryabchun et al. // Deep structure and geotectonic development. Kiev: Naukova Dumka, 1989. 203 p. – in Russian
9. Golizdra G. Ya. 1988. Integrated interpretation of geophysical fields in the study of the deep structure of the earth's crust. Moskva: Nedra. 212 p. – in Russian
10. Grachev A.F. 1987. Rift zones of the Earth. Moskva: Nedra. 284 p. – in Russian
11. Isaev E.N., Razvaleev A.V. 1977. On the ratio of riftogenic and pre-rift structural plans (on the example of the Red Sea rift). *Geotektonika*. No. 2. P. 39–52. – in Russian
12. Kazmin V.G. 1989. Collisions and rifting in the history of the Tethys Ocean. *Geotectonics*. No. 5. P. 14–23. – in Russian
13. King B. 1970. Main features of the structure of the Gregory rift in Kenya and Northern Tanzania // System of the Earth rifts. Moskva: Mir. P. 103–110. – in Russian
14. Knopov L., Belshe J. 1970. Gravimetric observations in the area of the Dead Sea rift // System of the Earth rifts. Moscow: Mir. P. 15–25. – in Russian
15. Knyazev G.I. 1973. Closed and fragmented ore belts. Kiev: Naukova Dumka. 256 p. – in Russian
16. Korchemagin V.A. 1984. Geological structure and stress fields in connection with the evolution of endogenous regimes of Donbass: Author's abstract. diss. ... doct. geol.-min. sciences/ Moskva. 48 p. – in Russian
17. Kravchinsky A. Ya. 1983. On the conjugation of paleomagnetic and paleogeographic rearrangements on the East European platform / Problems of movements and structure formation in the crust and upper mantle. Abstracts. report All-Union tecton. meetings. Moskva: IGD AN SSSR. – in Russian
18. Malkin V.V., Shemenda A.I. 1989. On the mechanism of continental rifting. *Geotektonika*. No. 5. P. 24–35. – in Russian
19. New global tectonics (plate tectonics). Moskva: Mir. 1974. 465 p. – in Russian
20. Peculiarities of tectonics of the Dnieper-Donbas aulacogen (the role of shifts in structure formation) / I.V. Vysochansky, V.V. Krot, I.I. Chebanenko et al. Kiev: IGN NAS of Ukraine (preprint), 1990. 42 p. – in Russian
21. Pavlyuk M.I. 1998. Geodynamic model of the formation of the structure of the Krimsko-Chorno-Morskoy naphtha and gas province. *Geol. i geokh.* No. 1 (102). P. 26–32. – in Ukrainian
22. Pimonenko L.I. 1998. Dynamics of the Donetsk Basin Formation. *Geotechnical Mechanics: Interv. Sat. scientific works of IGTM NAS of Ukraine*. Dnepropetrovsk. P.47–51. – in Russian
23. Pimonenko L.I. 1999. A new geodynamic model of the formation of Donbass. *Geology of useful minerals: Collection of articles. scientific works of the NSA of Ukraine*. Dnepropetrovsk: RIK NGA of Ukraine. Vol. 1, iss. 6. P. 87–91. – in Russian
24. Prikhodchenko V.F. 1998. Paleotectonic understanding of the regularities of spacious roztashuvannya of small-scale production in coal-bearing formations Donbas: Author's abstract. dis. ... Dr. Geol.-min. Sciences: 04.00.16 / NAN Ukraini, In-t geologii i geohimii combustible copalins. Lviv. 34 p. – in Ukrainian
25. Sorokhtin O.G., Ushakov S.A. 1991. Global evolution of the Earth. Moscow: Moscow State University. 443 p. – in Russian
26. Structural Geology and Plate Tectonics / Ed. K. Seyfert. Moskva: Mir. 1990. Vol. 1. P. 374–376. – in Russian
27. Chirvinskaya M.V., Sollogub V.B. 1980. Deep structure of the Dnieper-Donets aulacogen according to geophysical data. Kiev: Naukova Dumka. 178 p. – in Russian
28. Sherman S.I., Dneprovsky Yu. G. 1989. Stress fields of the earth's crust and geological-structural methods of its study. Novosibirsk: Science. Siberian branch. 155 p. – in Russian

29. Yaroshevsky V. 1981. Tectonics of ruptures and folds. Moskva: Nedra. 245 p. – in Russian

**L.I. Pymonenko, I.M. Skopychenko, V.V. Vergelska
GEODYNAMICS OF DONETS BASIN FORMATION**

The proposed model is based on the mobile concept of tectonics, according to which the modern structure of the basin is the result of the joint influence of geodynamic processes and forces caused by the movement and interaction of lithosphere plates. Along with the known planetary processes, the formation of Donbass, located on the southern edge of the Eastern European Plate (SEP), was influenced by convergent processes occurring on its southern edge and the membrane forces created by moving the plate along the meridian.

It is established that sedimentation, volcanism, inversion of the geotectonic regime, paleogeotemperature regime, which caused a high degree of coal metamorphism in Donbass, are determined by convergent processes that took place on the southern edge of the EPS in the Phanerozoic.

Key words: Donetsk basin, geodynamics, tectonics, mobile concept, sedimentation, volcanism.

**Л.И. Пимоненко, И.М. Скопиченко, В.В. Вергельская
ГЕОДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ДОНЕЦКОГО БАСЕЙНА**

Предложенная модель базируется на мобилистской концепции тектоники, в соответствии с которой современная структура бассейна является результатом совместного влияния геодинамических процессов и сил, вызванных перемещением и взаимодействием литосферных плит. Наряду с известными планетарными процессами, на формирование Донбасса, расположенного на южной окраине Восточноевропейской плиты (ВЕП), повлияли конвергентные процессы, происходившие на ее южной окраине, и мембранные усилия, созданные при перемещении плиты вдоль меридиана.

Установлено, что осадконакопления, вулканизм, инверсия геотектонического режима, палеогеотемпературный режим, который обусловил высокую степень метаморфизма угля на Донбассе, определяются конвергентными процессами, происходившими на южной окраине ВЕП в фанерозое.

Ключевые слова: Донецкий бассейн, геодинамика, тектоника, мобилистская концепция, осадконакопления, вулканизм.

Інститут геотехнічної механіки ім. Полякова НАН України, м. Дніпро, Україна

Людмила Пимоненко

<https://orcid.org/0000-0002-5598-6722>

ДУ «Науковий центр гірничої геології, геоecології та розвитку інфраструктури НАН України», м. Київ, Україна

Ігор Скопиченко

e-mail: i.skopychenko@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0333-2698>

Вікторія Вергельська

e-mail: vvika10@meta.ua

<https://orcid.org/0000-0002-6206-710X>

Стаття надійшла: 20.12.2019