

## Временная последовательность процессов геодинамического развития территории Украины от эоархея до антропогена

© О. Б. Гинтов, 2017

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 26 декабря 2016 г.

Узагальноно матеріали виконаного в Україні за останні 20 років геодинамічного вивчення більшості її регіонів з метою об'єднання результатів регіональних досліджень у геоісторичний ряд від еоархею до антропогену. Для цього використано матеріали стратиграфії та ізотопної геохронології, які отримані українськими і закордонними вченими в межах території досліджень. Показано, що в сучасних уявленнях про характер геодинамічних процесів у межах території України головну роль відіграють результати детального вивчення глибинної будови кори і мантії, виконаного Інститутом геофизики НАН України на високому методичному рівні за участю багатьох міжнародних організацій. Використано методи сейсмометрії і сейсмотомографії, гравіметрії і магнітометрії, геотермії і глибинної електрометрії, а також палеомагнітні й тектонофізичні дані. Згідно з отриманими даними, геодинамічні процеси на основі механізмів тектоніки плит чітко проявляються на дослідженій території починаючи з еоархею. Для еоархею і мезоархею характерні швидше за все плюмтектонічні механізми. Сучасна структура Українського щита остаточно сформувалася між 1,80 і 1,70 Ga одночасно з утворенням мікроконтиненту Сарматія, його об'єднанням з Фенноскандією і Волго-Уралією у континент Балтика на фоні утворення суперконтиненту Пангея-І. У дискусійному порядку розглянуто геодинамічні процеси в мезо-неопротерозої і ранньому палеозої. Показано, що аж до середнього девону вони були зосереджені головним чином у західній частині України на території сучасних Карпат і Волино-Подільської плити. Ці процеси привели до утворення Волино-Поліського прогину (середній рифей), Галицько-Білостоцького басейну (пізній рифей), що з'єднував океани Прототетис і Протояпетус на захід від Балтики, формування на його місці орогену Пракарпат (венд), утворення Дністровського перикратона (пізній венд), що закінчувався на південному заході Передгалицьким передгірним прогином, зоною TESZ і морем Торнквіста. Незалежне вивчення відкладів венду України палеомагнітними і тектонофізичними методами показало, що у цей період віртуальна вісь обертання Землі була орієнтована субпаралельно сучасним широтам. Активізація геодинамічних процесів на решті території України почалась у девоні після формування суперконтиненту Євроамерика: утворення Донбаського відгалуження океану Палеотетис і Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецького рифтогену з можливою субокеанічною корою (пізній девон); відділення від Східноєвропейської платформи Мізійської, Скіфської і Туранської мікроплит і перетворення їх в терейни Палеотетису; об'єднання Гондвани з Лавразією і утворення суперконтиненту Пангея (перм — триас). Палеомагнітне вивчення пермських і триасових дайкових комплексів східної частини Українського щита дало змогу вибрати між двома моделями Пангеї (A і B) модель A (вегенерівську). У мезозої—кайнозої активні геодинамічні процеси зосередилися в альпійському обрамленні Східноєвропейської платформи: утворення океану Мезотетис і його західної частини Альпійського Тетису (середній триас); розкриття Таврійського басейну (середній триас—рання юра), його закриття і формування складчастості порід таврійської серії у Північній Добруджі і Західному Криму (середня юра); розкриття Західночорноморського (пізня крейда) і Східночорноморського (еоцен) басейнів; закриття океанів Альпійського Тетису, рух на схід мікроплит Алькапа і Тіссія-Дакія та формування дуги Карпатського орогену (пізня крейда—неоген); колізійний процес у Кримсько-Чорноморському регіоні у варіанті двоярусної тектоніки плит і підняття Гірського Криму (пліоцен—теперішній час). Згідно з отриманими даними, механізми палеогеодинаміки і сучасної геодинаміки — плито- і плюмтектоніка — цілком адекватно пояснюють усі геологічні та геофізичні явища, які спостерігаються в природі, особливо ті, що встановлені у другій половині XX і в XXI ст.

**Ключові слова:** геохронологія, стратиграфія, геодинаміка, Україна, докембрій, фанерозой.

**Введение.** Геодинамическое изучение территории Украины, выполняющееся в Институте геофизики НАН Украины на принципах новой глобальной тектоники с конца прошлого — начала текущего столетия (в первую очередь это геолого-геофизические, палеомагнитные, тектонофизические и сейсмотомагнитные исследования), показало, что плитотектонические и плюмтектоногенные процессы сопровождают тектогенез практически с момента образования твердой оболочки Земли, а глубинные и суперглубинные потоки флюидов продолжают формировать химико-минералогический состав литосферы до настоящего времени.

Украина с этой точки зрения является прекрасным объектом исследования, так как здесь на ее земную поверхность выходят горные породы от эоархея до антропогена, а кора и мантия представлены как континентальным и субконтинентальным, так и океаническим (субокеаническим) типом. Глубинное строение коры и мантии территории Украины, без которого невозможно полноценное суждение о характере геодинамических процессов, изучено геофизическими методами достаточно детально и на высоком методическом уровне при участии многих международных организаций.

Первые немногие обобщения результатов плито- и плюмтектоногенной интерпретации этих данных, выполненные уже в текущем столетии и относящиеся к территории Украины в целом, изложены, например, в работах [Гинтов, 2005; Bogdanova et al., 2006, 2008 a; Гинтов, Пашкевич, 2010; Starostenko et al., 2010; Старостенко и др., 2011]. Большинство же работ геодинамического направления, базирующихся на современных геофизических данных, освещает отдельные регионы либо результаты по отдельным профилям и методам. И хотя эти работы имеют огромное значение для исследования геодинамики Украины (они будут названы в ходе дальнейшего изложения), остается нерешенной задача *общей геоисторической последовательности геодинамических процессов в ходе формирования земной коры* изученной территории, что в геологической науке является первостепенным.

В 2016 г. коллективом Института геофизики НАН Украины завершены исследования по 5-летней теме "Геодинамическое развитие литосферы Украины, формирование и размещение месторождений полезных ископаемых" (научный руководитель темы академик НАН Украины В. И. Старостенко). Получены новые важные результаты практически по всем основным реги-

онам. Они резко расширили наши знания о геодинамических процессах, приближая к пониманию их взаимосвязи и общего хода.

В данной статье автор, как участник работ по теме и руководитель раздела "Особенности геодинамического развития регионов Украины", попытался объединить результаты региональных исследований в геоисторический ряд от эоархея до антропогена, используя при рассмотрении этой хронологической последовательности материалы стратиграфии и изотопной геохронологии, полученные украинскими и зарубежными учеными в текущем столетии [Степанюк, 2000; Bogdanova et al., 2004, 2006, 2008 a, 2012; Геохронология ..., 2005, 2008; Степанюк и др., 2013; Лобач-Жученко и др., 2013; Лобач-Жученко, 2014; Пономаренко и др., 2014; Щербак, Артеменко, 2014; Lobach-Zhuchenko et al., 2014 и др.]. Недостающие отрезки геодинамической истории, например, рифей или ранний палеозой, были восстановлены по материалам таких известных работ, как [Хаин, Божко, 1988; Зоненшайн и др., 1990; Хаин, Селавинский, 1991 и др.].

Приступая к рассмотрению хронологической последовательности геодинамических процессов при становлении литосферы Украины, кратко остановимся на результатах региональных исследований.

В тектоническом отношении значительная часть территории Украины относится к юго-западной окраине Восточно-Европейской платформы (ВЕП), а в геодинамическом — Евразийской плиты (ЕП) (рис. 1). С северо-востока на юго-запад основными платформными структурами здесь являются Днепровско-Донецкая впадина с толщиной коры 35—40 км; Украинский щит (УЩ), толщина коры которого изменяется от 37 км в центральной части до 60 км в шовных зонах; Волыно-Подольская и Южно-Украинская моноклинали с толщиной коры 47—49 км.

На западе и юге платформу обрамляет Альпийский складчатый пояс Карпат и Горного Крыма, между которыми расположены киммериды Северной Добруджи. Толщина земной коры в этом складчатом поясе составляет 40—50 км, постепенно утоняясь в сторону Черноморской впадины (17—20) и Паннонской депрессии (25—30 км). Промежуточное положение между платформой и Альпийским поясом занимают, согласно Тектонической карте Украины [Тектонічна ..., 2007], эпиорогенные зоны — Рава-Русская и Скифская с толщиной коры 45 км. Наши исследования показали, что

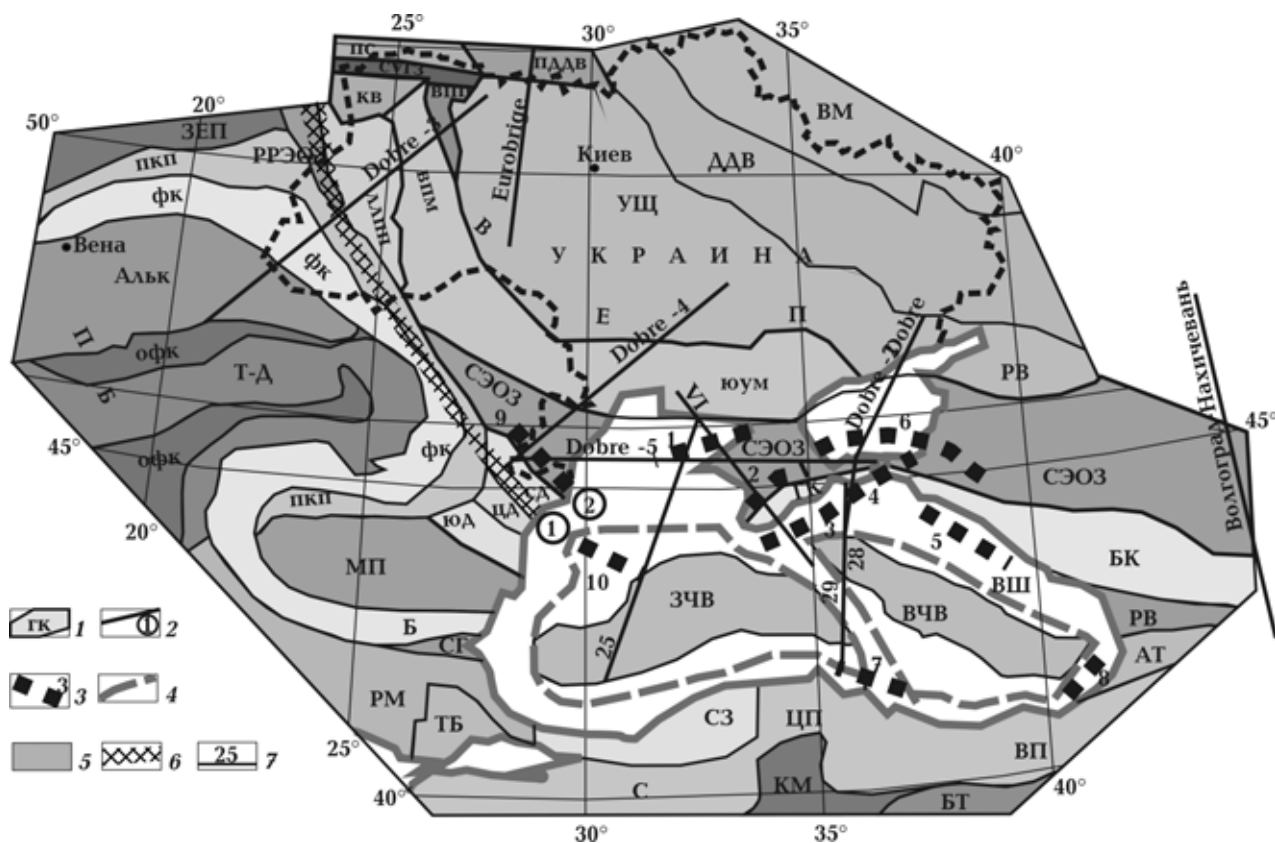


Рис. 1. Схема основных тектонических структур района исследований. Составила А.В. Муровская. Компиляция материалов и карт, по [Окау, Tüysüz, 1999; Hippolite, 2002; Csontos, Vörös, 2004; Тектонічна ..., 2007; Юдин, 2007; Афанасенков и др., 2007; Konerding et al., 2010]: 1 — контуры основных тектонических структур и их обозначения; 2 — разломы и их номера (1 — Печенега-Камена, 2 — Кагульский); 3 — прогибы и их номера (1 — Каркинитский, 2 — Предгорнокрымский, 3 — Сорокина, 4 — Керченско-Таманский, 5 — Туапсинский, 6 — Индоло-Кубанский, 7 — Синопский, 8 — Гурийский, 9 — Преддобруджинский, 10 — Истринский); 4 — глубоководные впадины; 5 — океаническая и субокеаническая кора; 6 — Трансъевропейская шовная зона; 7 — геотраверсы и профили ГСЗ. Алк — Алькапа, АТ — Аджаро-Триалетия, Б — Балканиды, БК — Большой Кавказ, ВВП — Восточно-Европейская платформа, ВМ — Воронежский массив, ВП — Восточные Понтиды, ВПМ — Вольно-Подольская моноκлиналь, ВПП — Вольно-Полесский прогиб, ВЧВ — Восточно-Черноморская впадина, ВШ — вал Шатского, ДДВ — Днепровско-Донецкая впадина, ЗЕП — Западно-Европейская платформа, ЗЧВ — Западно-Черноморская впадина, КВ — Ковельский выступ, КМ — Киршехирский массив, ЛЛПП — Львовско-Люблинский палеозойский прогиб, МП — Мизийская платформа, ОФК — площади широкого распространения офиолитовых комплексов (Вардар, Мелиата и др.), ПБ — Паннонский бассейн, ПДДВ — Припятско-Днепровско-Донецкая впадина, ПКП — Предкарпатский прогиб, ПС — Полеская седловина, РВ — Ростовский выступ, РВп — Рионская впадина, РМ — Родопский массив, РРЭОЗ — Рава-Русская эпиорогенная зона, С — Сагария, СГ — Среднегорье, СД — Северная Добруджа, СЗ — Стамбульская зона, СУГЗ — Североукраинская горстовая зона, СЭОЗ — Скифская эпиорогенная зона, ТБ — Тракийский бассейн, Т-Д — Тиссия-Дакия, УЩ — Украинский щит, ФК — Флишевые Карпаты, ЦД — Центральная Добруджа, ЦП — Центральные Понтиды, ЮД — Южная Добруджа, ЮУМ — Южно-Украинская моноκлиналь.

Скифская эпиорогенная зона является микроплитой — “осколком” ЕП, который отделялся от нее, превращаясь в террейн океана Тетис, и снова присоединялся к ней с надвиганием чехла микроплиты на платформу [Гинтов и др., 2014 б; Фарфуляк, 2015].

Благодаря использованию новейших методов и программных комплексов по палинспастическим реконструкциям и фишн-трек анализу [Гинтов, Мычак, 2011; Накапелюх и др.,

2011], тектонофизическим и геотермическим методам [Гинтов и др., 2014 б; Кутас, 2016], выполнена детальная палеогеодинамическая реконструкция Восточных Карпат, в основу которой положены работы по проектам PANCAKE (профиль ГСЗ DOBRE-3 [Starostenko et al., 2013]) и CELEBRATION 2000 (профиль CEL 05 [Grad et al., 2006]). Установлена первоначальная минимальная ширина осадочного бассейна (460 км), глубина (до 14 км) и его сокращение по латера-

ли за счет складчато-надвиговых процессов на 74 % при общем объеме денудации 48 %.

Впервые А. В. Муровской выполнен геодинамический анализ развития региона Добруджи, который представляет собой связующее звено между Карпатами, Западно-Черноморской впадиной и Крымом. Полученные данные позволили, в частности, выдвинуть новую концепцию формирования сейсмогенной зоны Вранча, обусловленного всесторонним горизонтальным сжатием литосферы [Гинтов и др., 2014 б, 2015].

Глубинное строение Черноморской впадины детально изучено геофизическими методами [Starostenko et al., 2004; Старостенко и др., 2010; Кутас, 2010; Егорова и др., 2012; Кобелев, 2016 и ссылки в них]. Важным с геодинамической точки зрения является выделение в ее пределах Западно- и Восточно-Черноморской микроплит, резко отличающихся своими кинематическими особенностями, и восстановление механизма формирования как самой впадины, так и структур Горного Крыма, обусловленного движением Африканской и Аравийской плит, раскрытием и закрытием океана Тетис, процессами в нижней, средней и верхней мантии [Паталаха и др., 2003 б, 2006; Гончар и др., 2004; Гобаренко, Егорова, 2010; Муровская, 2012; Гончар, 2013, 2015; Гинтов и др., 2014 б и др.]. В этой связи большое значение имеют сейсмотомографические исследования Института, позволившие выявить скоростные, а значит и вещественные неоднородности в мантии до глубины 800—2500 км [Гейко и др., 2006; Бугаенко и др., 2008; Цветкова, Бугаенко, 2012; Егорова и др., 2012; Цветкова и др., 2016 и др.]. Не останавливаясь на деталях, можно отметить, что скоростная структура мантии под территорией Украины отражает субширотное северо-западное простираие зоны перехода от ЕП к Альпийско-Гималайскому поясу до глубины ~ 700 км. Глубже (750—800 км) простираие скоростных неоднородностей мантии становится северо-восточным и они пересекают как Евразийскую плиту, так и Альпийско-Гималайский пояс (рис. 2), по [Цветкова и др., 2016]].

Уточнен и детализирован механизм верхнедевонского рифтогенного формирования Днепровско-Донецкой впадины [Куприенко и др., 2010; Пашкевич и др., 2014; Rusakov, Pashkevich, 2017], который оказался трансензионным при праводвиговой составляющей от 50 до 300 км. При этом рифтогенная впадина была заложена на докембрийской праводвиговой зоне разломов.

При использовании плитотектонических механизмов для изучения истории геологического развития территории Украины феноменальным на первый взгляд кажется то, что эти механизмы с самого начала были применены к раннедокембрийским регионам [Каляев, 1976; Глевасский, 1983; Геодинамическая ..., 1993], в то время как первые публикации по Крымско-Черноморскому региону [Юдин, 1996; Паталаха и др., 2003 б] и Украинским Карпатам [Паталаха и др., 2003 а] появились позже. Но этому есть свое объяснение.

Украинский щит — наиболее крупная геоструктура Украины, занимающая (вместе со склонами) более трети ее территории и к концу прошлого века наиболее детально изученная глубинными геофизическими методами. В итоговой монографии "Литосфера Украины" [Соллогуб, 1986] глубинной структуре УЩ посвящено почти в три раза больше места, чем любому другому региону, а схема поверхности астеносферы, представленная в этой работе по данным глубинной геофизики, наиболее детально именно в пределах УЩ.

К 70-м—80-м годам прошлого столетия уже была практически известна мегаблоковая структура УЩ и разделяющие мегаблоки глубинные зоны разломов — Орехово-Павлоградская, Криворожско-Кременчугская, Одесско-Ядловская (Тальновская), Суццано-Пержанская, вытягивающиеся на сотни километров за пределы щита [Рябенко, 1970; Каляев и др., 1980; Соллогуб, 1986 и ссылки в них]. Была доказана их преобладающая сдвиговая природа, установлены направления перемещения берегов, а также неоархейский и раннепротерозойский возраст зон сдвига [Гинтов, Исай, 1984, 1988]. В итоге была подготовлена глубинно-геофизическая база для выделения в пределах УЩ микроплит и их перемещений, начиная с неоархея.

Начавшийся по инициативе Г. И. Каляева (1976) переход к плитотектоническому изучению структуры и динамики УЩ был подкреплен палеомагнитными исследованиями изверженных пород региона, проведенными здесь под руководством Н. П. Михайловой с 1965 г. Особенно успешным оказалось изучение палеомагнетизма анортозитов Коростенского и Корсунь-Новомиргородского полутонов, что дало возможность С.-А. Элмингу, Н. П. Михайловой, О. М. Русакову, С. Н. Кравченко, А. М. Глевасской в 1990-е годы восстановить положение палеомагнитных полюсов протерозоя и определить траектории относительного перемещения Фенноскандии и Сарматии в период 2,0—1,7 млрд



лет тому назад [Elming et al., 1993, 1998]. В настоящее время эти данные подтверждены палеомагнитными исследованиями В. Г. Бахмутова и его сотрудников [Бахмутов, Иосифиди, 2010; Кировоградский ..., 2013], а также тектонофизическими данными О. Б. Гинтова, С. В. Мычка и их сотрудников [Гинтов, Мычка, 2014]. Геолого-геофизические и палеомагнитные данные были использованы С. В. Богдановой вместе с сотрудниками НАН Украины, Лундского университета (Швеция) и Московского государственного университета (Россия) для построения модели вращения и перемещения мегаструктур ВЕП ("Балтики") — Фенноскандии, Волго-Уралии и Сарматии 1,8—1,75 млрд лет назад [Bogdanova et al., 2012].

Таким образом, геологическое развитие литосферы Украины на основе тектоники плит начиная с рубежа около 2 млрд лет назад можно считать доказанным. Для того, чтобы оспорить это, необходимо отнести палеомагнетизм, палеоклиматологию, полевую тектонофизику, сейсмотомографию к "лженаукам". Сюда же можно причислить и некоторые технологии, например GPS-технологию, технологию расчета механизмов очагов землетрясений, технологию палеореконструкций и построения сбалансированных геологических разрезов и др.

После рубежа 1,8—1,75 млрд лет назад палеомагнитными и тектонофизическими исследованиями в платформенной Украине движение и вращение литосферных плит доказано для венда—палеозоя, а для мезозоя—кайнозоя отброшены всякие сомнения в ведущей роли плейт- и плюмтектоники при формировании украинских альпид.

Более сложный вопрос связан с геодинамическим развитием литосферы Украины в неогархее и раннем протерозое. Палеомагнитно-информативных пород возрастом старше 2 млрд лет на УЩ пока не обнаружено. Неогархейский возраст некоторых зон разломов, постулируемый тектонофизикой, также требует дополнительных доказательств. То же относится к интерпретации петрологии и структуры архейских и раннепротерозойских комплексов при отнесении их к разряду островодужных, сутурных и т. д. Хотя многие геолого-геофизические данные свидетельствуют о том, что восточная и центральная части УЩ в неогархее и раннем протерозое развивались в плитотектоническом режиме [Глевасский, Каляев, 1998; Глевасский, 2005; Гинтов, 2012, 2014, 2015], пока можно говорить только о гипотезах. Единственным твердо установленным фактом является сдвиговая

природа большинства зон разломов УЩ и ведущая роль горизонтальных движений при докембрийском структурообразовании.

Однако и этого уже немало. Субгоризонтальные перемещения блоков литосферы в раннем докембрии пока могут быть объяснены только с позиции конвективных движений мантийного вещества или растекания плюмов [Арясова, Хазан, 2013], так как гипотезы контракции и пульсации уже давно отвергнуты. Другими словами, мы все же приходим к необходимости рассмотрения тектонических процессов в неогархее—раннем протерозое с позиций современной геодинамики.

Исходя из полученных материалов, можно на основе Международной шкалы геологического времени (МШГВ) [Стратиграфічний ..., 2012] предложить такую последовательность установленных в настоящее время геодинамических процессов при формировании земной коры и литосферы Украины.

**Эогархей (4,0—3,6 Ga).** В пределах УЩ эогархейский комплекс эндербито-гнейсов и тоналитов развит в Побужье (максимальные цифры возраста по отдельным определениям составляют 3,65—3,78 Ga) и Приазовье (эндербиты, пироксениты новопавловского комплекса возрастом до 3,6—3,7 Ga) [Геохронология ..., 2005; Лобач-Жученко, 2014]. Этот гранулитогнейсовый комплекс, близкий к метаморфизованным в гранулитовой фации породам ТТГ ассоциации, известным на большинстве щитов мира, претерпел многократные наложенные процессы, термальную переработку и стресс-метаморфизм между 3,4—1,9 Ga (Побужье) и 3,4—2,0 Ga (Приазовье). Большинство исследователей относят его к первичной континентальной коре, выплавленной из базальтоидов первичной океанической коры (дополненной сиалическим материалом) под воздействием плюмов.

Выходы эогархейских пород УЩ разделены в настоящее время мегаблоками палео-, мезо-, неогархейских и палеопротерозойских комплексов, поэтому более серьезный геодинамический анализ для эогархея практически невозможен. Судя по тектонофизическим данным и палеореконструкциям для более поздних периодов, побужские и приазовские эогархейские комплексы во время своего формирования принадлежали разным континентам или микроконтинентам и никогда не составляли единого целого [Гинтов, Пашкевич, 2010; Гинтов, 2014].

Для более детально изученных эогархейских комплексов юго-западной Гренландии существуют субдукционные, обдукционные, коллизи-

онные и плюмовые модели [Лобковский и др., 2004], хотя их количество свидетельствует о нерешенности этого вопроса для эоархея в целом. В. Е. Хаин считает, что для эоархея более всего подходят обдукционная (образование пакета пластин океанической коры, надвинутых друг на друга) или плюмовая модель, так как субдукция палеоархейской океанической литосферы из-за ее сильной гидратации вряд ли возможна [Лобковский и др., 2004].

Плюмовой модели происхождения пород ТТГ ассоциации УЩ придерживается С. Б. Лобач-Жученко [Лобач-Жученко, 2014].

**Палеоархей (3,6—3,2 Ga).** Палеоархейский комплекс эндербитов, эндербито-гнейсов и тоналитов возрастом 3,3—3,4 Ga [Геохронология ..., 2005] и даже 3,5—3,6 [Lobach-Zhuchenko et al., 2014] пока встречен только в Западном Приазовье и Орехово-Павлоградской шовной зоне (в Одесском карьере Среднего Побужья цифры возраста 3,4 Ga получены в эоархейских эндербито-гнейсах на фоне реперных 3,65 Ga [Геохронология ..., 2005]). Этот ТТГ комплекс служит фундаментом для зеленокаменных структур Приазовья — Сорокинской, Косивцевской и др. И хотя считается, что метавулканы Косивцевской структуры интродуцированы гранитоидами добропольского (3,3 Ga) и шевченковского (2,8 Ga) комплексов [Геохронология ..., 2005], тектонофизическое изучение абсолютно подобной ей Сорокинской зоны показало, что это моноклинали, ограниченные сдвиговыми разломами. Поэтому внедрение гранитоидов могло произойти и значительно позже в результате их ремобилизации при сдвиге [Гинтов, 2009].

С геодинамических позиций к выяснению происхождения пород палеоархея УЩ могут быть применены те же критерии, что и к эоархею.

**Мезоархей (3,2—2,8 Ga).** В пределах УЩ развит один из наиболее древних (3,2—3,0 Ga) зеленокаменных комплексов Земли (Среднеприднепровский и частично Приазовский мегаблоки). Зеленокаменные пояса (ЗКП) такого же или даже несколько более древнего возраста известны только в Южной Африке (провинция Каапваль) и Австралии (провинция Пилбара).

Низы ЗКП УЩ представлены метаморфизованными толеитовыми базальтами, коматиитами и породами кремнисто-железистой формации [Геохронология ..., 2005] — образованиями, характерными и для других ЗКП и являющимися, скорее всего, метаморфизованной протоокеанической корой. Однако ЗКП УЩ залегает на породах протоконтинентальной коры, представленных биотитовыми и биотит-амфи-

боловыми гнейсами аульской и базавлукской толщ, распространенных в виде останцов среди широко развитых здесь плагиогранитоидов ТТГ формации, одновозрастных с ЗКП. Кроме того, на северо-восточной границе Среднеприднепровского и Приазовского мегаблоков (Васильковский участок), где Орехово-Павлоградская шовная зона (ОПШЗ) контактирует со Славгородским террейном, вскрываются тоналиты и гранат-биотитовые гнейсы возрастом 3,4—3,5 Ga [Геохронология ..., 2005; Lobach-Zhuchenko et al., 2014], которые также рассматриваются как участки протоконтинентальной коры. С другой стороны, в той же ОПШЗ изучены породы ультрабазит-базит-тоналитовой ассоциации (новопавловский комплекс) возрастом до 3,68 Ga, являющиеся фрагментами протоокеанической коры.

Все это привело Г. И. Каляева и Е. Б. Глеваского к выводу, что ЗКП УЩ принадлежат к древним примитивным островным дугам, которые были разделены океанической литосферой [Геолого-геофизическая ..., 2006]. Последняя уже в раннем протерозое (по нашим данным, около 2,45 Ga тому назад [Гинтов, 2014]) субдуцировала под Приазовский мегаблок с образованием Орехово-Павлоградской сутуры.

Однако, если относить ЗКП даже к примитивным островным дугам, необходимо предполагать, что в мезоархее уже должна была происходить пусть "примитивная", но субдукция. У нас пока таких доказательств для УЩ нет, так как тектонофизические данные свидетельствуют о деформациях горных пород в зонах разломов только начиная с неоархея. Поэтому и начало плитотектонических процессов рассматривается только с неоархея.

Конечно, каналы внедрения расплавов и флюидов в земную кору существовали и в раннем архее, но какова была их физическая природа и геометрические параметры, пока достоверно не известно. Судя по контурам развития мезоархейских комплексов Среднего Приднепровья и расположению эо- и палеоархейских массивов Побужья и Приазовья, каналы их внедрения не были прямолинейными, что характерно для раздвигов, тогда как прямолинейность — свойство зон субгоризонтального сдвига.

**Неоархей (2,8—2,5 Ga).** Самым важным в неоархейскую эру следует считать рубеж  $2,8 \pm 0,1$  Ga. Для этого времени тектонофизикой фиксируются первые сдвиговые зоны разломов (в Восточной микроплите, возможно для 3,0 Ga назад), первые мощные толщ кварцитов (больше всего их в Голованевской (ГШЗ), Ингулецко-

Криворожской (ИКШЗ) шовных зонах и ОПШЗ). В Западной микроплите произошла новая "вспышка" эндербитового магматизма (Литинский, Луполовский массивы, омоложение эндербитогнейсов гайворонского комплекса), в Восточной микроплите появились первые массивы плагио-микроклиновых гранитов (мокротомосковский, токовский комплексы) и новая "вспышка" интрузий плагиогранитов ТТГ формации (обиточенский, шевченковский и другие комплексы) [Геохронология ..., 2005].

В неоархее началось сближение Западного и Восточного микроконтинентов, устанавливаемое по сдвиговым перемещениям вдоль немногочисленных тогда еще зон разломов, структурам сжатия (рис. 3), и сокращение океанических бассейнов, разделявших эти микроплиты, а также Среднепридепровский и Приазовский мегаблоки (микроплиты). Подробно этот процесс рассмотрен в работах [Гинтов, Мычак, 2011; Гинтов, 2014, 2015].

Важно отметить, что процесс начала закрытия океанов, сближения микроконтинентов и их последующего раздвига, установленный нами самостоятельно, совпадает во времени с предполагаемым объединением архейских мегаблоков Земли в Пангею 0 [Хаин, Божко, 1988], закончившимся к рубежу 2,5 Ga, и ее распадом около 2,0 Ga.

**Палеопротерозой-I (2,5—2,0 Ga).** Рубеж 2,5 Ga (по МШГВ) или 2,6 Ga [Кореляційна ..., 2004], который принят как граница между археем и протерозоем, для украинского докембрия является до некоторой степени искусственным, по крайней мере, для западной и приазовской частей УЩ [Пономаренко и др., 2014], так как возраст скелеватской свиты криворожской серии (криворожия) 2,8 Ga, верхняя возрастная граница криворожия ~ 2,0 Ga [Геохронология ..., 2008]. То же можно сказать и о бугской серии ГШЗ: возраст кварцитов с. Шамраевка 2,8 Ga [Геохронология ..., 2005], а глиноземистых кварцитов с. Капитановка 2,0 Ga [Геохронология ..., 2008]. Между ними во временном ряду (пространственная соподчиненность пород не рассматривается, так как в разных разрезах (Завальевском, Хошеватском, Молдовском и др.) она разная и, что важнее всего, все эти разрезы располагаются в разломах, о чем должна идти речь особо) залегают различные гнейсы — дупироксеновые кристаллосланцы, биотитовые, кордиерит-силлиманитовые, графитовые, а также кальцифиры, железистые кварциты и карбонат-магнетитовые руды. Цифры возраста, определенные для некоторых разно-

видностей, не превышают 2,7; 2,6; 2,3; 1,9 Ga. Если не учитывать степень метаморфизма (она далеко не всегда коррелирует с возрастом), то бугская серия может быть возрастным аналогом криворожской, что и используется при геодинамической реконструкции неоархей—палеопротерозоя [Гинтов, 2012]. Супракрустальные породы тетеревской серии Вольнского мегаблока отлагались 2,3—2,1 Ga назад; приблизительно тогда же образовались дибровская, гуляйпольская и садовая свиты Приазовского мегаблока.

Как видим, на УЩ нет единого четкого рубежа между археем и протерозоем. Это еще раз доказывает, что мегаблоки щита еще в начале протерозоя были террейнами, развивались независимо друг от друга, а их глубинное строение в общем близко лишь настолько, насколько позволяли законы образования внешних оболочек Земли.

Геодинамические процессы в палеопротерозое-I были наиболее активными, так как сближение микроконтинентов сопровождалось в отдельных местах раздвигами, что привело к формированию Ингуло-Ингулецкого осадочного бассейна и началу образования Херсон-Смоленской шовной зоны (см. рис. 3). В центральной части УЩ образовалась густая сеть зон разломов, в том числе Тальновская и Криворожско-Кременчугская, которые отделили восточную часть Западного микроконтинента и западную часть Восточного, структурно оформив ГШЗ и ИКШЗ. К концу периода практически завершилось формирование криворожской и бугской серий, а также сформировалась росинско-тикичская гнейсово-амфиболитовая серия.

На севере началось сближение микроконтинентов — Фенноскандии и Сарматии, завершившееся в палеопротерозое-II субдукцией первой под вторую и коллизией.

На западе и северо-западе щита (Подольский и Вольнский мегаблоки) образовалась большая часть пород днестровско-бугской и породы тетеревской серий, бердичевский и житомирский комплексы гранитоидов.

Омоложение верхней части днестровско-бугской серии до палеопротерозоя-I [Геохронология ..., 2008] поднимает вопрос, что же является субстратом зоархейских эндербитогнейсов Побужья. Нижняя часть днестровско-бугской серии, относимая к тывровской толще дупироксеновых кристаллосланцев и гнейсов, не древнее палеоархей, поэтому не может быть субстратом. В зоархейских эндербитогнейсах есть линзы и ксенолиты ультраосновных по-



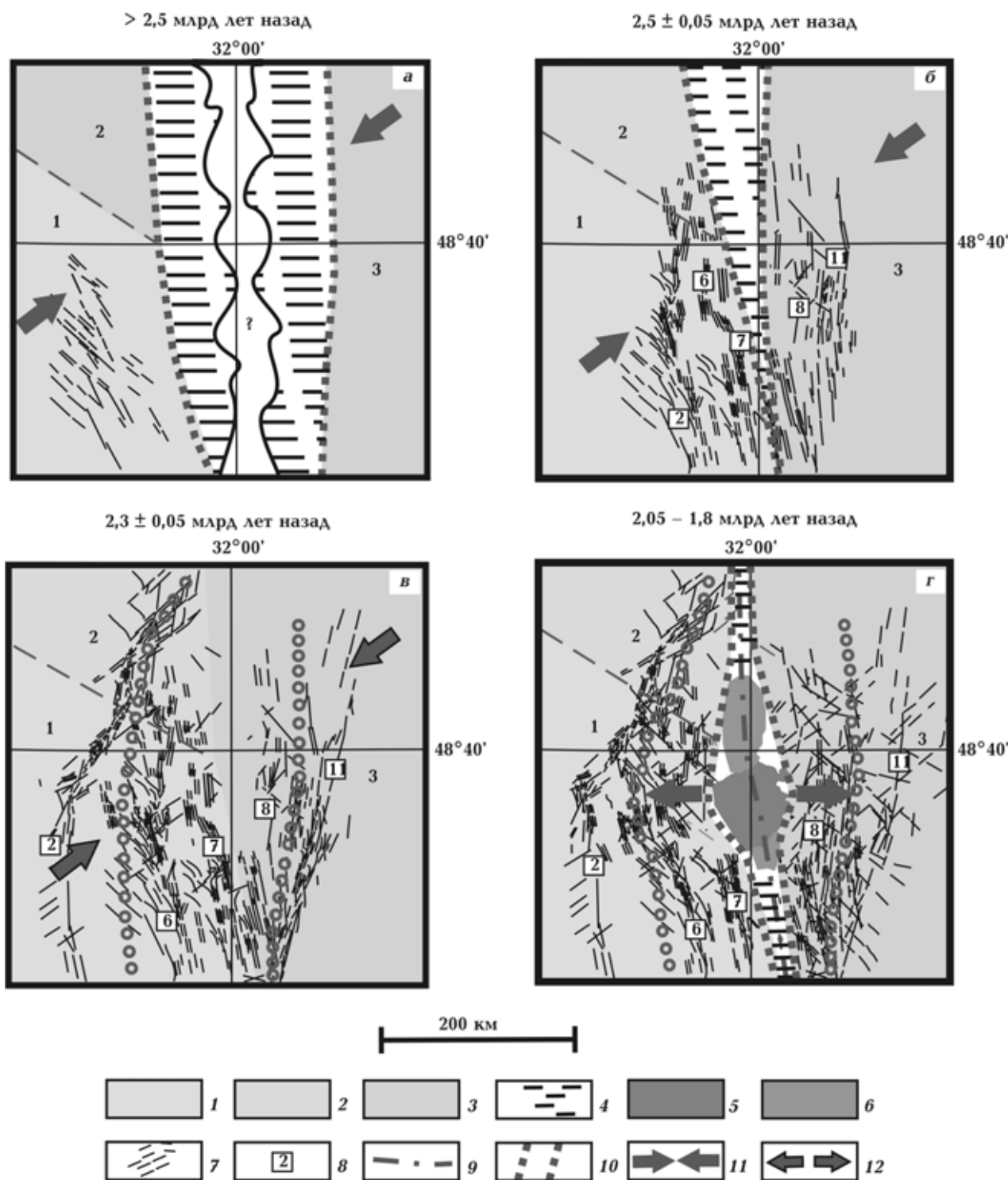


Рис. 3. Принципиальная схема перемещений Западной и Восточной микроплит в позднем архее—конце раннего протерозоя, по [Гинтов, Мычак, 2011 а, б]: 1—3 — усредненные составы земной коры микроплит в архее (*Западная*: 1 — горные породы Днестровско-Бугского гранулитового пояса, 2 — ро-синско-тикичский амфиболит-гранитовый комплекс); 4 — предполагаемая океаническая кора; 5 — гранитоиды новоукраинского комплекса; 6 — гранитоиды предполагаемого кировоградского комплекса; 7 — эшелонированные и элементарные сколы зон разломов; 8 — номера зон разломов в соответствии с работой [Гинтов, Мычак, 2011 б, рис. 4]; 9 — осевая линия трансрегионального шва Херсон—Смоленск; 10 — границы Западной и Восточной микроплит; 11 — направление сближения микроплит; 12 — направление раздвига микроплит.

род — метаортопироксенитов — с возрастом по циркону  $3,67 \pm 0,004$ — $3,485 \pm 0,033$  (метаморфическое событие) Ga [Лобач-Жученко и др., 2013]. Если это не будинированные дайки, то необходимо было бы специально выделить новую, эоархейскую толщу ультраосновных пород, являющихся продуктом древней океанической коры и протолитом эндербитогнейсов.

**Палеопротерозой-II (2,0—1,6 Ga).** Граница палеопротерозоя-I и палеопротерозоя-II, особенно его первая половина, отражает одну из самых мощных вспышек гранитоидного магматизма, в том числе плутонизма, на всем щите. В этот период образовались основные и кислые вулканисты клесовской серии и гранитоиды осницкого комплекса, сформировавшие юго-западную часть протяженного Осницко-Микашевичского магматического пояса, сланцы и метапесчаники пугачевской и топильнянской серий, а также целый ряд небольших интрузивных массивов основного и кислого состава в пределах Волынского мегаблока. Во время или после субдукции Фенноскандии под активную северо-западную окраину Сарматии сформировались Коростенский и Корсунь-Новомиргородский плутоны габбро-анортозитов и рапакиви и были заложены Овручская и Вильчанская впадины как компенсационные, согласно [Паталаха и др., 2004], прогибы, связанные с внедрением в верхнюю кору Коростенского плутона. В Приазовском мегаблоке образовались массивы субщелочных и щелочных гранитов каменногильского, октябрьского и южно-кальчикского комплексов. В зонах разломов Ингульского мегаблока прошли процессы активизации с формированием натровых метасоматитов — альбититов и сиенитов, месторождений урана и золота.

Все эти процессы привели к консолидации всех шовных зон УЩ, "спаиванию" мегаблоков и формированию микроконтинента Сарматия, после чего образовался и через весь щит параллельно его оси протянулся широкий пояс базитовых даек [Bogdanova et al., 2012].

Для рассматриваемого периода появляются надежные геофизические данные, подтверждающие плитотектонический характер геодинамических процессов. Материалы ГСЗ указывают на существование зоны субдукции Фенноскандии под Сарматию [Гинтов, Пашкевич, 2010], а тектонофизические и палеомагнитные данные — на поворот Сарматии против часовой стрелки на  $54^\circ$  при ее коллизии с Фенноскандией  $1,83$ — $1,75$  Ga назад [Гинтов, Мычак,

2014] и образовании ими вместе с микроконтинентом Волго-Уралия континента Балтика [Bogdanova et al., 2004]. Перед этим на УЩ образовалась последняя мощная система разломов широтного простирания (субботско-мошоринский этап).

Конец палеопротерозоя отличается сходством процессов консолидации сиалической коры на большинстве континентов мира. Это позволило высказать идею об образовании суперконтинента Пангея-I около  $1,7$  Ga назад [Хаин, Божко, 1988].

Заканчивая анализ геодинамических процессов в раннем докембрии, хотелось бы обратить внимание на то, что геологи нередко слишком упрощенно воспринимают результаты геологической интерпретации геофизических материалов, особенно таких, как ГСЗ или гравитационное моделирование. Из-за этого "фиксистский" подход иногда кажется предпочтительнее "мобилистского", так как слои земной коры и литосферной мантии, характеризующиеся определенными скоростными и плотностными параметрами, прослеживаются по латерали практически непрерывно и на глубинах одного порядка. Однако необходимо учитывать, что физико-геологический разрез литосферы не остается постоянным во времени, приспособляясь к ходу эндогенных и экзогенных процессов, изменяющих *PT*-условия в литосфере. Поэтому скоростные и плотностные модели отражают структуру и вещественный состав коры и мантии, сформировавшихся как до, так и после консолидации УЩ. Кроме того, понятия "гранитный", "диоритовый", "базальтовый" слои, "коромантийная смесь" носят условный характер в соответствии с усредненными скоростными и плотностными параметрами. Петрологически же в разных мегаблоках они могут иметь разный состав, учитывая, во-первых, неоднородность интерпретации геофизических данных (достаточно широкие пределы изменения определяемых скоростей и особенно плотностей в низах коры — до  $\pm 0,1$  км/с и до  $\pm 0,02$  г/см<sup>3</sup>) и, во-вторых, суммарное, иногда противоположное, влияние на состав коровых слоев процессов регионального метаморфизма, флюидных потоков, дифференциации глубинных расплавов и др.

**Мезопротерозой (ранний и средний рифей, 1,6—1,0 Ga).** В отличие от предыдущего периода, мезо- и неопротерозой в пределах территории Украины (юго-западной части Балтики) характеризуются достаточно резким переходом к относительно спокойному режиму гео-

динамического развития. Горизонтальные перемещения блоков сменились вертикальными при явном преобладании нисходящих движений и формировании синеклиз и рифтов.

Наименее геологически информативным на территории Украины оказался раннерифейский отрезок мезопротерозоя (1,6—1,35 Ga), в котором можно отметить только наращивание разреза Овручской и Вильчанской грабен-синклиналей кварцито-песчаниками и филлитовыми сланцами толкачевской и озерянской свит после рубежа 1,6 Ga (некоторые исследователи относят этот процесс к палеозою). В основном на этом отрезке происходил процесс тектонотермальной переработки (ТТП) архейских и раннепротерозойских комплексов фундамента, который подтверждается изотопными определениями гранитоидов Беларуси (Мазовецкий массив — 1,36 Ga).

В Украине то же могло происходить в пределах Вольно-Подольской плиты (ВПП), закрытой сейчас среднерифейско-венд-фанерозойским вулканогенно-осадочным чехлом. Во всяком случае, к западу от Балтики и на ее северной окраине в современных контурах Западной Европы в это время происходил дальсландский (гренильский) орогенез и готская эпоха ТТП [Хаин, Божко, 1988], что не могло не отразиться на породах фундамента ВПП.

Высокое стояние юго-западной части Балтики и отсутствие в пределах территории Украины заметных вертикальных движений блоков в период раннего рифея не помешало этому континенту, согласно палеомагнитным данным, переместиться на  $\sim 20^\circ$  из северных широт (современные координаты) к югу от экватора [Elming et al., 2006], что свидетельствует о непрерывности плитотектонических процессов.

После 1,35 Ga и до конца докембрия основные тектонические процессы на территории Украины были сосредоточены в пределах ВПП, в которой началось заложение Вольно-Полесского прогиба (вулканизм — 1,18 Ga, [Тектонічна ..., 2007], отложение континентальной (мелководной) полесской серии — 1,055 Ga [Рябенко, Михницкая, 2000]) — крайней юго-западной части протягивающейся на 700 км через Украину и Беларусь Вольно-Оршанской впадины. Отложение полесской серии максимальной мощностью 900 м в центре прогиба растянулось здесь на 0,35 Ga, т. е. перешло в поздний рифей.

Средний рифей в истории Земли отмечен объединением большинства основных плит в суперконтинент Родиния ( $\sim 1,1$  Ga назад), хотя

и время его формирования, и расположение составляющих его элементов вызывают споры. Не совсем понятно, когда распалась Пангея-I, но такой распад должен был произойти, так как время жизни суперконтинентов не превышает 0,3 Ga [Хаин, Божко, 1988].

**Неопротерозой (поздний рифей—венд, 1,0—0,542 Ga).** С этим периодом связано распространение океана Прототетис из Юго-Восточной Азии на запад (около 0,85 Ga он занял Средиземноморский регион), образование океана Протояпетус (венд) на месте современной Северной Атлантики и начало распада суперконтинента Родиния на Гондвану и Лавразию [Хаин, Божко, 1988]. В пределах Украины это выразилось в образовании глубокого Галицийско-Белостокского палеобассейна (рифта) с предполагаемой океанической корой, соединявшего океаны Прототетис и Протояпетус и примыкавшего на юго-западе и западе (на месте современных Карпат и Предкарпатского прогиба, т. е. зоны TESZ) к Балтике. Возможно, время от времени этот палеобассейн соединялся с Вольно-Полесским прогибом и заполнялся продуктами разрушения пород полесской серии, а затем вулканогенно-осадочными породами венда и палеозоя.

В венде (0,6—0,542 Ga), отложения которого занимали значительную часть Вольно-Полесского прогиба, произошла структурная перестройка юго-западной части Балтики (ВПП), связанная с активными процессами в Галицийско-Белостокском бассейне (ГББ). Это видно на структурном плане вольнской серии нижнего венда, образование вулканитов которой вначале было связано с разломами северо-восточной ориентировки, а позже — северо-западной [Геотектоника ..., 1990].

В верхнем венде началось формирование Днестровского перикратона преобладающего северо-западного простирания и верхневенд-фанерозойского чехла Балтики, т. е. превращение ее в ВЕП [Великанов и др., 1983].

Погружение Днестровского перикратона в западном, юго-западном и южном направлениях с удалением от докембрийской поверхности ВЕП происходило с ускорением и заканчивалось формированием глубокого предгорного Предгалицийского прогиба. Это свидетельствует о том, что на раннебайкальском и байкальском этапах в ГББ, по-видимому, формировался ороген (Пракарпаты, Прадобруджа), который был размыт в палеозое. В работах украинских и польских геофизиков [Гутерх и др., 1977; Соллогуб, 1986] описывается складчатая зона венд-

ского возраста, простиравшаяся под Внешними Карпатами в направлении Добруджи, а по данным [Сокур, 2008] песчаники верхнего венда Вольно-Подольи имеют геохимические характеристики осадков активной окраины и даже островных дуг, т. е. их снос происходил не с пассивной окраины Балтики, а, скорее, с юго-запада.

Геофизическими признаками Пракарпатского орогена и его предгорного прогиба могут быть структурно-скоростные особенности байкальско-каледонско-герцинского фундамента, зафиксированные на профиле DOBRE-3 [Starostenko et al., 2013]: здесь поверхность фундамента со скоростью более 6 км/с под Закарпатским прогибом образует поднятие амплитудой не менее 5 км, а к востоку от него (под Флишевыми Карпатами и Предкарпатским прогибом) — прогиб амплитудой около 16 км.

Подвижный характер ГББ сохранялся в палеозое после образования на месте океанов Протететис и Протояпетус раннепалеозойских океанов Палеотетис и Япетус (кембрий—ранний ордовик) [Зоненшайн и др., 1990б]. Соединявшее их море Торнквиста отделяло ВЕП от территорий Западной Европы и сохранялось до середины палеозоя, когда закончилось развитие Приднестровского перикратона. Наиболее глубокая часть моря Торнквиста — Предгалицийский прогиб, северо-восточное крыло которого сформировано, по мнению автора, зоной TESZ.

В настоящей статье достаточно подробно описана история геодинамического развития юго-западной окраины ВЕП (Балтики) в докембрии, так как из-за перекрытости ГББ мощным чехлом Приднестровского перикратона и Карпатами ему в литературе уделено недостаточно внимания и лишь геофизические данные могут хотя бы частично пролить свет на его существование.

Все рассмотренные тектонические процессы в пределах Балтики (ВЕП) и ее окраин происходили на фоне ее размещения южнее экватора и ориентации субортогонально современной (рис. 4). И палеомагнитные, и независимые тектонофизические данные показывают, что в венде виртуальная ось вращения Земли располагалась субпараллельно современным широтам.

**Фанерозой (0,542—0 Ga).** Фанерозойские геодинамические процессы подробно рассмотрены во многих работах, поэтому кратко в хронологическом порядке остановимся на основных событиях, происходивших в пределах территории Украины.

**Ордовик (0,48—0,44 Ga).** Завершение образования океанов Палеотетис, Япетус и моря

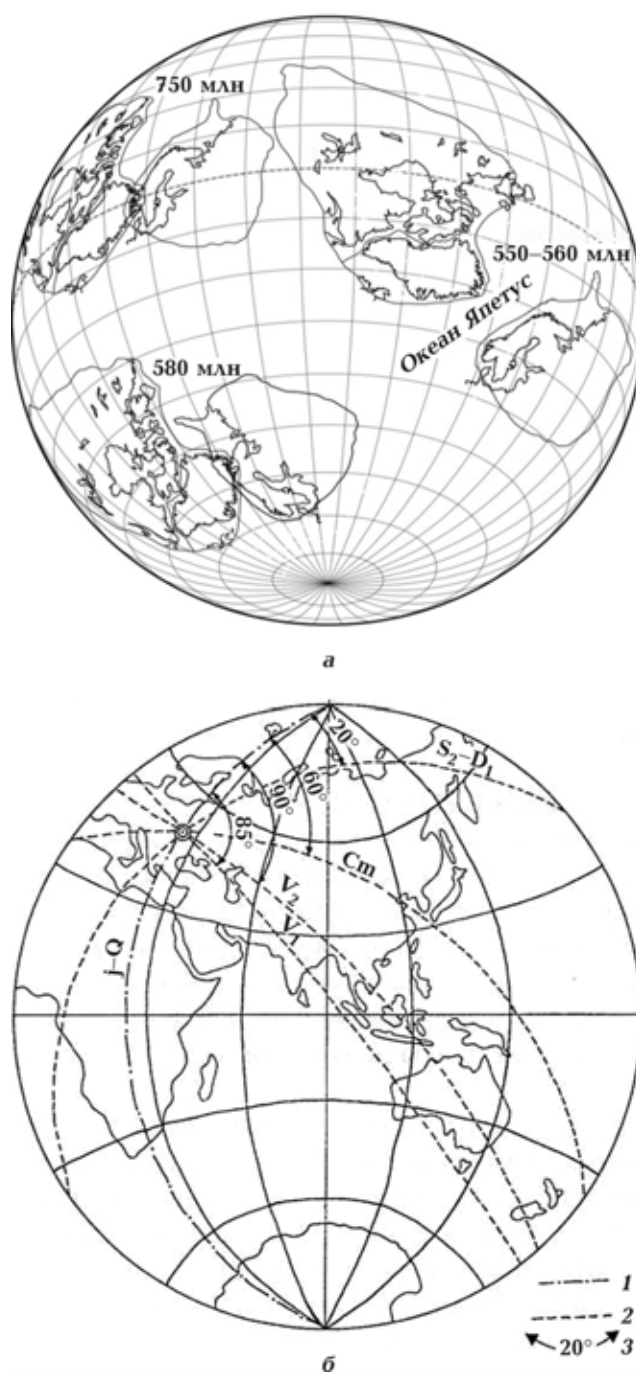


Рис. 4. Положение палеомеридианов и палеоширот в венде (а) по палеомагнитным [Elming et al., 2006] и палеомеридианов (б) по тектонофизическим [Гинтов, 2001] данным: 1 — современный меридиан, 2 — палеомеридианы для соответствующих периодов, 3 — углы между современным и палеомеридианами. Рис. 4, б показывает, что в пункте с координатами  $\varphi = 50^\circ$  с. ш.,  $\lambda = 25^\circ$  в. д. (Вольно-Подольская плита) палеомеридиан, определенный в верхне-вендских отложениях по тектонофизическим данным, располагался вдоль современной широты.

Торнквиста, каледонская складчатость в Предгалицийском прогибе.

**Девон (0,42—0,36 Ga).** Завершение каледонской складчатости в Предгалицийском прогибе и, возможно, становление на его месте но-

вого орогена. Начало формирования Львовско-Люблинского (предгорного) прогиба (средний девон).

Коллизия Североамериканской платформы и ВЕП и образование суперконтинента Евразия [Зоненшайн и др., 1990б].

Образование нескольких северных ответвлений Палеотетиса в виде рифтогенных прогибов, в том числе Прикаспийского и Донецкого (средний—поздний девон) с океанической корой, и распространение последнего в позднем девоне на ВЕП с формированием Днепровского и Припятского рифтогенных прогибов с субокеанической (?) корой [Юдин, 2007]. Формированию Днепровского рифтогена способствовало существование в его осевой части докембрийской шовной зоны западно-северо-западного простирания [Пашкевич и др., 2014].

Отделение от ВЕП Мизийской, Скифской (вместе с Приазовской частью УЩ), Туранской микроплит и превращение их в террейны Палеотетиса [Хаин, Сеславинский, 1991].

Согласно палеомагнитным данным, полученным в Институте геофизики НАН Украины, со второй половины силура и почти до конца девона территория Украины (юго-западная часть ВЕП) располагалась на 10—20° южнее экватора и испытывала повороты в горизонтальной плоскости до 16° против часовой стрелки [Бахмутов и др., 2012; Бахмутов, Поляченко, 2014].

*Карбон (0,36—0,30 Ga)*. Коллизия Евроамериканской и Сибирской платформ и образование континента Лавразия [Хаин, Сеславинский, 1991].

Углубление Припятско-Днепровско-Донецкого рифтогена и Львовско-Люблинского прогиба, накопление в них мощной толщи терригенно-карбонатных осадков.

*Пермь—триас (0,30—0,20 Ga)*. Объединение Гондваны с Лавразией и образование суперконтинента Пангея (Пангея-2, по [Хаин, Сеславинский, 1991], или Пангея-А по данным палеомагнитологов).

Герцинская складчатость во всех палеозойских осадочных бассейнах на территории Украины.

Сокращение Палеотетиса: субдукция океанической коры Донецкого рифтогена в южном направлении, формирование Донецкого складчатого сооружения и Донецкой сутуры; субдукция также в южном направлении океанической коры Палеотетиса под Скифскую микроплиту, коллизия микроплиты с ВЕП и образование Северокрымской сутуры. Эти процессы обоснованы геологически [Юдин, 2007] и под-

тверждаются данными ГСЗ и сейсмотомографии [Гинтов и др., 2014б]. Коллизионные процессы сопровождались формированием крупномасштабных надвигов доюрских комплексов в северном, северо-восточном и восточном направлениях. В последнем случае имеется в виду надвигание Западно-Европейской платформы (ЗЕП) на ВЕП с выходом в Рава-Русскую зону. В пределах Северной Добруджи такое надвигание закончилось в мелу—палеогене.

Сокращение или распад Палеотетиса и субдукция в южном, юго-западном и, возможно, западном направлениях привели к расширению континентальной литосферы ВЕП в этих направлениях на 120 км и более.

Для рассмотренного периода сложной оказалась проблема несогласованности палеомагнитных данных по реконструкции суперконтинента Пангея, из-за чего палеомагнитологами предложены две альтернативные модели — Пангея-А, соответствующая общепринятой Пангее А. Вегенера, или Пангее-2, по [Хаин, Сеславинский, 1991], и Пангея-В, предусматривающая правосдвиговое перемещение Лавруссии относительно Гондваны на 3500 км (!) [Muttoni et al., 2003]. Несогласованность могла быть вызвана "ошибками наклонения", возникающими при изучении палеомагнетизма осадочных пород.

В этом отношении большое значение имело палеомагнитное изучение пермских и триасовых дайковых комплексов восточной части УЩ [Yuan et al., 2011], выполненное при участии украинских ученых В. Г. Бахмутова и В. И. АLEXИНА. Оно показало, что при использовании высоконадежных, лишенных возможных ошибок наклонения данных по дайковым комплексам модель Пангея-А удовлетворяет требованиям палеомагнетизма и необходимость в замене ее моделью Пангея-В отпадает.

*Средний триас—юра—ранний мел (0,247—0,101 Ga)*. Образование океана Мезотетис между Мизийской, Скифской и Туранской микроплитами, снова отделившего их от ВЕП и приведшего к новому отделению Гондваны от Лавразии в средней юре [Юдин, 2007].

Мезотетис в своей западной части имел достаточно сложную структуру и был разделен на несколько малых океанических бассейнов, разделенных континентальными микроплитами.

В пределах ЗЕП образовались несколько эпигерцинских бассейнов с океанической корой (океаны Магура, Пьенинский, Мелиата, Пьемонт-Лигурия и другие — у разных авторов разные названия) — так называемого Альпийского Тетиса [Csontos, Vörös, 2004; Schmid et al., 2008].

На юге возник задуговой Таврический бассейн, отделявший Скифскую и Мизийскую микроплиты от коллажа микроплит Родопии, Сакарии, Понтида, а также частично отделявший Мизию от Скифии. Последние данные по изучению флишевых отложений Восточного Горного Крыма показали, что в позднем триасе и ранней юре северная часть Таврического бассейна не распространялась на восток так далеко, как предполагалось в работе [Казьмин, Тихонова, 2005].

В средней юре (байос—бат) Таврический бассейн закрылся и коллаж микроплит Родопии, Сакарии и Понтида объединился с Мизийской, Скифской плитой, валом Шатского и ВЕП. Сжатие привело к формированию складчатости пород таврической серии в Северной Добрудже и Западном Крыму. На юге от этого коллажа микроплит открылся еще один задуговой океанический бассейн — Вардарский. Образование задуговых бассейнов, очевидно, было связано с субдукцией Мезотетиса под Понтиды и Евразию в средней юре—раннем мелу [Казьмин, Тихонова, 2005, 2006].

*Поздний мел—палеоген—неоген (0,101—0,02 Ga).* Субдукция океана Магура (или Пьемонт-Лигурия) под микроплиты Алькапа и Тиссия-Дакия и их перемещение на северо-восток в течение верхнего мела—олигоцена под силовым воздействием Адриатической плиты. Закрытие океана Магура и начало коллизионного процесса. Продолжение в миоцене—плиоцене движения микроплит на северо-восток (Алькапа) и восток—юго-восток (Тиссия-Дакия) и формирование дуги Карпатского орогена [Csontos, Vörös, 2004; Schmid et al., 2008].

В соответствии с принятой в работе [Гинтов и др., 2015] концепцией, движение микроплиты Тиссия-Дакия происходит в виде втискивания достаточно узкого индентора в образованный им юго-восточный орогелин Карпат, создавая деформационную зону всестороннего бокового (горизонтального) сжатия, возникшую *in situ*. Разрядка напряжений всестороннего бокового сжатия вызывает землетрясения в зоне Вранча.

*Поздний мел (сеноман—турон)* — субдукция Вардарского бассейна под Родопию—Понтиды (начавшаяся еще в конце раннего мела) и раскрытие задугового Западно-Черноморского бассейна с возможной зоной спрединга в его осевой части.

*Средний эоцен* — продолжение субдукции Вардарского бассейна, его закрытие и раскрытие задугового Восточно-Черноморского бассейна с возможной зоной спрединга в его осевой части [Казьмин, Тихонова, 2006].

*Олигоцен* — начало движения Восточно-Черноморской микроплиты на северо-запад, частичная субдукция ее под Скифскую микроплиту и начало подъема Горного Крыма (максимум подъема в раннем плиоцене), продолжающегося и сейчас.

*Плиоцен—настоящее время* — продолжение субдукционного процесса в Крымско-Черноморском регионе в варианте двухъярусной тектоники плит [Гончар, 2013, 2015]: субдукция под Скифскую микроплиту мантийной части Восточно-Черноморской микроплиты; наличие серпентинитового детачмента на границе коровой и мантийной частей последней, благодаря чему ее коровая часть воздымается (обдуцирует) внутрь коры Скифской микроплиты, образуя про- и ретронадвиги; надвигание коровой части Скифской микроплиты вместе с Горным Крымом на Черноморскую впадину.

В дискуссионном порядке на основании материалов региональной сейсмотомографии [Бугаенко и др., 2008] рассматривается механизм образования плюма под Черноморской впадиной, обусловленный теми же причинами, что и формирование самой впадины — процессами мезо-кайнозойского рифтинга—спрединга и отделения Родопии и Понтида от Мизии и Крыма. В этом случае плюм формирует над собой зону растяжения в средней и верхней мантии, облегчая процесс субдукции Западно-Черноморской микроплиты под Восточно-Черноморскую и формирование встречного плюму круто наклоненного слэба с "затягиванием в воронку" относительно низкоскоростной литосферы [Гинтов и др., 2016].

*В настоящее время* продолжается также перемещение фронтальной части орогена Украинских Карпат на восток и северо-восток, а Южных (Румынских) Карпат — на юг. Юго-восточный участок (орогелин) Карпат и Добруджа находятся в состоянии сжатия и в основном воздымаются.

**Выводы.** Таким образом, рассмотрение хронологической последовательности тектонических процессов при становлении земной коры и литосферы Украины показывает, что механизмы палео- и современной геодинамики — плито- и плюм-тектоника — вполне адекватно объясняют все геологические и геофизические явления, наблюдаемые в природе, особенно те, которые установлены во второй половине XX и в XXI в. Это крупноамплитудные горизонтальные перемещения вдоль разломов по геологическим и тектонофизическим данным; перемещение континентов по палеомагнитным и

их вращение по согласующимся палеомагнитным и тектонофизическим данным; повсеместное преобладание тангенциального напряженно-деформированного состояния земной коры; восстановленная первоначальная ширина бассейнов осадконакопления, сокращаемая в несколько раз за счет горизонтального сжатия (согласующиеся геологические, палеомагнитные и тектонофизические данные); наличие наклонных мантийных палео- и современных слоев (слэбов) по материалам сейсмоотографии, причем современные наклонные слои нередко сопровождаются такими же наклонными цугами землетрясений; данные GPS и др.

Фиксистские представления, основывающиеся на принципах "вертикальной" тектоники

и постоянного географического положения континентов, не в состоянии объяснить большинство этих явлений.

**Благодарности.** Автор благодарит всех сотрудников Института геофизики НАН Украины — участников проекта № III-21-12 "Геодинамическое развитие литосферы Украины, формирование и размещение месторождений полезных ископаемых", материалы которых использованы в настоящей статье.

Особая благодарность акад. НАН Украины Н.П. Щербак и А.И. Пономаренко, чл.-корр. НАН Украины Л.М. Степанюку, а также проф. В.П. Кирилюку, беседы с которыми позволили автору сформировать представление об этапах развития земной коры Украины в докембрии.

### Список литературы

- Арясова О.В., Хазан Я.М. Взаимодействие мантийной конвекции с литосферой и происхождение кимберлитов. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 5. С. 150—171.
- Бахмутов В.Г., Иосифиди А.Г. Палеомагнетизм палеопротерозойских магматических пород УЩ; Тез. докл. *Международ. науч.-практ. конф. "Стратиграфия, геохронология и корреляция нижнедокембрийских породных комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы"*. Киев: УкрГГРИ, 2010. С. 25—27.
- Бахмутов В.Г., Поляченко Е.Б. Новые палеомагнитные данные по силурийским и девонским осадочным породам Подолии (ЮЗ Украина) и кинематика Восточно-Европейской платформы в среднем палеозое. *Геодинамика и тектонофизика.* 2014. Т. 5. № 4. С. 1045—1058.
- Бахмутов В.Г., Тейсер-Еленская М., Кадзялко-Хофмокль М., Константиненко Л., Поляченко Е. Палеомагнитные исследования нижнедевонских сероцветных отложений Подолии. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 6. С. 57—67.
- Бугаенко И.В., Шумлянская Л.А., Заец Л.Н., Цветкова Т.А. Трехмерная Р-скоростная модель мантии Черного моря и прилегающей территории. *Геофиз. журн.* 2008. Т. 30. № 5. С. 145—160.
- Великанов В.А., Асеева Е.А., Федонкин М.А. Венд Украины. Киев: Наук. думка, 1983. 162 с.
- Гейко В.С., Шумлянская Л.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н., Цветкова Т.А. Трехмерная модель верхней мантии Украины по временам прихода Р-волн. *Геофиз. журн.* 2006. Т. 28. № 1. С. 3—16.
- Геодинамическая карта Украины. Под ред. Л.С. Галецкого. Киев: Геопрогноз, 1993. 213 с.
- Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита. Под ред. А.В. Анциферова. Киев: Наук. думка, 2006. 196 с.
- Геотектоника Вольно-Подолии. Отв. ред. И.И. Чебаненко. Киев: Наук. думка, 1990. 244 с.
- Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. Отв. ред. Н.П. Щербак. Киев: Наук. думка, 2005. 244 с.
- Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Отв. ред. Н.П. Щербак. Киев: Наук. думка, 2008. 240 с.
- Гинтов О.Б. Докембрий Украинского щита и тектоника плит. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 6. С. 2—21.
- Гинтов О.Б. Планетарные деформации земной коры, ротация Земли и движение литосферных плит. *Геофиз. журн.* 2001. Т.23. № 4. С.69—82.
- Гинтов О.Б. Полевая тектонофизика и ее применения при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.
- Гинтов О.Б. Проблемы геодинамики Украинского щита в докембрии. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 5. С. 3—22.
- Гинтов О.Б. Схема периодизации этапов разломообразования в земной коре Украинского щита — новые данные и следствия. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 1. С. 3—18.

- Гинтов О.Б. Тектонофизика в решении важных народнохозяйственных задач (обзор исследований в странах СНГ). 1. *Геофиз. журн.* 2009. Т. 31. № 5. С. 3—31.
- Гинтов О.Б., Бубняк И.Н., Вихоть Ю.М., Муровская А.В., Накапелюх М.В., Шлапшинский В.Е. Тектонофизический и палинспастический разрезы Украинских Карпат вдоль геотраверса DOBRE-3 (PANCAKE). *Геофиз. журн.* 2014а. Т. 36. № 3. С. 3—33.
- Гинтов О.Б., Егорова Т.П., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Муровская А.В. Геодинамические особенности зоны сочленения Евразийской плиты и Альпийско-Гималайского пояса в пределах Украины и прилегающих территорий. *Геофиз. журн.* 2014б. Т. 36. № 5. С. 26—63.
- Гинтов О.Б., Исай В.М. Некоторые закономерности разломообразования и методика морфокинематического анализа сколовых разломов. *Геофиз. журн.* 1984. Т. 6. № 3. С. 3—10.
- Гинтов О.Б., Исай В.М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. Киев: Наук. думка, 1988. 228 с.
- Гинтов О.Б., Муровская А.В., Егорова Т.П., Вольфман Ю.М., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Колесникова Е.Я., Островной А.Н., Бубняк И.Н., Фарфуляк Л.В., Амашукели Т.А. Глубинная сейсмогенная зона Вранча как индикатор геодинамического процесса. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 31. № 3. С. 22—44.
- Гинтов О.Б., Мычак С.В. Геодинамическое развитие Ингульского мегаблока Украинского щита по геолого-геофизическим и тектонофизическим данным. I. *Геофиз. журн.* 2011а. Т. 33. № 3. С. 102—118.
- Гинтов О.Б., Мычак С.В. Геодинамическое развитие Ингульского мегаблока Украинского щита по геолого-геофизическим и тектонофизическим данным. II. *Геофиз. журн.* 2011б. Т. 33. № 4. С. 89—99.
- Гинтов О.Б., Мычак С.В. Кинематика формирования западной и центральной части Украинского щита в период 1,80—1,73 млрд лет назад по результатам изучения трещиноватости горных пород Коростенского и Корсунь-Новомиргородского плутонов. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 4. С. 24—36.
- Гинтов О.Б., Пашкевич И.К. Тектонофизический анализ и геодинамическая интерпретация трехмерной геофизической модели Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 2. С. 3—27.
- Гинтов О.Б., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Муровская А.В. Некоторые особенности строения мантии Восточного Средиземноморья и их геодинамическая интерпретация. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 1. С. 17—29.
- Глевасский Е.Б. Палеотектоника и история развития Украинского щита с неомобилистских позиций. В кн.: *Стратиграфия докембрийских образований Украинского щита*. Киев: Наук. думка, 1983. С. 44—48.
- Глевасский Е.Б. Решение некоторых проблем петрологии и стратиграфии докембрия Украинского щита с позиций плитотектоники. *Минерал. журн.* 2005. Т. 27. № 3. С. 57—66.
- Глевасский Е.Б., Каляев Г.И. Докембрий и тектоника плит (проблема плитотектонических реконструкций юго-западного сегмента Восточно-Европейской платформы). В кн.: *Геологія і стратиграфія докембрію Українського щита*. Київ, 1998. С. 38—40.
- Гобаренко В.С., Егорова Т.П. Структура литосферы и геодинамика Западно- и Восточно-Черноморской впадин. *Физика Земли*. 2010. № 6. С. 49—66.
- Гончар В.В. К обоснованию механизма латеральной экструзии земной коры Горного Крыма. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 4. С. 145—150.
- Гончар В.В. Коллизионная модель Крымского орогена — опыт исследования методом конечных элементов. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 6. С. 146—164.
- Гончар В.В., Паталаха Е.И., Гинтов О.Б. Модели растяжения и приразломного волочения в палеотектонической реконструкции Горного Крыма. *Доп. НАН України*. 2004. № 6. С. 112—118.
- Гутерх А., Соллогуб В.Б., Мятешок Р., Чекунов А.В., Пайхель Я., Гейко В.С., Перхуць Э., Ливанова Л.П., Ковальский Л., Клушин В.И. Строение земной коры на участке Хмельницкий (СССР)—Кельце (ПНР) (VIII международный профиль ГСЗ). В кн.: *Строение земной коры и верхов мантии по данным сейсмических исследований*. Киев: Наук. думка, 1977. С. 158—171.
- Егорова Т.П., Гобаренко В.С., Яновская Т.Б., Баранова Е.П. Строение литосферы Черного моря по результатам 3D гравитационного анализа и сейсмической томографии. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 5. С. 38—59.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 1. Москва: Недра, 1990а. 328 с.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 2. Москва: Недра, 1990б. 334 с.



- Казьмин В. Г., Тихонова И. Ф. Позднемезозойские-эоценовые окраинные моря в Черноморско-Каспийском регионе: палеотектонические реконструкции. *Геотектоника*. 2006. № 3. С. 9—22.
- Казьмин В. Г., Тихонова И. Ф. Раннемезозойские окраинные моря в Черноморско-Кавказском регионе: палеотектонические реконструкции. *Геотектоника*. 2005. № 5. С. 20—35.
- Каляев Г. И. Земная кора Украинского щита и тектоника плит. *Геолог. журн.* 1976. Т. 36. Вып. 1. С. 29—41.
- Каляев Г. И., Крутиховская З. А., Рябенко В. А. Тектоника раннего докембрия Украинского щита. В кн.: *Региональная тектоника раннего докембрия СССР*. Ленинград: Наука, 1980. С. 18—22.
- Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых. Под ред. В. И. Старостенко, О. Б. Гинтова. Киев: Прастые луды, 2013. 500 с.
- Коболев В. П. Плюм-тектонический аспект рифтогенеза и эволюции мегавпадины Черного моря. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2016. № 2. С. 16—36.
- Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита. Пояснювальна записка. Київ: УкрДГРІ, 2004. 30 с.
- Куприенко П. Я., Макаренко И. Б., Старостенко В. И., Легостаева О. В., Савченко А. С. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 6. С. 175—214.
- Кутас Р. И. Геотермические условия и мезо-кайнозойская эволюция Карпато-Паннонского региона. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 5. С. 75—107.
- Кутас Р. И. Геотермические условия Черного моря и его обрамления. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 6. С. 135—158.
- Лобач-Жученко С. Б. Древние кратоны — возраст, строение, состав, геодинамика. *Минерал. журн.* 2014. Т. 35. № 4. С. 61—70.
- Лобач-Жученко С. Б., Балаганский В. В., Балтыбаев Ш. К., Степанюк Л. М., Пономаренко А. Н., Лохов К. И., Корешкова М. Ю., Юрченко А. В., Егорова Ю. С., Сукач В. В., Бережная Н. Г., Богомолов Е. С. Этапы формирования побужского гранулитового комплекса по данным изотопно-геохронологических исследований (Среднее Побужье, Украинский щит). *Минерал. журн.* 2013. Т. 36. № 2. С. 86—98.
- Лобковский Л. И., Никишин А. М., Хаин В. Е. Со-временные проблемы геотектоники и геодинамики. Москва: Научный мир, 2004. 612 с.
- Муровская А. В. Напряженно-деформированное состояние Западного Горного Крыма в олигоцен-четвертичное время по тектонофизическим данным. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 2. С. 109—119.
- Накапелюх М. В., Вихоть Ю. М., Бубняк И. Н. Сбалансированный разрез Скибового покрова Украинских Карпат, долина реки Сукиль. *Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы Второй молодежной тектонофизической школы-семинара, 17—21 октября 2011*. Т. 1. Москва: Изд. ИФЗ, 2011. С. 187—190.
- Накапелюх М. В., Шлапинский В. Е. Тектонофизический и палинспастический разрезы Украинских Карпат вдоль геотраверса DOBRE-3 (PANCAKE). *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 3. С. 3—33.
- Паталаха Е. И., Гончар В. В., Сенченков И. К., Червинко О. П. Инденторный механизм в геодинамике Крымско-Черноморского региона. Прогноз УВ и сейсмоопасности. Киев: ЭКМО, 2003а. 226 с.
- Паталаха Е. И., Гончар В. В., Сенченков И. К., Червинко О. П. Элементы геодинамики Карпат. Прогноз УВ и сейсмоопасности. Киев: ЭКМО, 2003б. 151 с.
- Паталаха Е. И., Сенченков И. К., Гончар В. В. Вязкая модель плитной тектоники Черноморского региона (к проблеме позднекайнозойского развития впадин Черного моря). *Океанология*. 2006. Т. 46. № 5. С. 703—714.
- Паталаха Е. И., Сенченков И. К., Трофименко Г. А. Проблемы тектоно-геодинамической эволюции юго-западного форланда Восточно-Европейского кратона и его орогенического обрамления. Киев: ЭКМО, 2004. 234 с.
- Пашкевич И. К., Орлюк М. И., Лебедь Т. В. Магнитная неоднородность, разломная тектоника консолидированной земной коры и нефтегазоносность Днепровско-Донецкого авлакогена. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 1. С. 64—80.
- Пономаренко А. Н., Степанюк Л. М., Шумлянський Л. В. Геохронология и геодинамика палеопротерозоя Украинского щита. *Минерал. журн.* 2014. Т. 36. № 2. С. 48—60.
- Рябенко В. А. Основные черты тектонического строения Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1970. 128 с.
- Рябенко В. А., Міхницька Т. П. Рифей України. Київ: Вид. ІГН НАНУ, 2000. 180 с.
- Сокур Т. М. Геодинамическая обстановка формирования верхневендских песчаников на юго-

- западной окраине Восточно-Европейской платформы. *Доп. НАН України*. 2008. № 10. С. 127—129.
- Соллогуб В. Б. Литосфера Украины. Киев: Наук. думка, 1986. 184 с.
- Старостенко В. И., Гинтов О. Б., Кутас Р. И. Геодинамическое развитие литосферы Украины и его роль в формировании и размещении месторождений полезных ископаемых. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 3. С. 3—22.
- Старостенко В. И., Макаренко И. Б., Русаков О. М., Пашкевич И. К., Кутас Р. И., Легостаева О. В. Геофизические неоднородности литосферы мегавпадины Черного моря. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 5. С. 3—20.
- Степанюк Л. М. Геохронологія докембрію західної частини Українського щита (архей—палеопротерозой): Автореф. ... дис. г-ра геол. наук. Киев, 2000. 34 с.
- Степанюк Л. М., Гаценко В. А., Лобач-Жученко С. Б., Балаганский В. В., Балтыбаев Ш. К., Довбуш Т. И., Юрченко А. В. Калиевые мафитовые дайки побужского гранулитового комплекса: геологическое положение, вещественный состав, петрогенезис, возраст. *Минерал. журн.* 2013. Т. 35. № 3. С. 73—84.
- Стратиграфічний кодекс України. 2-е вид. Київ: Логос, 2012. 64 с.
- Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000 000. Ч. 1. Пояснювальна записка. Відпов. ред. Д. С. Гурський, С. С. Круглов. Київ: УкрДГРІ, 2007. 95 с.
- Фарфуляк Л. В. Природа наклонной сейсмической границы в земной коре Скифской плиты вдоль профиля DOBRE-5. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 6. С. 64—85.
- Хаин В. Е., Божко Н. А. Историческая геотектоника. Докембрий. Москва: Недра, 1988. 384 с.
- Хаин В. Е., Сеславинский К. Б. Историческая геотектоника. Палеозой. Москва: Недра, 1991. 398 с.
- Цветкова Т. А., Бугаенко И. В. Сейсмомография мантии под Восточно-Европейской платформой: мантийные скоростные границы. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 5. С. 161—172.
- Цветкова Т. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Скоростная делимость мантии под Украинским щитом. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 4. С. 75—88.
- Щербак Н. П., Артеменко Г. В. Геохронология и геодинамика архейских мегаблоков Украинского щита. *Минерал. журн.* 2014. Т. 36. № 2. С. 7—17.
- Югин В. В. Геодинамика Черноморско-Каспийского региона. Киев: УкрГГРИ, 2007. 143 с.
- Югин В. В. Палеогеодинамика Крыма, прилегающих акваторий и территорий. *Геолог. журн.* 1996. № 3-4. С. 115—119.
- Andreucci B., Castelluccio A., Corrado S., Jankowski L., Mazzoli S., Szaniawski R., Zattin M., 2015. Interplay between the thermal evolution of an orogenic wedge and its retro-wedge basin: An example from the Ukrainian Carpathians. *GSA Bulletin* 127(3-4), 410—427.
- Bogdanova S. V., Bingen B., Gorbatshev R., Khe-raskova T. N., Kozlov V. I., Puchkov V. N., Volozh Yu. A., 2008a. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Res.* 160, 23—45.
- Bogdanova S. V., Gintov O. B., Dzmitry M., Kurlovich C., Lubnina L. V., Nilsson M. K. M., Orlyuk M. I., Pashkevich I. K., Shumlyansky L. V., Starostenko V. I., 2012. Late Palaeoproterozoic mafic dyking in the Ukrainian Shield of Volgo-Sarmatia caused by rotations during the assembly of supercontinent Columbia (Nuna). *Lithos* 174, 196—216. doi:10.1016/j.lithos.2012.11.002.
- Bogdanova S., Gorbatshev R., Grad M., Guterch A., Janik T., Kozlovskaya E., Motuza G., Skridlaite G., Starostenko V., Taran L., 2006. EUROBRIDGE: New insight into the geodynamic evolution of the East European Craton. In: D. G. Gee, R. A. Stephenson (Eds), *European Lithosphere Dynamics*. Geol. Soc. London. Mem. 32, 599—628.
- Bogdanova S. V., Pashkevich I. K., Buryanov V. B., Makarenko I. A., Orlyuk M. I., Skobelev V. M., Starostenko V. I., Legostaeva O. V., 2004. The 1.80—1.74 Ga gabbro-anorthosite-rapakivi Korosten Pluton in the NW Ukrainian Shield: a 3D geophysical reconstruction of deep structure. *Tectonophysics* 381, 5—27.
- Bogdanova S. V., Starostenko V. I., Gintov O. B., Pashkevich I. K., Kuprienko P. Ya., Kutas R. I., Makarenko I. B., Tsvetkova T. A., 2008b. Long-lived E-W fault zones in the lithosphere of Western Sarmatia. *Geophysical Research. Abstract.* 13—18 Apr., 2008. Vienna, Austria. CD-ROM.
- Csontos L., Vörös A., 2004. Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 210(1), 1—56.
- Elming S. A., Kravchenko S. N., Layer P., Rusakov O. M., Glevasskaya A. M., Mikhailova N. P., Bachtadze V., 2006. Palaeomagnetism and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age determinations of the Ediacarian traps from the southwestern margin of the East European Craton, Ukraine: Relevance to the Rodinian breakup. *J. Geol. Soc.* 162(6), 131—133.
- Elming S. A., Mikhailova N. P., Kravchenko S. N., 1998. The Consolidation of the East European Craton; a Paleomagnetic Analysis of Proterozoic Rocks from the Ukrainian Shield and Tectonic reconstructions Versus Fennoscandia. *Geophysical journal* 20(4), 71—74.
- Elming S. A., Pesonen L. J., Leino M., Khramov A. N., Mikhailova N. P., Krasnova A. F., Mertanen S., Bylund G., Terho M., 1993. The continental drift of Fennoscandia and Ukraine during the Precambrian. *Tectonophysics* 223, 177—198.

- Grad M., Guterch A., Keller G.R., Janik T., Hegedüs E., Vozár J., Oliczka A., Tiira T., Yliniemi J., 2006. Lithospheric structure beneath trans-Carpathian transect from Precambrian platform to Pannonian basin: CELEBRATION 2000 seismic profile CEL 05. *J. Geophys. Res.* 111, B03301. doi:10.1029/2005JB003647.
- Hippolite J.-C., 2002. Geodynamics of Dobrogea (Romania): new constraints on the evolution of the Tornquist—Teisseyre Line, the Black Sea and the Carpathians. *Tectonophysics* 357, 33—53.
- Konerding C., Dinu C., Wong H., 2010. Seismic sequence stratigraphy, structure and subsidence history of the Romanian Black Sea shelf. *Geol. Soc. London Spec. Publ.* Vol. 340, 159—180.
- Lobach-Zhuchenko S.B., Balagansky V.V., Baltybaev Sh.K., Bibikova E.V., Chekulaev V.P., Yurchenkov A.V., Arestova N.A., Artemenko G.V., Egorova Yu.S., Bogomolov E.S., Sergeev S.A., Skublov S.G., Presnyakov S.L., 2014. The Orekhov-Pavlograd zone, Ukrainian Shield: Milestones of its evolutionary history and constraints for tectonic models. *Precambrian Res.* 252, 71—87. doi:10.1016/j.precamres.2014.06.027.
- Muttoni G., Kent D.V., Garzanti E., Brack P., Abrahamsen N., Gaetani M., 2003. Early Permian Pangea "B" to Late Permian Pangea "A". *Earth Planet. Sci. Lett.* 215, 379—94.
- Okay A.I., Tüysüz O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Eds B. Durand, L. Jolivet, F. Horvath, M. Seranne. *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. *Geol. Soc. London Spec. Publ.* Vol. 156, 475—515.
- Rusakov O.M., Pashkevich I.K., 2017. The decisive role of the crystalline crust faults in the Black Sea opening. *Geophysical journal* 39(1), 3—16.
- Schmid S., Bernoulli D., Fügenschun B., Matenco L., Schefer S., Schuster R., Tischler M., Ustaszewski K., 2008. The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosci.* 101, 139—183.
- Starostenko V.I., Buryanov V., Makarenko I., Rusakov O., Stephenson R., Nikishin A., Georgiev G., Gerasimov M., Dimitriu R., Legostaeva O., Pchelarov V., Sava C., 2004. Topography of the crust-mantle boundary beneath the Black Sea Basin. *Tectonophysics* 381, 211—233.
- Starostenko V.I., Gintov O.B., Kutas R.I., Pashkevich I.K., 2010. Geodynamics of lithosphere as one of the crucial factors of producing mineral deposits of Ukraine. *Geophysical journal* 32(4), 162—165.
- Starostenko V., Janik T., Kolomiyets K., Czuba W., Šroda P., Grad M., Kováč I., Stephenson R., Lysynchuk D., Thybo H., Artemieva I., Omelchenko V., Gintov O., Kutas R., Gryn D., Guterch A., Hegedüs E., Komminaho K., Legostaeva O., Tiira T., Tolkunov A., 2013. Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics* 608, 1049—1072.
- Yuan K., Van der Voo R., Bazhenov M.L., Bakhmutov V.G., Alekhin V.I., Hendriks B.W.H., 2011. Permian and Triassic paleolatitudes of the Ukrainian Shield with implications for Pangea reconstructions. *Geophys. J. Int.* 184(2), 595—610.

## Temporal sequence of geodynamic development processes in the territory of Ukraine from the Eoarchean to Anthropogen

© O. B. Gintov, 2017

Survey data of geodynamic studies, completed during the latest 20 years in Ukraine for most of its regions, have been generalized in order to summarize the results of regional studies into geo-historical line from Eoarchean to Anthropogen. For this purpose the data of stratigraphy and isotopic geochronology obtained by Ukrainian and foreign scientists within the studied territory have been used in the work. It has been shown that the basic role in contemporary concepts on the character of geodynamic processes within the territory of Ukraine is played by the results of thorough studies of deep structure of the crust and mantle, fulfilled by the Institute of Geophysics NAS of Ukraine at the high methodic level with participation of many international organizations. Methods of seismometry and seismotomography, gravimetry and magnetometry, geothermy and deep electrometry as well as paleomagnetic and tectonophysical data were actively used. The data obtained show that geodynamic processes based on plate tectonics mechanisms are clearly manifested in the studied territory since Neoeoarchean. For Eoarchean and Mesoeoarchean plum-tectonic mechanisms are more probably specific. Present-day structure of the shield was definitely formed between 1,8 and 1,7 Ga isochronously with formation of the micro-

continent Sarmatia, its affiliation with Fennoscandia and Volgo-Uralia into the continent Baltica on the background of the supercontinent Pangea-1. Geodynamic processes in Meso-Proterozoic and Early Paleozoic are examined in discussion form and it has been shown that up to Middle Devonian they were mainly concentrated in the western part of Ukraine in the territory of the present-day Carpathians and Volyn-Podolian plate. These processes were manifested as formation of Volyn-Polesian flexure (Middle Riphean), Galitsian-Belostok basin (Late Riphean), which joined the oceans Proto-Tethys and Proto-Yapetus westward of Baltic, formation in its place of orogen of Pre-Carpathians (Vendian), formation of the Dnister peri-craton and (Upper Vendian) which finishes in the southwest by Pre-Galitsian foothills, TESZ zone and the Thornquist sea. Independent study of Vendian deposits of Ukraine by paleomagnetic and tectonophysical methods has shown that at this period virtual rotation axis of the Earth was sub-parallel to present-day latitudes. Activation of geodynamic processes in the remaining territory of Ukraine began in the Devonian after formation of supercontinent Euro-America: formation of the Donbass branch of the ocean Paleotethys and the Prypiat-Dnieper-Donets riftogen with possible suboceanic crust (Upper Devonian); separation of Misian, Scythian and Turanian microplates from East-European platform and their transformation into terrains of Paleotethys; affiliation of Gondwana with Laurasia and formation of the supercontinent Pangaea (the Permian-Triassic). Paleomagnetic studies of the Permian and Triassic dyke complexes of the western part of the Ukrainian Shield allowed to make a choice between two models of Pangaea (A and B) and to prefer the model A (vengerovskaya). In Mesozoic-Cenozoic active geodynamic processes were concentrated in the Alpine margin of the East-European platform: formation of the Mesotethys ocean and its western part Alpine Tethys (Middle Triassic); opening of the Taurean basin (Middle Triassic—Early Jurassic), its closure and formation of folding of Taurean series of rocks in North Dobrogea and West Crimea (Middle Jurassic); the opening of the West Black Sea (Upper Cretaceous) and East Black Sea (Eocene) basins; closure of the oceans of the Alpine Tethys, westward movement of micro-plates Alcapa and Tissia-Dakia and formation of the arc of the Carpathian orogen (Upper Cretaceous-Neogene); collision process in the Crimean—Black Sea region in the variant of two-layered plate tectonics and the uplift of the Mountain Crimea (Pliocene—present-day). The data resulted show that the mechanisms of paleo- and present-day geodynamics — plate tectonics and plum-tectonics explain appropriately enough all geological and geophysical phenomena observed in nature, especially those ones which were revealed during the second part of the 20<sup>th</sup> — and 21<sup>st</sup> centuries.

**Key words:** geochronology, stratigraphy, geodynamics, Ukraine, Precambrian, Phanerozoic.

## References

- Aryasova O. V., Khazan Ya. M., 2013. Interaction of mantle convection with lithosphere and kimberlite origin. *Geofizicheskiy zhurnal* 35(5), 150—171 (in Russian).
- Bakmutov V. G., Iosifidi A. G., 2010. Paleomagnetism Paleoproterozoic igneous rocks of the Ukrainian Shield: Abstracts. *The International scientific and practical conference "Stratigraphy, geochronology and correlation of the Lower Precambrian rock complexes of the basement of the East European platform"*. Kiev: UkrGGRI, 25—27 (in Russian).
- Bakmutov V. G., Poliachenko E. B., 2014. New paleomagnetic data on the Silurian and Devonian sedimentary rocks of Podolia (Ukraine SW) and the kinematics of the East European platform in the Middle Paleozoic. *Geodinamika i tektonofizika* 5(4), 1045—1058 (in Russian).
- Bakmutov V. G., Teyser-Elenska M., Kadzyalko-Hofmockl M., Konstantinenko L., Polyachenko E., 2012. Paleomagnetic studies of Low-Devonian gray-colored deposits of Podolia. *Geofizicheskiy zhurnal* 34(6), 57—67 (in Russian).
- Bugaenko I. V., Shumlyanskaya L. A., Zaets L. N., Tsvetkova T. A., 2008. Three-dimensional *P*-velocity model of the mantle of the Black Sea and the surrounding area. *Geofizicheskiy zhurnal* 30(5), 145—160 (in Russian).
- Velikanov V. A., Aseeva E. A., Fedonkin M. A., 1983. Vendian of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 162 p. (in Russian).
- Geyko V. S., Shumlanskaya L. A., Bugaenko I. V., Zaets L. N., Tsvetkova T. A., 2006. Three-dimensional model of the upper mantle of Ukraine by the terms of *P*-waves arrival. *Geofizicheskiy zhurnal* 28(1), 3—16 (in Russian).
- Geodynamic map of Ukraine, 1993. Ed. L. S. Galetskiy. Kiev: Geoprognoz, 213 p. (in Russian).
- Geological and geophysical model of suture zones Krivoy Rog-Kremenchug of the Ukrainian Shield, 2006. Ed. A. V. Antsiferov. Kiev: Naukova Dumka, 196 p. (in Russian).
- Geotectonics Volyn-Podolia, 1990. Ed. I. I. Chebanenko. Kiev: Naukova Dumka, 244 p. (in Russian).

- Geochronology Early Precambrian of the Ukrainian Shield. *Archaea*, 2005. Ed. N.P. Shcherbak. Kiev: Naukova Dumka, 244 p. (in Russian).
- Geochronology Early Precambrian of the Ukrainian Shield. *Proterozoic*, 2008. Ed. N.P. Shcherbak. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
- Gintov O.B., 2012. Precambrian of the Ukrainian Shield and plate tectonics. *Geofizicheskiy zhurnal* 34(6), 2—21 (in Russian).
- Gintov O.B., 2001. Planetary crustal deformation, the rotation of the Earth and the movement of lithospheric plates. *Geofizicheskiy zhurnal* 23(4), 69—82 (in Russian).
- Gintov O.B., 2005. Field tectonophysics and its application for the studies of deformations of the Earth's crust of Ukraine. Kiev: Feniks, 572 p. (in Russian).
- Gintov O.B., 2015. Problems geodynamics of the Ukrainian Shield in the Precambrian. *Geofizicheskiy zhurnal* 37(5), 3—22 (in Russian).
- Gintov O.B., 2014. Scheme of faulting periodization in the Earth's crust of the Ukrainian Shield — new data and consequences. *Geofizicheskiy zhurnal* 36(1), 3—18 (in Russian).
- Gintov O.B., 2009. Tectonophysics in solving important economic problems (review of studies in CIS countries). *Geofizicheskiy zhurnal* 31(5), 3—31 (in Russian).
- Gintov O.B., Bubnyak I.N., Vikhot Yu.M., Murovskaya A.V., Nakapelyukh M.V., Shlapinskiy V.E., 2014a. Tectonophysical and palinspastic sections of the Ukrainian Carpathians along the geotransverse DOBRE-3 (PANCAKE). *Geofizicheskiy zhurnal* 36(3), 3—33 (in Russian).
- Gintov O.B., Yegorova T.P., Tsvetkova T.A., Bugaenko I.V., Murovskaya A.V., 2014b. Geodynamic features of joint zone of the Eurasian plate and the Alpine-Himalayan belt within the limits of Ukraine and adjacent areas. *Geofizicheskiy zhurnal* 36(5), 26—63 (in Russian).
- Gintov O.B., Isay V.M., 1984. Some regularities of faulting and methods of morfokinematic analysis of shear fractures. *Geofizicheskiy zhurnal* 6(3), 3—10 (in Russian).
- Gintov O.B., Isay V.M., 1988. Tectonophysical studies fractures of the consolidated crust. Kiev: Naukova Dumka, 228 p. (in Russian).
- Gintov O.B., Murovskaya A.V., Yegorova T.P., Wolfman Yu.M., Tsvetkova T.A., Bugaenko I.V., Kolesnikova E.Ya., Ostrovnoy A.N., Bubnyak I.N., Farfulyak L.V., Amashukeli T.A., 2015. Deep seismicogenic zone Vrancea as an indicator of geodynamic processes. *Geofizicheskiy zhurnal* 31(3), 22—44 (in Russian).
- Gintov O.B., Mychak S.V., 2011a. Geodynamic development of the Ingul mega-block Ukrainian Shield according to geological-geophysical and tectonophysical data. I. *Geofizicheskiy zhurnal* 33(3), 102—118 (in Russian).
- Gintov O.B., Mychak S.V., 2011b. Geodynamic development of the Ingul mega-block Ukrainian Shield according to geological-geophysical and tectonophysical data. II. *Geofizicheskiy zhurnal* 33(4), 89—99 (in Russian).
- Gintov O.B., Mychak S.V., 2014. Kinematics formation of the western and central part of the Ukrainian Shield between 1,80—1,73 billion years ago as a result of the study of fracturing rocks Korosten and Korsun-Novomirgorod plutons. *Geofizicheskiy zhurnal* 36(4), 24—36 (in Russian).
- Gintov O.B., Pashkevich I.K., 2010. Tectonophysical analysis and geodynamic interpretation of three-dimensional geophysical model of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy zhurnal* 32(2), 3—27 (in Russian).
- Gintov O.B., Tsvetkova T.A., Bugaenko I.V., Murovskaya A.V., 2016. Some features of the structure of the mantle of the East Mediterranean and their geodynamic interpretation. *Geofizicheskiy zhurnal* 38(1), 17—290 (in Russian).
- Glevasskiy E.B., 1983. Paleotektonics and history of development of the Ukrainian Shield with neomobilistic positions. In: *The stratigraphy of Precambrian rocks of the Ukrainian Shield*. Kiev: Naukova Dumka, 44—48 (in Russian).
- Glevasskiy E.B., 2005. Solution of some problems of petrology and stratigraphy of the Ukrainian Shield Precambrian from position of plate tectonics. *Mineralogicheskiy zhurnal* 27(3), 57—66 (in Russian).
- Glevasskiy E.B., Kalyaev G.I., 1998. Precambrian and plate tectonics (the problem of plate-tectonic reconstructions of the south-western segment of the East European Platform). In: *Geology and stratigraphy of Precambrian Ukrainian Shield*. Kiev, 38—40.
- Gobarenko V.S., Yegorova T.P., 2010. The lithosphere structure and geodynamics of the West and East Black Sea basins. *Fizika Zemli* (6), 49—66.
- Gonchar V.V., 2015. On substantiation of mechanism of lateral extrusion the Earth's crust of the Mountain Crimea. *Geofizicheskiy zhurnal* 37(4), 145—150 (in Russian).
- Gonchar V.V., 2013. Collision model of Crimean orogen — investigation by finite elements method.

- Geofizicheskiy zhurnal* 6(3), 3—10 (in Russian).
- Gonchar V. V., Patalakha E. I., Gintov O. B., 2004. Models stretching and fracture drawing in paleotectonic reconstruction of the Crimean Mountains. *Dopovidi NAN Ukrainy* (6), 112—118 (in Russian).
- Guterkh A., Sollogub V. B., Myatezhok R., Chekunov A. V., Paykhel Ya., Geyko V. S., Perkhuts E., Livanova L. P., Kowalski L., Klushin V. I., 1977. Structure Earth's crust in the Khmel'nitsky region (USSR)—Keltse (Poland) (VIII of the international DSS profile). In: *The structure of the Earth's crust and upper mantle by seismic investigations data*. Kiev: Naukova Dumka, 158—171 (in Russian).
- Yegorova T. P., Gobarenko V. S., Yanovskaya T. B., Baranova E. P., 2012. Lithosphere structure of the Black Sea according to the results of 3D graviti analysis and seismic tomography. *Geofizicheskiy zhurnal* 34(5), 38—59 (in Russian).
- Zonenshayn L. P., Kuzmin M. I., Natapov L. M., 1990a. Lithospheric plate tectonics in the USSR. Moscow: Nedra, Book 1, 328 p. (in Russian).
- Zonenshayn L. P., Kuzmin M. I., Natapov L. M., 1990b. Lithospheric plate tectonics in the USSR. Moscow: Nedra, Book 2, 334 p. (in Russian).
- Kazmin V. G., Tikhonova I. F., 2006. Late Cretaceous-Eocene marginal seas in the Black Sea-Caspian region: paleotectonic reconstruction. *Geotektonika* (3), 9—22 (in Russian).
- Kazmin V. G., Tikhonova I. F., 2005. Early Mesozoic marginal seas in the Black Sea-Caucasian region: paleotectonic reconstruction. *Geotektonika* (3), 20—35 (in Russian).
- Kalyaev G. I., 1976. Earth's crust of the Ukrainian Shield and plate tectonics. *Geologicheskiy zhurnal* 36(is. 1), 29—41 (in Russian).
- Kalyaev G. I., Krutikhovskaya Z. A., Ryabenko V. A., 1980. Tectonics of Early Precambrian of the Ukrainian Shield. In: *The regional tectonics of the Early Precambrian of the USSR*. Leningrad: Nauka, 18—22 (in Russian).
- The Kirovograd ore area. Deep structure. Tectonophysical analysis. Ore deposits, 2013. Eds V. I. Starostenko, O. B. Gintov. Kiev: Prastye Ludy, 500 p. (in Russian).
- Kobolev V. P., 2016. Plume-tectonic aspect of the rifting and evolution megadepression Black Sea. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana* (2), 16—36 (in Russian).
- Correlation chronostratigraphic scheme of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Exploratory letter, 2004. Kiev: UkrGGRI, 30 p. (in Ukrainian).
- Kuprienko P. Ya., Makarenko I. B., Starostenko V. I., Legostaeva O. V., Savchenko A. S., 2010. Three-dimensional gravity model of the Earth's crust and upper mantle of the Dnieper-Donets depression and the Donbas. *Geofizicheskiy zhurnal* 32(6), 175—214 (in Russian).
- Kutas R. I., 2016. Geothermal conditions and Mesozoic-Cainozoic evolution of the Carpathian-Pannonian region. *Geofizicheskiy zhurnal* 38(5), 75—107 (in Russian).
- Kutas R. I., 2010. Geothermal conditions of the Black Sea basin and its flanking. *Geofizicheskiy zhurnal* 32(6), 135—158 (in Russian).
- Lobach-Zhuchenko S. B., 2014. The old cratons — isotopic age, geology, composition, geodynamics. *Mineralogicheskiy zhurnal* 35(4), 61—70 (in Russian).
- Lobach-Zhuchenko S. B., Balaganskiy V. V., Baltybaev Sh. K., Stepanyuk L. M., Ponomarenko A. N., Lokhov K. I., Koreshkova M. Yu., Yurchenko A. V., Yegorova Yu. S., Sukach V. V., Berezhnaya N. G., Bogomolov E. S., 2013. Stages of formation of Pobuzhsky granulite complex according to the isotope-geochronological studies (Middle Bug region, Ukrainian shield). *Mineralogicheskiy zhurnal* 36(2), 86—98 (in Russian).
- Lobkovskiy L. I., Nikishin A. M., Khain V. E., 2004. Modern problems geotectonics and geodynamics. Moscow: Nauchnyy Mir, 612 p. (in Russian).
- Murovskaya A. V., 2012. Stress-strain state of West Mountain Crimea in the Oligocene-Quaternary on the tectonic data. *Geofizicheskiy zhurnal* 34(2), 109—119 (in Russian).
- Nakapelyukh M. V., Vikhot Yu. M., Bubnyak I. N., 2011. The balanced section Skibovy of cover of the Ukrainian Carpathians, valley Sukil river. *Modern Tectonophysics. Methods and results. Proc. of the Second Youth tectonophysical school-seminar, October 17—21, 2011*. Vol. 1. Moscow: Ed. IPE RAS, 187—190.
- Patalakha E. I., Gonchar V. V., Senchenkov I. K., Chervinko O. P., 2003a. Indentorny mechanism in geodynamics Crimean Black Sea region. Forecast HC and seismic hazard. Kiev: EKMO, 226 p. (in Russian).
- Patalakha E. I., Gonchar V. V., Senchenkov I. K., Chervinko O. P., 2003b. Elements of Geodynamics of the Carpathians. Forecast HC and seismic hazard. Kiev: EKMO, 151 p. (in Russian).
- Patalakha E. I., Senchenkov I. K., Gonchar V. V., 2006.

- Viscous model of plate tectonics for the Black Sea region (in relation to the problem of late Cenozoic evolution of the Black Sea basins). *Okeanologiya* 46(5), 703—714 (in Russian).
- Patalakha E.I., Senchenkov I.K., Trofimenko G.L.*, 2004. Problems of tectonic and geodynamic evolution of the south-western foreland of the East European craton and orogenic frame. Kiev: EKMO, 234 p. (in Russian).
- Pashkevich I.K., Orlyuk M.I., Lebed T.V.*, 2014. Magnetic data, fault tectonics consolidated Earth's crust and oil and gas content of the Dnieper-Donets avlakogen. *Geofizicheskii zhurnal* 36(1), 64—80 (in Russian).
- Ponomarenko A.N., Stepanyuk L.M., Shumlyanskiy L.V.*, 2014. Geochronology and geodynamics of the Paleoproterozoic of the Ukrainian Shield. *Mineralogicheskii zhurnal* 36(2), 48—60 (in Russian).
- Ryabenko V.A.*, 1970. The main features of the tectonic structure of the Ukrainian Shield. Kiev: Naukova Dumka, 128 p. (in Russian).
- Ryabenko V.A., Mikhnitska T.P.*, 2000. Riphean Ukraine. Kyiv: IGS NASU, 180 p. (in Ukrainian).
- Sokur T.M.*, 2008. Geodynamic conditions of formation of the Upper Vendian sandstones in the south-western edge of the East European platform. *Dopovidi NAN Ukrainy* (10), 127—129 (in Russian).
- Sollogub V.B.*, 1986. Lithosphere of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 184 p. (in Russian).
- Starostenko V.I., Gintov O.B., Kutas R.I.*, 2011. Geodynamic development of lithosphere of Ukraine and its role in formation and location of mineral deposits. *Geofizicheskii zhurnal* 33(3), 3—22 (in Russian).
- Starostenko V.I., Makarenko I.B., Rusakov O.M., Pashkevich I.K., Kutas R.I., Legostaeva O.V.*, 2010. Geophysical heterogeneity of the lithosphere megadepression Black Sea. *Geofizicheskii zhurnal* 32(5), 3—20 (in Russian).
- Stepanyuk L.M.*, 2000. Geochronology of the Precambrian the western part of the Ukrainian Shield (Archean—Paleoproterozoic): *Abstract dis. Dr. geol. sci.* Kiev, 34 p. (in Ukrainian).
- Stepanyuk L.M., Gatsenko V.A., Lobach-Zhuchenko S.B., Balaganskiy V.V., Baltybaev Sh.K., Dovbush T.I., Yurchenko A.V.*, 2013. Potassic mafic dikes of the Bug granulite complex: geological setting, chemical composition, petrogenesis, age. *Mineralogicheskii zhurnal* 35(3), 73—84 (in Russian).
- Stratigraphic Code of Ukraine, 2012. 2<sup>nd</sup> ed. Kyiv: Logos, 64 p. (in Ukrainian).
- Tectonic map of Ukraine, 2007. 1 : 1 000 000. Part 1. Explanatory note. Eds D.S. Gurskiy, S.S. Kruglov. Kyiv: UkrDGRI, 95 p. (in Ukrainian).
- Farfulyak L.V.*, 2015. The nature of inclined seismic boundary in the Earth's crust of the Scythian plate along the DOBRE-5 profile. *Geofizicheskii zhurnal* 37(6), 64—85 (in Russian).
- Khain V.E., Bozhko N.A.*, 1988. Historical Geotectonics. Precambrian. Moscow: Nedra, 384 p. (in Russian).
- Khain V.E., Seslavinskiy K.B.*, 1991. Historical Geotectonics. Paleozoic. Moscow: Nedra, 398 p. (in Russian).
- Tsvetkova T.A., Bugaenko I.V.*, 2012. Seismotomography of the mantle under the East European platform: mantle velocity boundary. *Geofizicheskii zhurnal* 34(5), 161—172 (in Russian).
- Tsvetkova T.A., Bugaenko I.V., Zaets L.N.*, 2016. Velocity divisibility of the mantle beneath the Ukrainian Shield. *Geofizicheskii zhurnal* 38(4), 75—88 (in Russian).
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V.*, 2014. Geochronology and geodynamics of Archean megablocks of the Ukrainian Shield. *Mineralogicheskii zhurnal* 36(2), 7—17 (in Russian).
- Yudin V.V.*, 2007. Geodynamics of the Black Sea-Caspian region. Kiev: UkrGGRI, 143 p. (in Russian).
- Yudin V.V.*, 1996. Paleogeodynamics Crimea, adjacent waters and territories. *Geologicheskii zhurnal* (3-4), 115—119 (in Russian).
- Andreucci B., Castelluccio A., Corrado S., Jankowski L., Mazzoli S., Szaniawski R., Zattin M.*, 2015. Interplay between the thermal evolution of an orogenic wedge and its retro-wedge basin: An example from the Ukrainian Carpathians. *GSA Bulletin* 127(3-4), 410—427.
- Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T.N., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Volozh Yu.A.*, 2008a. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Res.* 160, 23—45.
- Bogdanova S.V., Gintov O.B., Dzmitry M., Kurlovich C., Lubnina L.V., Nilsson M.K.M., Orlyuk M.I., Pashkevich I.K., Shumlyanskiy L.V., Starostenko V.I.*, 2012. Late Palaeoproterozoic mafic dyking in the Ukrainian Shield of Volgo-Sarmatia caused by rotations during the assembly of supercontinent Columbia (Nuna). *Lithos* 174, 196—216. doi:10.1016/j.lithos.2012.11.002.
- Bogdanova S., Gorbatshev R., Grad M., Guterch A., Janik T., Kozlovskaya E., Motuza G., Skridlaite G., Starostenko V., Taran L.*, 2006. EUROBRIDGE: New

- insight into the geodynamic evolution of the East European Craton. In: *D. G. Gee, R. A. Stephenson (Eds), European Lithosphere Dynamics*. Geol. Soc. London. Mem. 32, 599—628.
- Bogdanova S. V., Pashkevich I. K., Buryanov V. B., Makarenko I. A., Orlyuk M. I., Skobelev V. M., Starostenko V. I., Legostaeva O. V.*, 2004. The 1.80—1.74 Ga gabbro-anorthosite-rapakivi Korosten Pluton in the NW Ukrainian Shield: a 3D geophysical reconstruction of deep structure. *Tectonophysics* 381, 5—27.
- Bogdanova S. V., Starostenko V. I., Gintov O. B., Pashkevich I. K., Kuprienko P. Ya., Kutas R. I., Makarenko I. B., Tsvetkova T. A.*, 2008б. Long-lived E-W fault zones in the lithosphere of Western Sarmatia. Geophysical Research. Abstract. 13—18 Apr., 2008. Vienna, Austria. CD-ROM.
- Csontos L., Vörös A.*, 2004. Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 210(1), 1—56.
- Elming S. A., Kravchenko S. N., Layer P., Rusakov O. M., Glevasskaya A. M., Mikhailova N. P., Bachtadze V.*, 2006. Palaeomagnetism and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age determinations of the Ediacarian traps from the southwestern margin of the East European Craton, Ukraine: Relevance to the Rodinian break-up. *J. Geol. Soc.* 162(6), 131—133.
- Elming S. A., Mikhailova N. P., Kravchenko S. N.*, 1998. The Consolidation of the East European Craton; a Paleomagnetic Analysis of Proterozoic Rocks from the Ukrainian Shield and Tectonic reconstructions Versus Fennoscandia. *Geophysical journal* 20(4), 71—74.
- Elming S. A., Pesonen L. J., Leino M., Khramov A. N., Mikhailova N. P., Krasnova A. F., Mertanen S., Bylund G., Terho M.*, 1993. The continental drift of Fennoscandia and Ukraine during the Precambrian. *Tectonophysics* 223, 177—198.
- Grad M., Guterch A., Keller G. R., Janik T., Hegedüs E., Vozár J., Oliczka A., Tiira T., Yliniemi J.*, 2006. Lithosphetic structure beneath trans-Carpathian transect from Precambrian platform to Pannonian basin: CELEBRATION 2000 seismic profile CEL 05. *J. Geophys. Res.* 111, B03301. doi:10.1029/2005JB003647.
- Hippolite J.-C.*, 2002. Geodynamics of Dobrogea (Romania): new constraints on the evolution of the Tornquist—Teisseyre Line, the Black Sea and the Carpathians. *Tectonophysics* 357, 33—53.
- Konerding C., Dinu C., Wong H.*, 2010. Seismic sequence stratigraphy, structure and subsidence history of the Romanian Black Sea shelf. *Geol. Soc. London Spec. Publ.* Vol. 340, 159—180.
- Lobach-Zhuchenko S. B., Balagansky V. V., Baltybaev Sh. K., Bibikova E. V., Chekulaev V. P., Yurchenkov A. V., Arestova N. A., Artemenko G. V., Egorova Yu. S., Bogomolov E. S., Sergeev S. A., Skublov S. G., Presnyakov S. L.*, 2014. The Orekhov-Pavlograd zone, Ukrainian Shield: Milestones of its evolutionary history and constraints for tectonic models. *Precambrian Res.* 252, 71—87. doi:10.1016/j.precamres.2014.06.027.
- Muttoni G., Kent D. V., Garzanti E., Brack P., Abrahamsen N., Gaetani M.*, 2003. Early Permian Pangea "B" to Late Permian Pangea "A". *Earth Planet. Sci. Lett.* 215, 379—394.
- Okay A. I., Tüysüz O.*, 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Eds *B. Durand, L. Jolivet, F. Horvath, M. Seranne. The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geol. Soc. London Spec. Publ. Vol. 156, 475—515.
- Rusakov O. M., Pashkevich I. K.*, 2017. The decisive role of the crystalline crust faults in the Black Sea opening. *Geophysical journal* 39(1), 3—16.
- Schmid S., Bernoulli D., Fügenschun B., Matenco L., Schefer S., Schuster R., Tischler M., Ustaszewski K.*, 2008. The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosci.* 101, 139—183.
- Starostenko V. I., Buryanov V., Makarenko I., Rusakov O., Stephenson R., Nikishin A., Georgiev G., Gerasimov M., Dimitriu R., Legostaeva O., Pchelarov V., Sava C.*, 2004. Topography of the crust-mantle boundary beneath the Black Sea Basin. *Tectonophysics* 381, 211—233.
- Starostenko V. I., Gintov O. B., Kutas R. I., Pashkevich I. K.*, 2010. Geodynamics of lithosphere as one of the crucial factors of producing mineral deposits of Ukraine. *Geophysical journal* 32(4), 162—165.
- Starostenko V., Janik T., Kolomiyets K., Czuba W., Šroda P., Grad M., Kováč I., Stephenson R., Lysynchuk D., Thybo H., Artemieva I., Omelchenko V., Gintov O., Kutas R., Gryn D., Guterch A., Hegedüs E., Komminaho K., Legostaeva O., Tiira T., Tolkunov A.*, 2013. Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics* 608, 1049—1072.
- Yuan K., Van der Voo R., Bazhenov M. L., Bakhmutov V. G., Alekhin V. I., Hendriks B. W. H.*, 2011. Permian and Triassic paleolatitudes of the Ukrainian Shield with implications for Pangea reconstructions. *Geophys. J. Int.* 184(2), 595—610.