

Проблемы геодинамики Украинского щита в докембрии

© О. Б. Гинтов, 2015

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 25 августа 2015 г.

Представлено членом редколлегии В. И. Старостенко

Розглянуто основні досягнення українських геологів і геофізиків у дослідженні процесів геодинамічного розвитку Українського щита в археї — ранньому протерозої, а також основні проблеми і завдання щодо їх розв'язання. Для подальшого ефективного вивчення докембрійських геодинамічних процесів запропоновано збільшити обсяг досліджень глибинної будови щита шляхом прокладання міжнародного геотраверсу глибинного сейсмічного зондування, який перетинає типоморфну геодинамічну зональність щита у широтному напрямку. Важливе значення має також розширення обсягів радіогеохронологічних і глибинних петрологічних досліджень щита та їх комплексування з палеомагнітними і тектонофізичними даними.

Ключові слова: геодинаміка, Український щит, сутури, колізія, мікроплити, океанічна кора.

Геодинамика — раздел наук о Земле, в котором делается попытка объяснить глобальные и региональные геологические явления и факты на основе динамических принципов механики ... Цель геодинамики состоит в том, чтобы на основе известных законов физики и химии построить модель эволюции Земли ... [Структурная ..., 1990]

Необходимость возвращения к обсуждению геодинамической концепции развития украинского докембрия вызвана тем, что основные фундаторы этой концепции Г. И. Каляев, Е. Б. Глевасский, В. Г. Пастухов, Е. И. Паталаха, к великому сожалению, преждевременно ушли из жизни, не создав мощной школы плейттектонистов. Судя по отечественным геологическим публикациям последних лет, геодинамические идеи этих ученых начали забываться, хотя плитотектоническая терминология стала достаточно модной. Причина, как представляется автору, заключается в том, что для глубокого проникновения в эти идеи необходимо освоение огромного массива геологической и геофизической литературы, особенно иностранной, к чему далеко не все готовы. Цель настоящей статьи — вкратце напомнить читателю существование основных идей фундаторов (и некоторых других плейттектонистов), рассмотреть их сильные и

слабые стороны и призвать, если на это есть согласие, к обсуждению возможных механизмов формирования литосферы Украинского щита (УЩ) в докембрии.

Хотелось бы только подчеркнуть, что есть некоторые "рамковые" положения, основанные на неоспоримых фактических данных, которые невозможно игнорировать при обсуждении. К таким положениям относятся следующие.

1. Наблюдаемые на поверхности (GPS, геодезия, смещения геологических реперов) горизонтальные перемещения участков земной коры значительно превышают по своей амплитуде вертикальные. Вдоль некоторых хорошо изученных разломов амплитуда горизонтального перемещения крыльев составляет сотни км (Сан-Андреас в Калифорнии и Альпийский в Новой Зеландии — более 500 км, Талассо-Ферганский в Туркмении — 150 км и т. д.). В пределах УЩ большинство изученных докембрій-

ских зон разломов также имеют сдвиговую природу, при этом амплитуда горизонтальных перемещений их берегов может превышать десятки км [Гинтов, Исай, 1988; Гинтов, 2005; Stargostenko et al., 2010; Старостенко и др., 2011].

2. Палеомагнитные данные уже давно свидетельствуют о крупномасштабном вращении блоков земной коры в горизонтальной плоскости. Если кто-то сомневается в надежности палеомагнитных измерений, то следует заметить, что в пределах Украины имеются независимые тектонофизические данные, которые полностью согласуются с палеомагнитными. Это доказано на материалах Волыно-Подольской плиты, в пределах которой при изучении планетарной трещиноватости венд-неогеновых отложений установлен поворот Восточно-Европейского кратона (ВЕК) по часовой стрелке за ~ 0,5 млрд лет почти на 90°, что согласуется с палеомагнитными и палеоклиматическими данными [Гинтов, 2001]. А изучение трещин остывания Коростенского и Корсунь-Новомиргородского плутонов [Гинтов, Мычак, 2014] привело к выводу о повороте Сарматии 1,8—1,75 млрд лет назад на 54° против часовой стрелки, что также достаточно близко к результатам палеомагнитного изучения этих плутонов, выполненного С. А. Элмингом, С. Н. Кравченко, Н. В. Лубниной, В. Г. Бахмутовым и их коллегами [Kravchenko, 2005; Elming et al., 2006; Бахмутов, Иосифиди, 2010; Bogdanova et al., 2012; Кировоградский ..., 2013].

Крупномасштабные горизонтальные перемещения и вращение больших по площади участков земной коры трудно объяснить без использования механизма тектоники плит. Других механизмов пока не предложено. Критики концепции тектоники плит (см., например, раздел "Дискуссия" в "Геофизическом журнале" [Гордиенко и др., 2012; Гинтов, 2012; Гордиенко, 2012, 2013, 2014; Хазан, 2014]) обычно ставят под сомнение сами факты горизонтальных перемещений и вращений, хотя эти факты оспорить все труднее и труднее. Пульсационная гипотеза убедительно раскритикована В. Е. Хаиным [Хаин, Сеславинский, 1991], который показал, что процессы осушения (подъема) территорий в одних местах планеты происходят одновременно с трансгрессией в других местах, и это не может быть обусловлено пульсацией Земли.

Некоторые исследователи полагают, что плюм-тектоника является альтернативой тектонике литосферных плит, но это совершенно неверно. Механизмы мантийной конвекции еще не

исследованы и не разработаны настолько детально, чтобы противопоставляться механизмам плюмов. Скорее всего, оба механизма являются частями единого целого и в любом случае они не могут обойтись без горизонтальных перемещений литосферных плит и литопластин коры (горизонтальные ветви конвективных ячеек или растекание мантийных плюмов). Поэтому кинематические механизмы плюм-тектоники входят в систему мантийных механизмов, вызывающих движение литосферных плит. На связь плюмов с тектоникой плит указывали еще их первооткрыватели Ж. Вилсон и В. Морган [Wilson, 1969; Morgan, 1971].

Переходя к проблеме геодинамики докембрия, отметим, что еще в 1988—1990 гг. классиками советской геодинамической школы докембрийская эволюция территории Украины с плитотектонических позиций рассматривалась только начиная со среднего рифея [Зоненшайн и др., 1990]. А геодинамическая интерпретация развития УЩ в раннем протерозое выполнена в работе [Хаин, Божко, 1988] на основании данных Г. И. Каляева и Е. Б. Глеваского, ибо уже в 1976 г. Г. И. Каляев, неожиданно для большинства геологов Украины, в статье "Земная кора Украинского щита и тектоника плит" четко указал на необходимость переосмысления истории развития УЩ в архее — раннем протерозое с плитотектонических позиций [Каляев, 1976].

Г. И. Каляев на основании сравнения древних офиолитовых комплексов УЩ, в основном Среднего Приднепровья и отчасти Побужья, показал, что и по первичному составу, и по стратификации они представляют собой архейскую океаническую кору, на которой закладывалась и наращивалась первичная кора континентального типа. Анализируя разрез земной коры по имевшимся к тому времени данным ГСЗ, он выделил в пределах УЩ древние аналоги зон спрединга, а в метаморфической зональности щита увидел аналогию с расположением метаморфических поясов островных дуг, т. е. связывал ее не так с глубиной эрозионного среза, как с влиянием горизонтального сжатия и растяжения. Известные сейчас мегаблоки УЩ (рис. 1) — Среднеприднепровский, Приазовский, Ингульский (Кировоградский), Бугский, Росинский, Подольский, Волинский — автор рассматривал как древние литосферные плиты, а крупнейшие зоны разломов УЩ — Криворожско-Кременчугскую и Орехово-Павлоградскую — как возможные древние зоны Бенъофа.

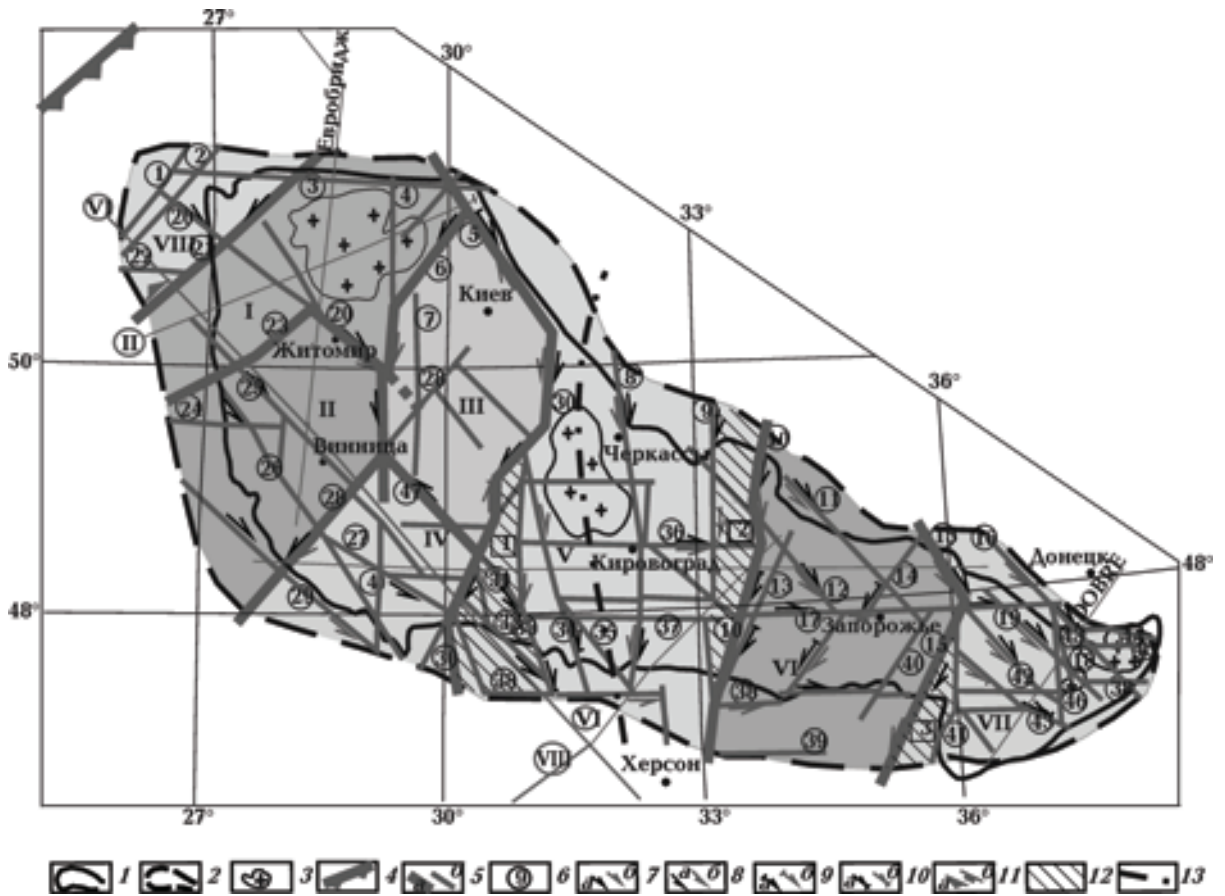


Рис. 1. Схема основных мегаблоков и зон разломов УЩ и его склонов, по [Гинтов, 2005; Гинтов, Пашкевич, 2010]: 1 — контур обнаженной части щита; 2 — контур склонов щита, в пределах которых прослеживаются складчатые и разрывные структуры докембрийского фундамента по геофизическим данным; 3 — плутоны и крупные интрузивные массивы гранитоидов; 4 — граница между Сарматией и Фенноскандией; 5 — зоны разломов (а — межмегаблоковые, б — внутримегаблоковые); 6 — номера зон разломов; 7—11 — кинематические знаки (7 — правый сдвиг (а — во время заложения, б — во время главной фазы активизации); 8 — левый сдвиг (а и б — то же, что и в 7); 9 — взбросо-сдвиг (а и б — то же, что и в 7); 10 — сбросо-сдвиг (а и б — то же, что и в 7); 11 — взброс (а) и сброс (б)); 12 — шовные зоны (цифры в квадратиках): 1 — Голованевская, 2 — Ингулеcko-Криворожская, 3 — Орехово-Павлоградская; 13 — трансрегиональный тектонический шов Херсон—Смоленск. Мегаблоки: I — Волынский; II — Подольский; III — Росинский; IV — Бугский; V — Ингульский; VI — Среднеприднепровский; VII — Приазовский; VIII — Волыно-Полесский вулcano-плутонический пояс. Зоны разломов (арабские цифры в кружках): 1 — Горынская, 2 — Луцкая, 3 — Полесская, 4 — Звиздаль-Залесская, 5 — Ядлово-Трактемировская, 6 — Чернобыльская, 7 — Брусиловская, 8 — Кировоградская, 9 — Западно-Ингулецкая, 10 — Криворожско-Кременчугская, 11 — Днепродзержинская, 12 — Светловодская, 13 — Саксаганская, 14 — Дерезоватская, 15 — Орехово-Павлоградская, 16 — Центрально-Волноватская, 17 — Девладовская, 18 — Малоянисольская, 19 — Краснополянская, 20 — Сарненско-Варваровская, 21 — Суцано-Пержанская, 22 — Владимир-Волынская, 23 — Тетеревская, 24 — Хмельницкая, 25 — Хмельникская, 26 — Летичевская, 27 — Ободовская, 28 — Немировская, 29 — Подольская, 30 — Тальновская, 31 — Емиловская, 32 — Врaдиевская, 33 — Первомайская, 34 — Звенигородско-Братская, 35 — Новоукраинская, 36 — Субботско-Мошоринская, 37 — Бобринецкая, 38 — Конкская, 39 — Горностаевская, 40 — Малоекатериновская, 41 — Азовско-Павловская, 42 — Куйбышевская, 43 — Сорокинская, 44 — Южно-Донбасская, 45 — Верхнекамывшевахская, 46 — Центрально-Приазовская.

Эта работа была новаторской не только для Украины, но и, пожалуй, для всей мировой геологической науки. По сути, Г. И. Каляев применил к докембрию УЩ известный для фанерозойской истории принцип, что “в самом об-

щем виде тектоника плит предусматривает так называемый геодинамический анализ геологических комплексов, развитых на той или иной территории, т. е. выяснение того, в каких условиях, вдоль границ литосферных плит какого

типа эти комплексы образовывались" [Зоненшайн и др., 1990].

Ученик Г. И. Каляева Е. Б. Глевасский, глубоко знавший геологию Приазовья и Среднего Приднепровья, в 1983 г. пришел к выводу, что восточная часть УЩ может быть классическим докембрийским примером развития литосферы в соответствии с геодинамической моделью и палеогеодинамическими реконструкциями, достаточно детально разработанными в то время для фанерозоя [Глевасский, 1983]. В последующих работах, как самостоятельных, так и совместно с Г. И. Каляевым, этот вывод был детализирован и расширен на всю территорию щита [Глевасский, 1989, 1990, 1995, 1996, 2005; Глевасский, Каляев, 1998, 2000; Glevassky, Glevasska, 2002; Геолого-геофизическая ..., 2006].

Основная идея Г. И. Каляева и Е. Б. Глевасского о возможности плитотектонической интерпретации геологических данных по УЩ состояла в реальной сравнимости разработанных авторами индикаторов палеогеодинамических обстановок фанерозоя и докембрия, выражающихся главным образом в геологических "полярностях" — вещественных, структурных, металлогенических и других. Идентификация типоморфных комплексов УЩ и выявление аналогии в истории их развития с фанерозойскими комплексами позволяют уверенно применять концепцию мобилизма к раннему докембрию.

Общеизвестное контрастное строение восточной части УЩ, выраженное в резком различии геологической структуры и тектонической активности Среднеприднепровского (СПБ) и Приазовского (ПБ) мегаблоков, находит однозначное, по Е. Б. Глевасскому, решение с точки зрения проявления субдукционной и коллизионной геодинамических обстановок с формированием пассивной (СПБ) и активной (ПБ) континентальных окраин андийского типа (по [Зоненшайн и др., 1976]). В начале раннего протерозоя эти мегаблоки, или скорее части микроплит, были разделены океанической литосферой, которая субдуцировала под ПБ. В результате коллизии СПБ и ПБ образовалась Орехово-Павлоградская шовная зона-сутура (ОПШЗ), в которой перемежаются участки коры обоих мегаблоков и базит-ультрабазиты метаморфизованной океанической коры.

Важным доказательством такого хода геодинамического процесса является удивительное подобие магматической и металлогенической зональностей ПБ таковой активных континентальных окраин андийского типа.

Четырехчленная зональность окраин этого типа, обусловленная субдукцией океанической литосферы под континентальную и латеральной эволюцией надсубдукционного магматизма в направлении удаления от коллизионного шва, представлена, по [Зоненшайн и др., 1976], последовательной сменой: областей развития крупных массивов тоналитов и гранодиоритов с золото-молибденовой, медной и магнетитоскарновой минерализацией (зона I); участками развития диоритов и монзонитов с полиметаллическими месторождениями (зона II); далее малыми массивами литий-фтористых гранитоидов с редкометалльным оруденением (зона III) и, наконец, областью развития щелочных гранитов, сиенитов и граносиенитов, нефелиновых сиенитов с циркон-торий-ниобиевой специализацией (зона IV). Соответственно, по мере удаления от коллизионного шва идет и омоложение магматических комплексов.

В пределах ПБ наблюдается аналогичная зональность (с выпадением или деструкцией зоны II): с востока к ОПШЗ примыкают массивы плагиогранитов ТТГ формации, относимые Е. Б. Глевасским [Глевасский, 1990] к обиточенскому комплексу, с рудопроявлениями меди, молибдена и магнетитовых скарнов (зона I); далее развиты малые массивы грейзенизированных гранитов каменноугольного комплекса с проявлениями касситерита, бериллий-литиевой и тантал-ниобиевой акцессорной минерализацией (зона III); еще восточнее развиты субщелочные граниты, граносиениты и сиениты восточно-приазовского комплекса с циркон-торий-ниобиевой минерализацией (зона IV). Позднее названия и возраст гранитоидных комплексов были уточнены [Щербак и др., 2005, 2008], однако, как и считал Е. Б. Глевасский, возраст гранитоидов "омолаживается" с запада на восток, по реперным датировкам: от 2,8—2,9 (шевченковский, обиточенский и другие комплексы), — 2,1—2,0 (салтычанский, анадольский, хлебодаровский и другие комплексы) до 1,8 млрд лет (южнокальчикский комплекс).

Окончательное представление Г. И. Каляева и Е. Б. Глевасского об архей-среднепротерозойском геодинамическом процессе в пределах восточной части УЩ показано на рис. 2.

Авторам пришлось отказаться от первоначально выдвинутой Г. И. Каляевым идеи наличия зоны спрединга в центральной части Среднеприднепровского мегаблока, так как они пришли к выводу о принадлежности этого и Приазовского мегаблоков к древним примитивным аналогам островных дуг, разделенным ОПШЗ

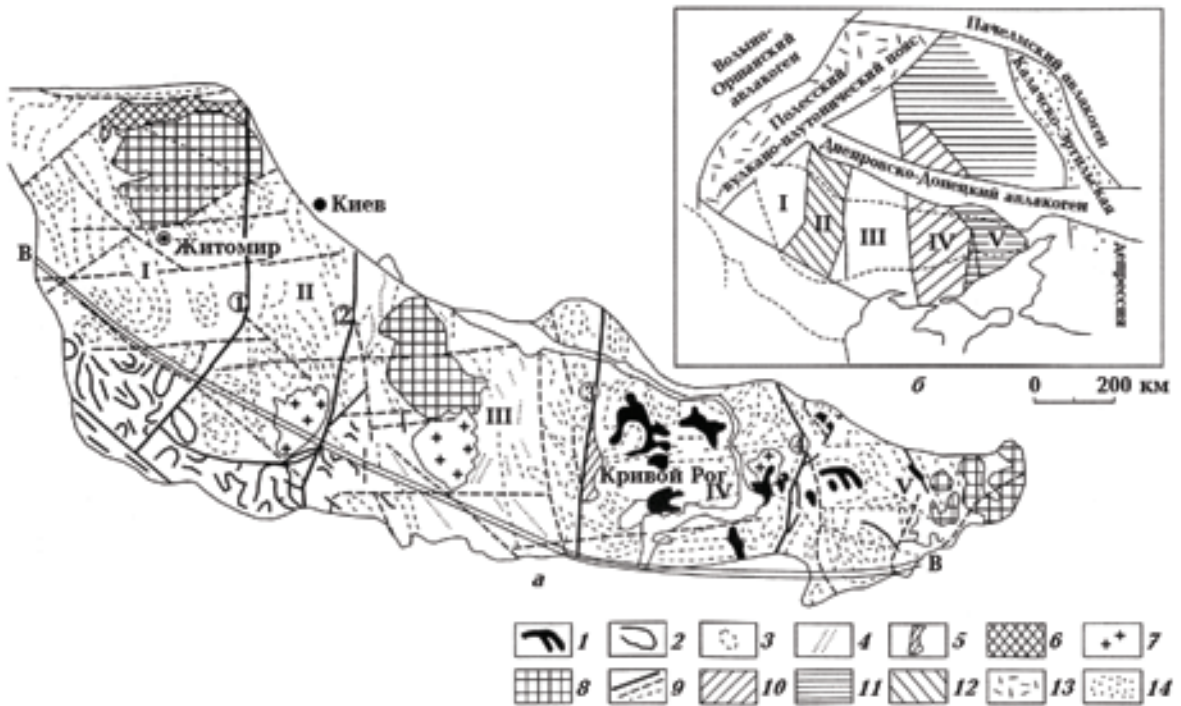


Рис. 2. Тектоническая схема УЩ (а) и юго-западного сегмента Восточно-Европейской платформы (б), по [Glevassky, Glevasska, 2002]. Мегаблоки (римские цифры на схемах): I — Вольно-Подольский, II — Белоцерковско-Среднебугский, III — Ингульский, IV — Среднеприднепровский, V — Приазовский; шовные зоны (цифры в кружках): 1 — Немировско-Кочеровская, 2 — Голованевско-Ядлов-Трактемировская, 3 — Западно-Ингулецко-Криворожская, 4 — Орехово-Павлоградская; гранитоидные и метаморфические комплексы: 1 — гранит-зеленокаменные архейские; 2 — гранулит-чарнокитоидные архей-протерозойские; 3 — нерасчлененные архей-протерозойские; 4 — палеопротерозойские; характерные структурно-формационные зоны: 5 — Криворожско-Кременчугская, 6 — Овручская; крупные массивы пород: 7 — гранитоидов, 8 — габбро-рапакивигранитов, сиенитов и граносиенитов; 9 — разломы разных порядков; 10–12 — микроконтиненты протоостро-водужного происхождения — архейские гранит-зеленокаменные области разных генераций; структурно-вещественные комплексы окраин Сарматии: 13 — вулканоплутонические (клевовская серия, осницкий комплекс), 14 — метатерригенно-вулканогенные (воронцовская серия) и магматические (перидотит-габбро-нориты мамонского комплекса); В–В — линеамент по В.Б. Сологубу, А.В. Чекунову.

— сутурной зоной на месте закрывшегося океанического бассейна. Детали формирования таких примитивных вулканических дуг описаны Е.Б. Глеваским в работе [Геолого-геофизическая ..., 2006].

Палеогеодинамическая реконструкция восточной части УЩ оказалась настолько удачной, что она до сих пор не вызывает особых сомнений у большинства исследователей геодинамики докембрия.

Сложнее был переход к центральной и, особенно, к западной части щита, где магматическая и металлогеническая зональность труднее сопоставляется с подобными характеристиками фанерозойских плитотектонических структур, а зональность регионального метаморфизма, по отношению к простирацию известных

шовных зон — Голованевской и Немировско-Кочеровской, вообще поперечна к основному направлению предполагаемого перемещения микроплит (рис. 2, 3). В работах [Glevassky, Glevasska, 2002] и [Геолого-геофизическая ..., 2006] Е.Б. Глеваским наиболее полно отражены его взгляды на эту проблему. Правда, в них больше вопросов и предположений, чем ответов, поэтому в работе [Геолого-геофизическая ..., 2009], посвященной Немировско-Кочеровской шовной зоне, излагаются и альтернативные взгляды Е.Б. Глевасского точки зрения К.Е. Есыпчука, С.В. Нечаева и других на геодинамику западной части УЩ.

По представлениям Е.Б. Глевасского и Е.М. Шеремета [Геолого-геофизическая ..., 2006, 2009], западная и центральная части УЩ (практичес-

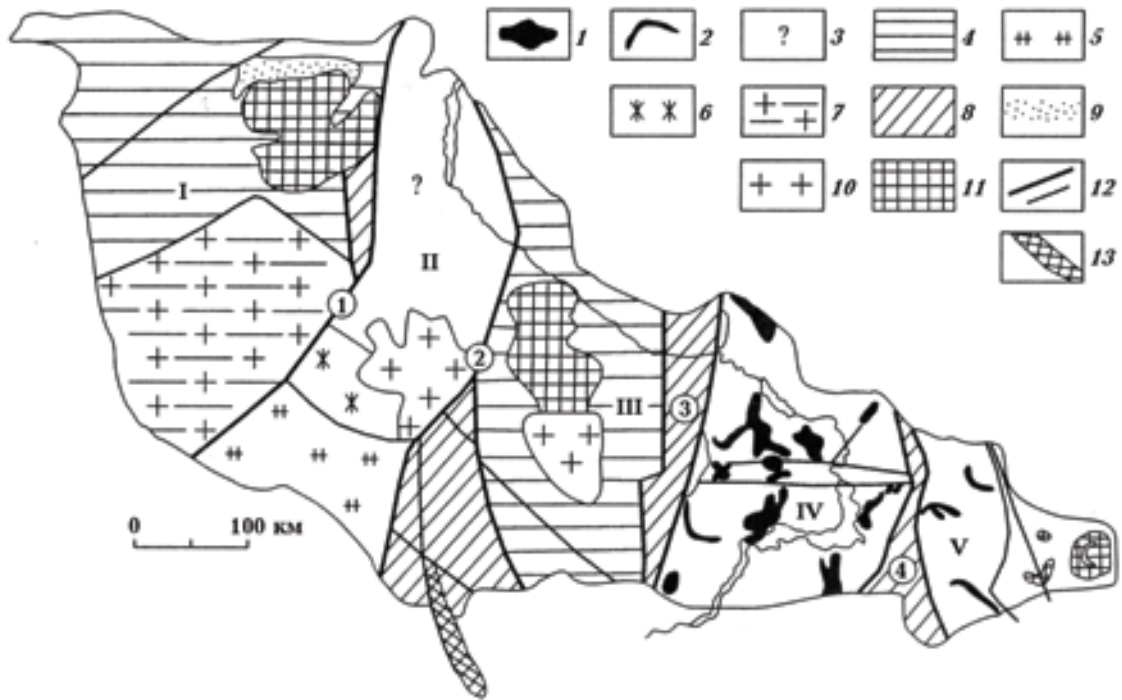


Рис. 3. Схема обобщенного вещественного состава мегаблоков УЩ, по [Глевасский, 2005]: 1—3 — гранит-зеленокаменные архейские породы (1 — удовлетворительной сохранности, 2 — преобразованные в протерозое, сильно эродированные, 3 — условно гранит-зеленокаменные, интенсивно преобразованные в протерозое); 4 — гранитогнейсовые, протерозойские породы; 5—7 — детализация вещественного состава мегаблоков на более глубоких срезах относительно отраженного в их названиях (5 — глубокоом (гранулиты, чарнокитоиды); 6, 7 — среднем (6 — собиты, 7 — бердичевские граниты)); 8 — комплексы шовных зон нерасчлененные; 9—11 — характерные структурно-формационные зоны и крупные массивы магматитов (9 — Овручская, 10 — гранитов, 11 — рапакиви-габбро-лабрадоритов и (Приазовский мегаблок) субщелочных гранитов, щелочных и нефелиновых сиенитов, габбро-сиенитов); 12 — главные разломы первого и последующих рангов; 13 — контур Одесских магнитных аномалий. Мегаблоки: I — Вольно-Подольский, II — Белоцерковско-Среднебугский, III — Ингульский, IV — Среднеприднепровский, V — Приазовский. Шовные зоны (цифры в кружках): 1 — Немировско-Кочеровская, 2 — Голованевско-Ядлово-Трактемировская, 3 — Западно-Ингулецко-Криворожско-Кременчугская, 4 — Орехово-Павлоградская.

ки вся западная часть Сарматии, см. рис. 2) состоят из трех мегаблоков-микроплит — Вольно-Подольского, Белоцерковско-Среднебугского и Ингульского. Такое деление щита отличается от показанного на рис. 1: Вольно-Подольский мегаблок объединил в себе Подольский и Вольнский, а Белоцерковско-Среднебугский — Бугский и Росинский. В принципе, с геодинамических позиций это, по-видимому, правильно, так как Голованевская и Немировско-Кочеровская шовные зоны-сутуры прослеживаются вдоль объединенных мегаблоков, не прерываясь на их границах.

Белоцерковско-Среднебугский мегаблок, по Е.Б. Глевасскому [Геолого-геофизическая ..., 2006], условно отнесен к гранит-зеленокаменной области островодужного типа, переработанной в протерозое. Амфиболиты и ультрабазиты росин-

ско-тикичской серии на севере мегаблока и гранулитовые комплексы Побужья — реликты эродированных зеленокаменных поясов. Ингульский и Вольно-Подольский мегаблоки рассматриваются как области развития гранито-гнейсовой коры, дважды прошедшей стадию океанизации, которая частично субдуцировала под Среднеприднепровский и Белоцерковско-Среднебугский мегаблоки.

Особенно детально Е. Б. Глевасским выполнялась палеогеодинамическая реконструкция Ингульского мегаблока [Геолого-геофизическая ..., 2006], который, по автору, формировался в течение следующих этапов (рис. 4):

- 1) архей: формирование Среднеприднепровской и Белоцерковско-Среднебугской зеленокаменных областей (примитивных островных дуг) — мегаблоков, разделенных океан-

ским (субокеанским) междутовым Криворожско-Одесским бассейном неизвестной (значительной) ширины;

2) конец архея — начало раннего протерозоя: отложение в перикратонных бассейнах обих зеленокаменных мегаблоков пород кри-

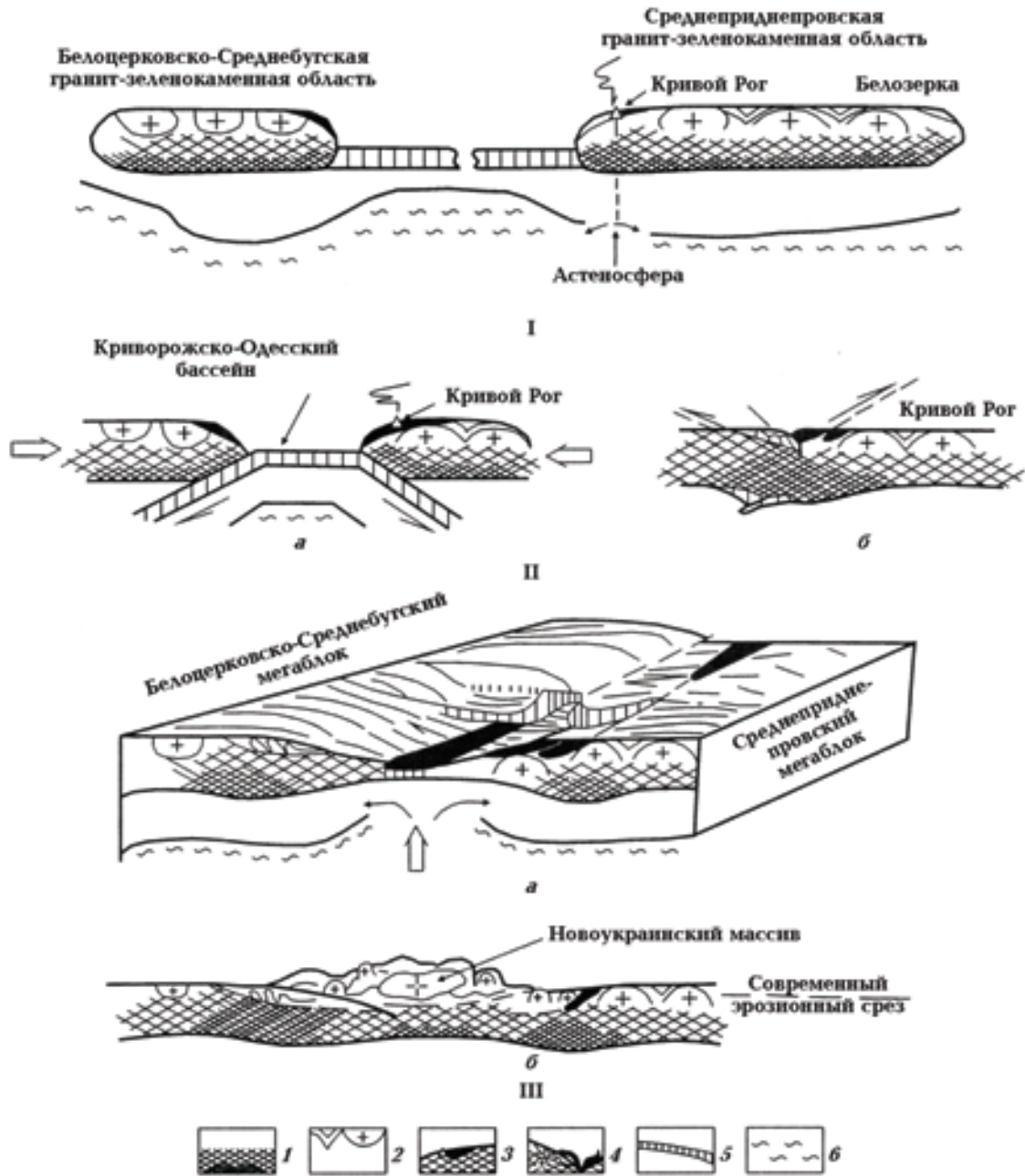


Рис. 4. Последовательность геодинамических обстановок, ответственных за формирование коры Ингульского мегаблока [Геолого-геофизическая ..., 2006]: I — обстановка после закрытия Среднеприднепровской гранит-зеленокаменной области (2,8 млрд лет); II — закрытие Криворожско-Одесского бассейна (а) и формирование промежуточного орогена (б) — первый этап формирования Криворожской сутуры (около 2,6 млрд лет); III — заложение Бугско-Чечелевского задугового рифтогенного бассейна (а), закрытие этого бассейна и формирование Кировоградского орогена (б), 1—4 — континентальная кора (1 — приблизительные соотношения между гранитным, гранулитовым и промежуточным "слоями"; 2 — гранит-зеленокаменные области со средним (слева) и глубоким эрозионными срезами; 3 — отложения перикратонных бассейнов; 4 — складчатые комплексы бассейновых отложений, в том числе железистых формаций); 5 — океанская кора; 6 — литосферная мантия.

ворожской серии, субдукция междугового Криворожско-Одесского бассейна под Среднеприднепровский и Белоцерковско-Среднебугский мегаблоки, закрытие бассейна и образование промежуточного орогена — первый этап формирования Криворожской сутуры;

- 3) ранний протерозой (отрезок 2,6—2,0 млрд лет): раздвиг мегаблоков в районе осевой части Криворожской сутуры первого этапа, образование рифтогенного Бугско-Чечелевского бассейна, отложение в нем пород бугской и ингуло-ингулецкой серий, закрытие бассейна и формирование Кировоградского орогена.

Этап формирования Кировоградского орогена (2,1—2,0 млрд лет назад) Е. Б. Глевасский считает и конечным этапом образования Сарматии.

Более подробно, с учетом новых геофизических, тектонофизических и геохронологических данных, концепция Е. Б. Глевасского рассмотрена в работе [Гинтов, 2014] и несколько уточнена. Было показано, что в возрастном отношении бугская серия скорее параллелизуется с криворожской, а не с ингуло-ингулецкой серией, которая моложе на 150—200 млн лет. Поэтому на этапе 2 в Криворожско-Одесском бассейне отлагались породы бугской (на западе) и криворожской (на востоке) серий, и после закрытия бассейна образовался Голованевско-Ингулецко-Криворожский коллизионный шов (рис. 5). Отложение ингуло-ингулецкой серии началось в результате раздвига этого шва, после чего породы всех трех серий были смяты в складки на этапе новой коллизии. Было также установлено, что Новоукраинский и Корсунь-Новомиргородский плутоны образовались в условиях растяжения литосферы, поэтому после коллизии должен был произойти новый раздвиг земной коры, не предусмотренный в модели Е. Б. Глевасского.

Большая работа по анализу строения УЩ с плитотектонических позиций проделана В. Г. Пастуховым, В. М. Клочковым, Л. С. Галецким, под руководством которых составлена Геодинамическая карта Украины масштаба 1 : 1 000 000 [Геодинамическая ..., 1993]. Основываясь на результатах геологосъемочных работ и большом объеме петрохимических и геохимических анализов докембрийских горных пород, авторами выделены структурно-вещественные комплексы (СВК), объединяемые, в свою очередь, в геодинамические комплексы, которые соответствуют конкретным геодинамическим обстановкам ран-

него докембрия. В отличие от Г. И. Каляева и Е. Б. Глевасского, эти исследователи подразделяют УЩ не на пять, а на четыре геоблока или сегмента — Вольно-Подольский, Кировоградский, Днепровский и Приазовский. При этом в Кировоградский сегмент они включают Белоцерковско-Среднебугский и Ингульский мегаблоки Е. Б. Глевасского, отделяемые от Вольно-Подольского сегмента системой Брусилловской и Тальновской зон разломов, а от Днепровского сегмента — Криворожско-Кременчугской. К зонам коллизии отнесены площади развития ранне-среднепротерозойских гранитоидов Кировоградского и Приазовского сегментов.

Самый крупный Кировоградский сегмент состоит, по [Геодинамическая ..., 1993], из трех зон: Западной ("Белоцерковская геосинклинальная ветвь", включающая и Голованевскую шовную зону, которая не рассматривается авторами отдельно), Центральной (между Первомайской и Кировоградской зонами разломов) и Восточной (между Кировоградской и Криворожско-Кременчугской зонами разломов). Границы Вольно-Подольского, Днепровского и Приазовского сегментов приблизительно соответствуют границам мегаблоков Г. И. Каляева и Е. Б. Глевасского.

Геодинамическая интерпретация тектонических единиц УЩ, выполненная авторами Геодинамической карты, отличается от рассмотренной выше интерпретации Е. Б. Глевасского. Если Приднепровский сегмент (или Среднеприднепровский мегаблок-микроплита) отождествляются в обоих исследованиях с палеовулканической дугой, то Приазовский сегмент авторы Карты рассматривают как сложный тектонический коллаж, в котором объединяется несколько геодинамических обстановок. Белоцерковско-Среднебугский мегаблок, отнесенный Е. Б. Глевасским к примитивной палеоостровной (палеовулканической) дуге, авторы Карты характеризуют (как и весь Кировоградский сегмент) как задуговой палеобассейн (окраинное море), в котором отмечены и более поздние элементы пассивной континентальной окраины (бугская серия), и островной дуги (протерозойские гранитоиды). Западное Приазовье, в отличие от интерпретации Е. Б. Глевасского и Г. И. Каляева, отнесено к пассивной континентальной окраине.

Как представляется автору настоящей статьи, основная ошибка составителей докембрийской части Карты состояла в том, что для всей без исключения территории УЩ геодинамические элементы и обстановки были рассмотрены

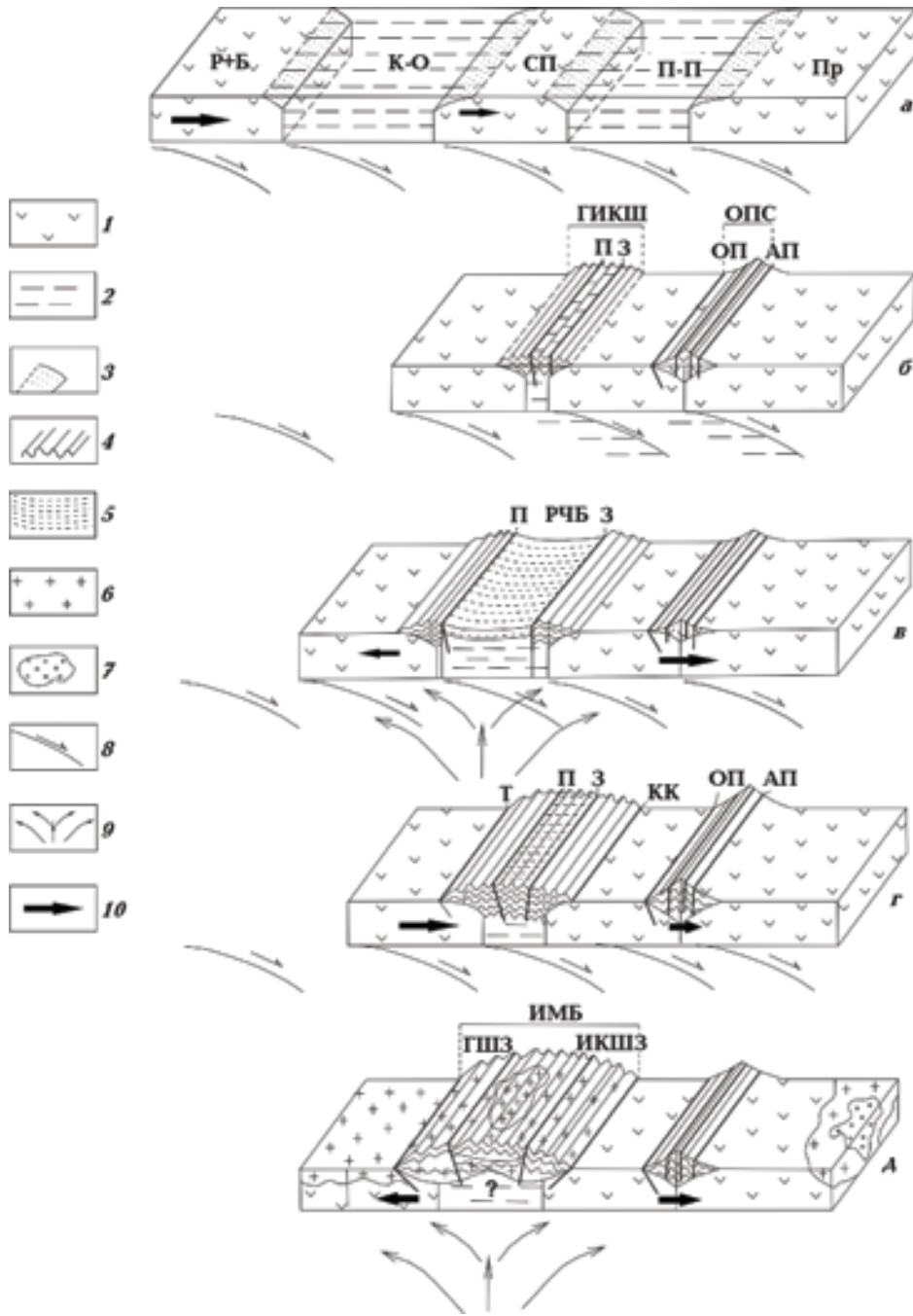


Рис. 5. Упрощенная внемасштабная схема предполагаемого палеогеодинамического процесса в центральной и восточной части УЩ, по [Гинтов, 2014]: 1 — континентальные микроплиты, состоящие из архейских мегаблоков (Р + Б — Росинского и Бугского, СП — Среднеприднепровского, Пр — Приазовского); 2 — океанские (субокеанские) микроплиты (К-О — Криворожско-Одесская, П-П — Приднепровско-Приазовская); 3 — терригенно-вулканогенно-карбонатные толщи, откладываемые на континентальных окраинах (геоклиналях); 4 — складчатость в породах коллизионных швов; 5 — вулканогенно-осадочные образования Рощаховско-Чечелевского бассейна; 6, 7 — протерозойская гранитизация архейских мегаблоков (6 — 2,0—2,1 млрд лет назад, 7 — 1,75—1,8 млрд лет назад); 8, 9 — направление движения мантийного вещества (8 — в восточной ветви конвективной ячейки или мантийного плюма регионального масштаба, 9 — в пульсирующем мантийном плюме местного масштаба); 10 — направление перемещения континентальных плит (длина стрелки отражает условную относительную скорость перемещения плиты). Буквенные обозначения: ГИКШ — Голованевско-Ингулецко-Криворожский коллизионный шов, ОПС — Орехово-Павлоградская сутура, РЧБ — Рощаховско-Чечелевский бассейн, ИМБ — Ингульский мегаблок, ГШЗ — Голованевская шовная зона, ИКШЗ — Ингулецко-Криворожская шовная зона; зоны разломов: П — Первомайская, З — Западно-Ингулецкая, ОП — Орехово-Павлоградская, АП — Азовско-Павловская, Т — Тальновская, КК — Криворожско-Кременчугская.

начиная с раннего архея и до позднего протерозоя, т. е. было принято, что на всей территории должна присутствовать архейская континентальная кора. Но палеомагнитные и тектонофизические данные показывают, что УЩ как единая структура сформировался не ранее 2,1—2,0 млрд лет, а до этого, особенно в позднем архее — раннем протерозое, существовал ряд отдельных плит или микроплит, отстоявших друг от друга на значительных (пока точно не известно, каких) расстояниях и разделенных участками океанской или субокеанской литосферы. Поэтому на отдельных участках щита, таких как центральная часть Ингульского мегаблока, восточная часть Приазовского, северо-западная часть Волынского, архейской континентальной коры вообще могло не быть.

В целом, составление Геодинамической карты Украины, особенно ее докембрийской части, имело положительное значение, поскольку позволило геологам-съемщикам приобщиться к идеям плитовой тектоники и выделению при съемке СВК, соответствующих различным геодинамическим обстановкам. Но почему масштаб 1 : 1 000 000? Даже сейчас рано геодинамические карты Украины составлять в таком крупном масштабе. А в 90-е годы прошлого века еще не были детально изучены и описаны шовные зоны УЩ; не было реперных радиогеохронологических датировок архейских и протерозойских комплексов и палеомагнитных данных по докембрийским комплексам УЩ; отсутствовали сейсмические данные по геотраверсам международных проектов Евробридж и DOBRE и сейсмологические данные о строении мантии Украины; кинематика большинства сдвиговых зон щита была установлена только к 2005 г. [Гинтов, 2005]. Представляется, что крупный масштаб карты был выбран из-за желания показать всю накопленную к тому времени геологическую информацию, хотя не вся она имела прямое отношение к выяснению геодинамических обстановок, т. е., как правильно указывают авторы, "совокупности глубинных и поверхностных геологических процессов, обусловленных латеральными и вертикальными движениями литосферных плит, микроплит и блоков, потоков вещества и энергии в условиях глобальных силовых полей".

Кроме того, даже удивительно, что при отсутствии указанной выше геодинамической информации авторам докембрийской части Карты удалось сделать ряд заключений, которые подтверждаются более поздними исследованиями. Это — сегментация УЩ, не сильно отличающаяся от районирования, предложенного

Г. И. Каляевым и Е. Б. Глеваским, отнесение Кировоградского сегмента, в основном совпадающего с Ингульским мегаблоком в работах [Глеваский, Каляев, 2000; Гинтов, 2005, 2014], к дуговым бассейнам и т. д. Все это свидетельствует о том, что чем больше накапливается геологических и геофизических данных, тем больше мы убеждаемся в правильности идей мобилизма.

Необходимо кратко остановиться на работах С. В. Богдановой, Е. И. Паталахи и В. В. Юдина, в которых формирование УЩ также рассматривается с геодинамических позиций. Эти работы интересны тем, что в них освещаются плитотектонические процессы, происходившие 2,0 млрд лет назад и позже.

В 1991 г. на симпозиуме EUROPROBE (пос. Яблонна, Польша) С. В. Богдановой [Bogdanova, 1993] было обосновано деление ВЕК на три архей-протерозойских сегмента — Фенноскандию, Сарматию и Волго-Уралию, которые большую часть раннего протерозоя были удаленными друг от друга континентами и лишь в конце его столкнулись, объединившись в (прото) ВЕК — мегаконтинент, получивший в литературе название Балтика. В дальнейшей геологической истории контуры Балтики-ВЕК несколько изменялись за счет процессов аккреции и рифтогенеза, и все же Балтика оставалась наиболее стабильной литосферной плитой, входившей в состав суперконтинентов Колумбия (1,8—1,5 млрд лет назад), Родиния (1,4 или 1,1—0,75 млрд лет назад), Пангея (пермь—триас), в том числе суперплит Евразия и Евразия.

Об этом нужно напомнить потому, что вся северо-западная часть УЩ в протерозое развивалась под влиянием процессов, предвещавших и завершавших коллизию Фенноскандии и Сарматии. Работы С. В. Богдановой и ее коллег во многом посвящены именно изучению деталей этих пред- и постколлизионных процессов. По ее инициативе и под ее научным руководством были осуществлены геолого-геофизические исследования по проекту Евробридж (рис. 6), результаты которых обобщены в работах [Bogdanova et al., 2004, 2006, 2008 и др.].

Согласно работам [Bogdanova et al., 2006, 2008], объединение Сарматии и Волго-Уралии произошло 2,0 млрд лет назад с образованием шва, сложенного метаморфическими комплексами, мигматитами и гранитами, деформированными 2,05—2,02 млрд лет назад. Сочленение Сарматии—Волго-Уралии с Фенноскандией состоялось 1,8—1,7 млрд лет назад с образованием Центрально-Белорусской шовной зо-

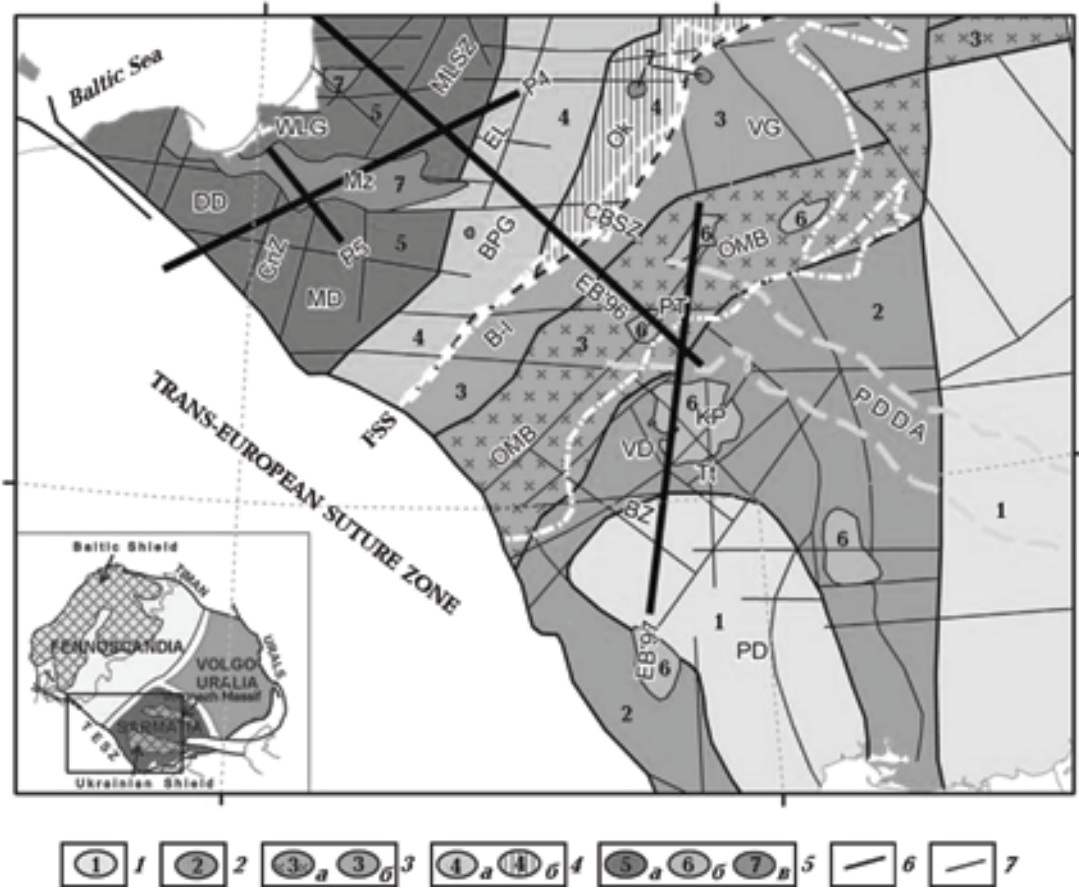


Рис. 6. Тектонические блоки и пояса, по [Bogdanova et al., 2006]: В-І — Борисово-Ивановский пояс, ВРР — Белорусско-Подляский гранулитовый пояс, ВЗ — Бердичевская зона, CBSZ — Центрально-Белорусская шовная зона, DD — Добржинский блок, EL — Восточно-Литовский пояс, FSS — шов Фенноскандия—Сарматия, КР — Коростенский плутон, MD — блок Мазовше, MLSZ — Среднелитовская шовная зона, Mz — Мазурские плутонические породы, Ок — Околовский террейн, OMB — Осницко-Микашевичский магматический пояс, PD — Подольский блок, PDDA — Припятско-Днепровско-Донецкий авлакоген, Тt — Тетеревский пояс, VD — Вольнский блок, VG — Витебский гранулитовый блок, WLG — Западно-Литовский гранулитовый блок. Штрихпунктирная белая линия ограничивает Вольно-Оршанский авлакоген. Черные линии показывают положение сейсмических профилей Евробридж (ЕВ'96, ЕВ'97) и POLONAISE (P4 и P5). На вставке показано трехсегментное деление ВЕК [Bogdanova, 1993] и площадь исследования Евробридж. Архей: 1 — образования возрастом 3,7—2,8 млрд лет; протерозой: 2 — орогенические пояса возрастом 2,2—2,1 млрд лет; 3 — Осницко-Микашевичский магматический пояс возрастом 2,0—1,95 млрд лет (а — среднеглубинные, б — нижнеглубинные фрагменты пояса); 4 — орогенические пояса возрастом 1,90—1,85 млрд лет (а — террейны возрастом 2,0 млрд лет, б — вовлеченные в ороген возрастом 1,9 млрд лет); 5 — орогенные пояса возрастом 1,85—1,80 млрд лет (а); б, в — АМЧГ и связанные с ним породы (б — 1,80—1,74 млрд лет, в — 1,65—1,40 млрд лет); б — основные границы террейнов; 7 — основные зоны разломов/сдвигов.

ны (ЦБШЗ), в которую со стороны Сарматии—Волго-Уралии вошли Осницко-Микашевичский пояс (ОМП) протяженностью до 1000 км, Борисов-Ивановский и Витебский блоки, сходные с ОМП по составу, но более высокометаморфизованные. Северо-западная граница Сарматии и, соответственно, юго-восточная граница

Фенноскандии проходят в ЦБШЗ по Минской зоне разломов, которая прослеживается уже за пределами Украины.

В пределах УЩ представлена только небольшая часть ОМП, сложенного здесь в основном гранитами, гранодиоритами и диоритами, а также небольшими интрузиями основного и ульт-

раосновного состава осницкого комплекса. Метаэффузивные и метаосадочные породы клебовской серии занимают незначительную площадь. Возраст пород ОМП 1,95—2,0 млрд лет [Bogdanova et al., 2006; Щербак и др., 2008]. Он соответствует началу субдукции субокеанического бассейна, разделявшего Сарматия—Волго-Уралию и Фенноскандию, под активную окраину Сарматии—Волго-Уралии. Коллизия, как уже отмечалось, состоялась 1,8—1,7 млрд лет назад. В этот период сформировался послесубдукционный коростенский комплекс габбро-анортозитов и гранитов рапакиви.

В верхнем протерозое на ЦБШЗ был наложен Волыно-Оршанский прогиб (см. рис. 6), юго-западная часть которого в пределах Украины называется Волыно-Полесским [Геотектоника ..., 1990]. Формирование прогибов на месте шовных зон, разделяющих Фенноскандию, Сарматия и Волго-Уралию, отмечает этап позднепротерозойской активизации и рифтообразования — начало распада Родинии, хотя при этом Балтика-ВЕК сохранила свою целостность.

Особый интерес представляет развитый в пределах УЩ дайковый комплекс, изучаемый геологами и геофизиками длительное время [Крутиховская и др., 1976; Ахметшина, 1980; Шаталов, 1986; Паталаха и др., 2004; Bogdanova et al., 2012]. В последних двух работах дайковый комплекс использован для анализа плитотектонических процессов, поэтому они заслуживают пристального внимания.

Работа [Bogdanova et al., 2012], в которой активное участие принимал коллектив Института геофизики и в которой использован большой по объему фактический материал по структуре, составу, петрологии, геохимии, геохронологии дайковых поясов, палеомагнитным, тектонофизическим и другим геофизическим данным, показала, что общее тектоническое транснапряженное положение мафического дайкообразования, связанного с АМЧГ магматизмом в Волго-Сарматии, определялось конвергентной тектоникой и постколлизийным распадом (растяжением?) утолщенной литосферы, а также расслоением мантии в сочетании с вращением Волго-Сарматии в период между 1,80 и 1,75 млрд лет. Это согласуется с палеомагнитной реконструкцией, указывающей на ротацию Волго-Сарматии во время ее длительной косой стыковки с террейнами Фенноскандия и Лаврентия в ходе формирования суперконтинента Колумбия (Нуна).

Остановимся на представлениях Е. И. Паталахи, изложенных в небольших разделах "Пост-

коллизийный дайковый пояс УЩ" и "Украинский щит как передовой литосферный вал юго-западного форланда Восточно-Европейского кратона" в монографии [Паталаха и др., 2004].

Основная идея Е. И. Паталахи относительно плитотектонической истории развития юго-западной части ВЕК и его полихронного складчатого обрамления состоит в том, что после В-субдукции и закрытия океанов Палео- и Неотетис следовала А-субдукция — затягивание в субдукционную "щель" утоненной литосферы пассивной континентальной окраины ВЕК, располагавшейся, как следует из его идеи, южнее и западнее УЩ. Этот процесс, по автору, происходил с перерывами в течение всего неогее, т. е. мезопротерозоя—квартера (от 1600 млн лет до настоящего времени). Даже формирование альпийского орогена Украинских Карпат автор рассматривает с этих позиций: после субдукции океанической литосферы, разделявшей ВЕК и "Паннонский микроконтинент", следовала коллизия и субдукция утоненной континентальной окраины (геоклинали) ВЕК под "микроконтинент". Как было показано в работе [Гинтов и др., 2014], геофизические данные не подтверждают такой механизм: альпийская субдукция (затягивание) континентальной литосферы происходила под будущий Карпатский ороген и ВЕК с запада.

Однако это не означает, что идея Е. И. Паталахи вообще не верна: А-субдукция ВЕК в южном и западном направлениях могла происходить в доальпийский период не только в неогее, но и ранее. Отчасти на этот вопрос могут ответить как раз материалы изучения дайковых поясов УЩ.

В уже упомянутой работе [Bogdanova et al., 2012] показано, что дайковые пояса УЩ наиболее широко развиты в Волыньском, Ингульском и Приазовском мегаблоках, имеют преобладающий мафитовый состав и, главное, преобладающее простирание $310—330^\circ$ (рис. 7). Наиболее широко развитые пояса мафитовых даек северо-западного простирания располагаются вдоль осевой зоны УЩ, субпараллельны ей и в основном совмещаются с зонами разломов, возникшими или активизированными в условиях северо-восточного или субширотного (в современных координатах) растяжения литосферы.

Следовательно, идея Е. И. Паталахи о том, что УЩ сформировался как передовой предсубдукционный вал ВЕК в ходе его геодинамической эволюции, может оказаться весьма продуктивной. Примером, как установил автор,

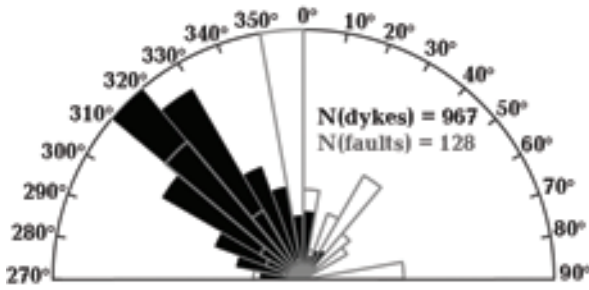


Рис. 7. Роза-диаграмма простираний мафитовых даек УЩ, по [Bogdanova et al., 2012].

являются многие молодые и современные коллизионные пояса, в частности Западно-Тихоокеанский (Марианский), Загросский, Бразильско-Кордильерский и др. Во время океанской или континентальной субдукции при заклинивании субдуцирующей плиты возникает ее шарнирный изгиб (выпучивание). В верхней части этого предсубдукционного вала в результате изгибного эффекта образуются трещины растяжения, заполняемые мантийным и нижнекоревым расплавом (рис. 8).

Геохронологически эти процессы в принципе могут подтвердиться. Последний этап формирования УЩ — образование плутонов рапакиви и субщелочных гранитов Приазовья 1,75—1,8 млрд лет назад [Щербак и др., 2008]. В это время УЩ, по-видимому, начал уже воздыматься, так как трещины остывания, фиксируемые в плутонах на уровне современного эрозионного среза, возникли на глубине всего около 2—3 км [Гинтов, 2005; Гинтов, Мычак, 2011]. Обобщенный возраст поясов мафических даек северо-западного простирания, по достоверным данным (новые модификации уран-свинцового метода исследования цирконов и отчасти монацита и бадделеита, а также рубидий-стронциевый и самарий-неодимовый методы), также 1,75—1,8 млрд лет [Bogdanova et al., 2012], т. е. процесс воздымания щита и одновременного формирования дайковых поясов вполне вероятен. Но это — конец раннего протерозоя, а не неогей. Для конца раннего протерозоя, по [Хаин, Божко, 1988], характерно начало объединения всех континентов в суперконтинент Пангею I (называемую также, как уже отмечалось, Родинией), в котором Балтика объ-

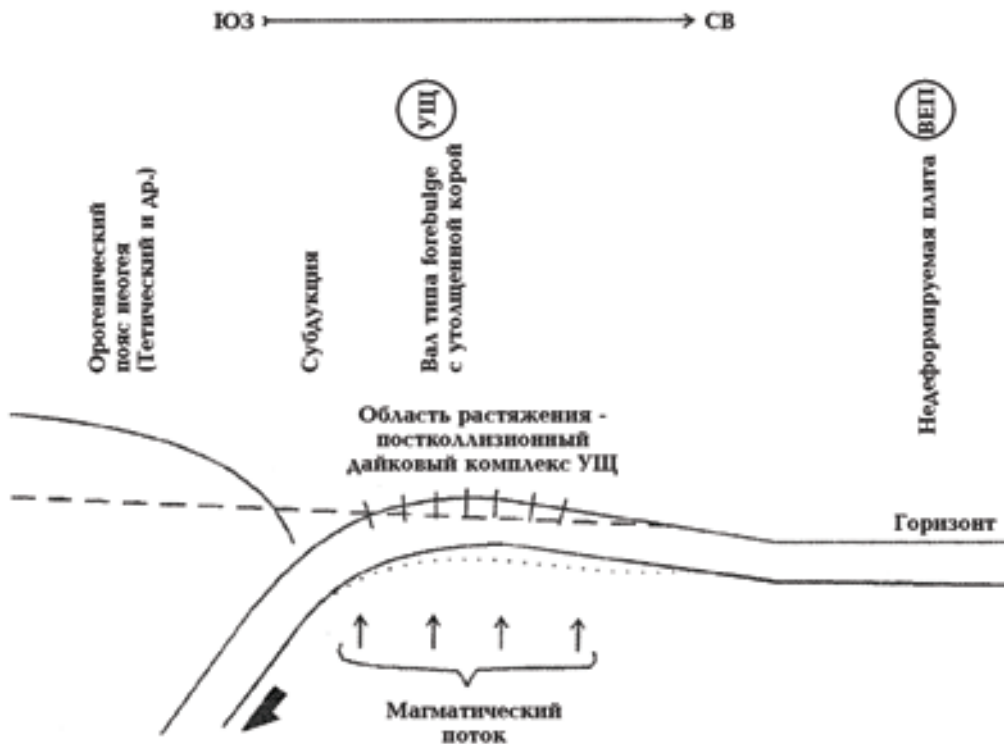


Рис. 8. Схема образования УЩ и постколлизийного дайкового комплекса как следствие континентальной субдукции под полихронный орогенный пояс к юго-западу и формирования предсубдукционного вала forebulge в неогене, по [Паталаха и др., 2004].

единялась с плитным ансамблем, располагавшимся между ней, Африкой и Северной Америкой. Гипотетически в этот период и могла происходить субдукция юго-западной континентальной окраины Балтики под этот плитный ансамбль.

Более обоснованно о субдукции ВЕК на юг и запад можно говорить для палеозоя — мезозоя, учитывая реконструкции В.В. Юдина [Юдин, 2007] и данные по Вольно-Подольской плите [Геодинамика ..., 1985; Геотектоника ..., 1990; Гинтов и др., 2014].

По В.В. Юдину, в позднем девоне Днепровско-Донецкий палеорифт с океанической или субокеанической литосферой соединялся с океаном Палеотетис, который отделял Евро-Азиатскую плиту (тогда еще Евроамерику) от Гондваны и нескольких террейнов — Крымского, Скифского, Туранского и др. Это согласуется с палинспастической реконструкцией территории СССР для позднего девона, выполненной в работе [Зоненшайн и др., 1990]. В перми—триасе произошла субдукция с севера под эти террейны, коллизия их с Евроамерикой, в результате которой образовались Донецкая складчато-надвиговая область и Донецкая, Таганрогская и Северокрымская коллизионные сuture.

Можно предположить, что вслед за океанской плитой в зону субдукции втягивалась и пассивная окраина ВЕК, при этом продолжалось формирование предсубдукционного вала УЩ. На западе, на пассивной окраине ВЕК — Вольно-Подольской моноклинали — в девоне—карбоне сформировался Львовско-Люблинский палеозойский прогиб (ЛЛПП) и "краевой шов" ВЕК, описанный в работах [Геодинамика ..., 1985; Геотектоника ..., 1990]. Структурные особенности ЛЛПП, его фундамента и "краевого шва" позволяют предполагать, что в позднем карбоне—перми здесь существовал поддвиг ВЕК под Рава-Русскую эпиорогенную зону (аналог Скифской), а "краевой шов" является сутурной зоной, подобной Северокрымской. Такая трактовка не противоречит "мобилистскому" варианту развития зоны сочленения ВЕК и Западно-Европейской плиты, изложенному в работе [Геотектоника ..., 1990, с. 145], в которой авторы предполагают коллизию этих плит в герцинскую эпоху.

Здесь вкратце были рассмотрены основные результаты геодинамического изучения докембрия Украины геологическими методами (в которых, естественно, использовались в ограниченном масштабе и геофизические данные). Из всех названных исследователей активно продолжает работать только С.В. Богданова, кото-

рая уже давно показала, что материалы геофизики, особенно глубинной геофизики, должны ложиться в основу геодинамических построений. Во многом благодаря С.В. Богдановой и другим европейским ученым Институт геофизики НАН Украины в настоящее время наиболее масштабно и последовательно продолжает развивать геодинамическое направление в науках о Земле. Для геодинамики докембрия Украины важное значение имеют результаты сейсмических работ по проектам Евробридж и DOBRE, палеомагнитных, тектонофизических и сейсмотомографических исследований, гравитационного, магнитного, геоэлектрического и геотермического моделирования.

Ближайшими задачами геофизических исследований по углублению знаний о геодинамике украинского докембрия являются:

1) по примеру работ программы DOBRE [Maystrenko et al., 2003; Старостенко и др., 2006; Starostenko et al., 2012, 2013, а, б] проложение международного геотраверса, пересекающего типоморфную геодинамическую зональность УЩ в широтном направлении (субпараллельно геотраверсу IV), с использованием современной аппаратуры и усовершенствованных методик обработки и интерпретации полученных данных;

2) тесное комплексирование тектонофизических и палеомагнитных работ по изучению кинематики микроконтинента Сарматии в раннем протерозое и неогее. При этом важное значение приобретают поиски пригодных для палеомагнитного изучения геологических объектов возрастом старше 2,0 млрд лет;

3) обновление базы исходных данных сейсмотомографии (мониторинг данных ISC, расширение сети сейсмических станций Украины и включение их в мировую сеть) и разработка новых подходов при интерпретации данных о глубинном строении коры и мантии территории юго-западной окраины ВЕК;

4) наращивание объемов наблюдений и совершенствование методики интерпретации потенциальных геофизических полей по изучению структуры литосферы УЩ (в особенности выделение пологопадающих иolistических разломов), наличия, природы, возраста и глубины залегания астеносферы.

Конечно, решение геодинамических задач геофизическими методами не может выполняться без привлечения геологических данных. Для геодинамики докембрия Украины, как представляется автору, наиболее важное значение име-

ют данные радиогеохронологии и глубинной петрологии архейских и протерозойских комплексов, которых, к сожалению, недостаточно. При этом хотелось бы, чтобы радиоизотопное изучение протерозойских пород комплексировалось с палеомагнитными исследованиями, так как положение виртуального магнитного полюса только тогда имеет геодинамическое значе-

ние, когда известна его точная возрастная привязка.

Автор уверен, что дальнейшее развитие геофизических, геохронологических, петрологических и структурно-геологических исследований в пределах УЩ позволит достичь ощутимого прогресса в решении проблем геодинамики докембрия.

Список литературы

- Ахметшина А.К. Взаимосвязь дайковых образований с тектоническими этапами развития Украинского щита. Докл. АН СССР. 1980. Т. 250. № 5. С. 1201—1204.
- Бахмутов В.Г., Иосифиди А.Г. Палеомагнетизм палеопротерозойских магматических пород УЩ: Тезисы докл. Междунар. науч.-практ. конф. "Стратиграфия, геохронология и корреляция нижнедокембрийских породных комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы". УкрГГРИ, 2010. С. 25—27.
- Геодинамика Карпат. Ред. В.В. Глушко, С.С. Кружлов. Киев: Наук. думка, 1985. 135 с.
- Геодинамическая карта Украины. Под ред. Л.С. Галецкого. Киев: Геопрогноз, 1993. 213 с.
- Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита. Под ред. А.В. Анциферова. Киев: Наук. думка, 2008. 308 с.
- Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита. Под ред. А.В. Анциферова. Киев: Наук. думка, 2006. 196 с.
- Геолого-геофизическая модель Немировско-Кочеровской шовной зоны Украинского щита. Под ред. А.В. Анциферова. Донецк: Вебер, 2009. 253 с.
- Геотектоника Вольно-Подоллии. Под ред. И.И. Чебаненко. Киев: Наук. думка, 1990. 243 с.
- 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. Рецензия на статью Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородней О.В., Логвинова И.М., Тарасова В.Н. "Эволюция тектоносферы Украинских Карпат". Геофиз. журн. 2012. Т. 34. № 6. С. 179—180.
- 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., Исай В.М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. Киев: Наук. думка, 1988. 228 с.
- Гинтов О.Б., Мычак С.В. Кинематика формирования 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., Мычак С.В. Напряженные состояния и деформации земной коры центральной части Ингульского мегаблока по материалам тектонофизического изучения Новоукраинского массива. Геофиз. журн. 2011. Т. 33. № 2. С. 28—45.
- 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. 2014. Т. 36. № 5. С. 26—63.
- 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.
- Глевасский Е.Б. Геодинамические критерии прогнозно-поисковой оценки алмазности Украинского щита и прилегающих территорий. Минерал. журн. 1995. № 2. С. 3—12.
- Глевасский Е.Б. Геолого-петрологическая модель восточной части Украинского щита и закономерности размещения железорудных формаций: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Киев, 1990. 42 с.
- Глевасский Е.Б. Зеленокаменные пояса и перспективы поисков золотого оруденения в Приазовье. Минерал. журн. 1996. № 4. С. 72—88.

- Глевасский Е. Б. Латеральная зональность и эволюция магматизма восточной части Украинского щита как индикатор докембрийской палеогеодинамики. В кн.: *Эволюция магматизма в главных структурах Земли*. Москва: Наука, 1983. С. 72—73.
- Глевасский Е. Б. Палеогеодинамические реконструкции в раннем докембрии юго-восточной части УЩ. В кн.: *Тектоносфера Украины*. Киев: Наук. думка, 1989. С. 68—75.
- Глевасский Е. Б. Решение некоторых проблем петрологии и стратиграфии 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.
- Глевасский Е. Б., Каляев Г. И. Тектоника докембрия Украинского щита. *Минерал. журн.* 2000. № 2. С. 77—91.
- Гордиенко В. В. О гипотезе тектоники плит. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 6. С. 72—101.
- Гордиенко В. В. Ответ на рецензию О. Б. Гинтова. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 6. С. 181—183.
- Гордиенко В. В. Ответ на статью Я. М. Хазана. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 5. С. 175—176.
- Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Логвинов И. М., Тарасов В. Н. Эволюция тектоносферы Украинских Карпат. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 6. С. 160—178.
- Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Моралев В. М. Глобальная тектоника, магматизм и металогеология. Москва: Недра, 1976. 231 с.
- Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Натанов Л. М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 2. Москва: Недра, 1990. 334 с.
- Каляев Г. И. Земная кора Украинского щита и тектоника плит. *Геол. журн.* 1976. Т. 36. Вып. 1. С. 29—41.
- Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых. Под ред. В. И. Старостенко, О. Б. Гинтова. Киев: Простые луды, 2013. 500 с.
- Крутиховская З. А., Пашкевич И. К., Подолянюк С. М. Закономерности распределения дайковых комплексов Украинского щита. *Геофиз. сб.* 1976. Вып. 74. С. 61—74.
- Паталаха Е. И., Сенченков И. К., Трофименко Г. Л. Проблемы тектоно-геодинамической эволюции юго-западного форланда Восточно-Европейского кратона и его орогенического обрамления. Киев: ЭКМО, 2004. 234 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.
- Структурная геология и тектоника плит. Под ред. К. Сейферта. Т. 1. Москва: Мир, 1990. 315 с.
- Хаин В. Е., Божко Н. А. Историческая геотектоника. Докембрий. Москва: Недра, 1988. 384 с.
- Хаин В. Е., Сеславинский К. Е. Историческая геотектоника. Палеозой. Москва: Недра, 1991. 398 с.
- Хазан Я. М. Тектоника плит: "за" и "за". *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 5. С. 170—174.
- Шаталов Н. Н. Дайки Приазовья. Киев: Наук. думка, 1986. 182 с.
- Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М., Пономаренко А. Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. Киев: Наук. думка, 2005. 243 с.
- Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М., Пономаренко А. Н., Шумлянский Л. В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Киев: Наук. думка, 2008. 239 с.
- Югин В. В. Геодинамика Черноморско-Каспийского региона. Киев: УкрГГРИ, 2007. 143 с.
- Bogdanova S. Segments of the East European Craton. Eds D. G. Gee, M. Beckholmen. EUROPROBE in Jablonna 1991. Warszawa: Institute of Geophysics. Polish Acad. of Sci. European Sciences Foundation, 1993, 33—38.
- Bogdanova S. V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T. N., Kozlov V. I., Puchkov V. N., Volozh Y. A., 2008. 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., Mimmi K., Nilsson 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.
- Bogdanova S., Gorbatshev R., Grad M., Janik T., Guterch A., Koslovskaya E., Motusa G., Skridlaite G., Starostenko V., Taran L. EUROBRIDGE and POLONAISE Working Groups, 2006. EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of the East Euro-

- pean Craton. *European Lithosphere Dynamics*. Eds D. G. Gee, R. A. Stephenson. London: Geol. Soc., 599—627.
- 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.
- Elming S. A., Kravchenko S. N., Layer P., Rusakov O. M., Glevasskaya A. M., Mikhailova N. P., Bachtadze V., 2006. Palaeomagnetism and $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 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.
- Glevassky E. B., Glevasska A. M., 2002. The Ukrainian Shield: Precambrian Regional Structure and Paleogeodynamics. *Mineralogicheskiy zhurnal* 24 (4), 47—57.
- Kravchenko S. M., 2005. First estimate for the age of Mesoproterozoic paleomagnetic pole from the Volodarsk-Volynsky Massif, the Ukrainian Shield. *Stud. Geophys. Geod.* 49, 177—190.
- Maystrenko Y., Stovba S., Stephenson R., Menyoli E., Gajewski D., Huebscher C., Rabbel W., Saintot A., Starostenko V., Thybo H., Tolkunov A., 2003. Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine. *Geology* 31(8), 733—736.
- Morgan W. J., 1971. Convection plumes in the lower mantle. *Nature* 230, 42—43. doi:10.1038/230042a0.
- 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. *Geofizicheskiy zhurnal* 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. M., Omelchenko V., Gintov O., Kutas R., Gryn D., Guterch A., Hegedüs E., Komminaho K., Legostaeva O., Tiira T., Tolkunov A., 2013a. 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.
- Starostenko V., Janik T., Lysynchuk D., Šroda P., Czuba W., Kolomiyets K., Gintov O., Omelchenko V., Komminaho K., Guterch A., Tiira T., Gryn D., Legostaeva O., Thybo H., Tolkunov A., 2013b. Mesozoic(?) lithosphere-scale buckling of the East European Craton in southern Ukraine: DOBRE-4 deep seismic profile. *Geophys. J. Int.* 195, 740—766.
- Starostenko V., Janik T., Stephenson R., Gryn D., Tolkunov A., Czuba W., Šroda P., Lysynchuk D., Omelchenko V., Grad M., Kolomiyets K., Thybo H., Legostaeva O., 2012. Integrated seismic studies of the crust and upper mantle at the southern margin of the East European Craton (Azov Sea—Crimea—Black Sea area), DOBRE-2 & DOBRE'99 transect. *The 15th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents and Their Margins. Programme and Abstracts*. Beijing, China, September 16—20, 2012, P. 85.
- Wilson J. T., 1969. Possible Origin of the Hawaiian Islands. *Canad. J. Phys.* 41(6), 863—870. doi:10.1139/p63-094.

Problems of geodynamics of the Ukrainian Shield in Precambrian

© O. B. Gintov, 2015

The main achievements of Ukrainian geologists and geophysicists in the studies of processes of geodynamic development of the Ukrainian Shield in the Archean — Early Proterozoic are considered as well as the main problems and tasks for their solving. For further effective studies of Precambrian geodynamic processes it is proposed to increase the extent of examinations of the deep structure of the Shield by laying international geo-traverse of deep seismic sounding, which crosses the typomorphic geodynamic zoning of the Shield in latitudinal direction. The extent of radiogeochronologic and deep petrologic studies of the Shield and their integration with paleomagnetic and tectonophysical data is also important.

Key words: geodynamics, Ukrainian Shield, suture, collision, microplate, oceanic crust.

References

- Akhmetshina A.K.*, 1980. The relationship of dyke formations with tectonic stages of the Ukrainian Shield development. *Doklady AN SSSR* 250(5), 1201—1204 (in Russian).
- Bakmutov V.G., Iosifidi A.G.*, 2010. Palaeomagnetic studies of the paleoproterozoic magmatic rocks of the Ukrainian Shield. *Theses of Reports of the International Scientific-practical Conference "Stratigraphy, geochronology and correlation of lower precambrian rock complexes of the foundation of the East European platform"*. UkrGGRI, 25—27 (in Russian).
- Geodynamics of the Carpathians, 1985. Eds V.V. Glushko, S.S. Kruglov. Kiev: Naukova Dumka, 135 p. (in Russian).
- Geodynamic map of Ukraine, 1993. Ed. L.S. Galetskiy. Kiev: Geoprognoz, 213 p. (in Russian).
- Geological-geophysical model of the Golovanevsk suture zone of the Ukrainian Shield, 2008. Ed. A.V. Antsiferov. Kiev: Naukova Dumka, 308 p. (in Russian).
- Geological-geophysical model of the Krivoy Rog-Kremenchug suture zone of the Ukrainian Shield, 2006. Ed. A.V. Antsiferov. Kiev: Naukova Dumka, 196 p. (in Russian).
- Geological-geophysical model of the Nemirovsk-Kocherovsk suture zone of the Ukrainian Shield, 2009. Ed. A.V. Antsiferov. Donetsk: Veber, 253 p. (in Russian).
- Geotectonics of the Volyn-Podoliya, 1990. Ed. I.I. Chebanenko. Kiev: Naukova Dumka, 243 p. (in Russian).
- Gintov O.B.*, 2001. Planetary crustal deformations, rotation of the Earth and the movement of the lithospheric plates. *Geofizicheskiy zhurnal* 23 (4), 69—82 (in Russian).
- Gintov O.B.*, 2005. Field tectonophysics and its application in the study of crustal deformation of Ukraine. Kiev: Feniks, 572 p. (in Russian).
- Gintov O.B.*, 2012. Review of the article Gordienko V.V., Gordienko I.V., Zavgorodnya O.V., Logvinov I.M., Tarasov V.N. "Evolution of tectonosphere of the Ukrainian Carpathians". *Geofizicheskiy zhurnal* 34 (6), 179—180 (in Russian).
- Gintov O.B.*, 2014. Scheme of periodization fault formation stages of the Earth's crust of the Ukrainian Shield — new data and consequences. *Geofizicheskiy zhurnal* 36 (1), 3—18 (in Russian).
- Gintov O.B., Isay V.M.*, 1988. Tectonophysical studies of faults of the consolidated crust. Kiev: Naukova Dumka, 228 p. (in Russian).
- Gintov O.B., Mychak S.V.*, 2014. Kinematics of the formation of the of the Ukrainian Shield between 1,80—1,73 billion years ago on the results of the studies of mountain rocks fracturing of the Korosten and Korsun-Novomirgorod plutons. *Geofizicheskiy zhurnal* 36(4), 24—36 (in Russian).
- Gintov O.B., Mychak S.V.*, 2011. Strained conditions and crustal deformations of the central part of the Ingul'sk megablock on materials of tectonophysical studies of the Novoukrainian massif. *Geofizicheskiy zhurnal* 33 (2), 28—45 (in Russian).
- Gintov O.B., Yegorova T.P., Tsvetkova T.A., Bugarenko I.V., Murovskaya A.V.*, 2014. Geodynamic features of junction zone of the Eurasian plate and the Alpine-Himalayan zone within Ukraine and adjacent territories. *Geofizicheskiy zhurnal* 36 (5), 26—63 (in Russian).
- Gintov O.B., Pashkevich I.K.*, 2010. Tectonophysical analysis and geodynamic interpretation of the three-dimensional geophysical model of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy zhurnal* 32 (2), 3—27 (in Russian).
- Glevasskiy E.B.*, 1995. Geodynamic criteria of forecast-searching estimation of diamond-bearing of the Ukrainian Shield and adjacent territories. *Mineralogicheskiy zhurnal* (2), 3—12 (in Russian).
- Glevasskiy E.B.*, 1990. Geological and petrological model of the Eastern part of the Ukrainian Shield and regularity of location of iron ore formations. The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of geological and mineralogical sciences. Kiev, 42 p. (in Russian).
- Glevasskiy E.B.*, 1996. Greenstone belt and prospects of gold mineralization searches in the Azov Sea. *Mineralogicheskiy zhurnal* (4), 72—88 (in Russian).
- Glevasskiy E.B.*, 1983. Lateral zoning and the evolution of magmatism of the Eastern part of the Ukrainian Shield as an indicator of Precambrian paleogeodynamics. In: *Evolution of magmatism in the main structures of the Earth*. Moscow: Nauka, 72—73 (in Russian).
- Glevasskiy E.B.*, 1989. Paleogeodynamic reconstruction in the Early Precambrian of the Southeastern part of the Ukrainian Shield. In: *Tectonosphere of Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, 68—75 (in Russian).
- Glevasskiy E.B.*, 2005. Troubleshooting of petrology and stratigraphy of the Ukrainian Shield as

- to plate tectonics positions. *Mineralogicheskij zhurnal* 27(3), 57—66 (in Russian).
- Glevasskiy E. B., Kalyaev G. I., 1998. Precambrian and plate tectonics (problem of plate tectonics reconstructions of the Southwest segment of the East European platform). In: *Geology and stratigraphy of the Ukrainian Shield Precambrian*. Kyiv, 38—40 (in Russian).
- Glevasskiy E. B., Kalyaev G. I., 2000. Tectonics of Precambrian of Ukrainian Shield. *Mineralogicheskij zhurnal* (2), 77—91 (in Russian).
- Gordienko V. V., 2013. About the hypothesis of plate tectonics. *Geofizicheskij zhurnal* 35 (6), 72—101 (in Russian).
- Gordienko V. V., 2012. Response to review O. B. Gintov. *Geofizicheskij zhurnal* 34 (6), 181—183 (in Russian).
- Gordienko V. V., 2014. Response to the article Ya. M. Khazan. *Geofizicheskij zhurnal* 36 (5), 175—176 (in Russian).
- Gordienko V. V., Gordienko I. V., Zavgorodnyaya O. V., Logvinov I. M., Tarasov V. N., 2012. Evolution tectonosphere Ukrainian Carpathians. *Geofizicheskij zhurnal* 34 (6), 160—178 (in Russian).
- Zonenshayn L. P., Kuzmin M. I., Moralev V. M., 1976. Global tectonics, magmatism and metallogeny. Moscow: Nedra, 231 p. (in Russian).
- Zonenshayn L. P., Kuzmin M. I., Natapov L. M., 1990. Plate lithospheric tectonics of the USSR. Book 2. Moscow: Nedra, 334 p. (in Russian).
- Kalyaev G. I., 1976. The crust of the Ukrainian Shield and plate tectonics. *Geologicheskij zhurnal* 36 (is. 1), 29—41 (in Russian).
- Kirovograd ore district. Deep structure. Tectonophysical analysis. Deposits of ore minerals. 2013. Eds V. I. Starostenko, O. B. Gintov. Kiev: Prastye ludy, 500 p. (in Russian).
- Krutikhovskaya Z. A., Pashkevich I. K., Podolyanko S. M., 1976. Regularities of distribution of dyke complexes of Ukrainian Shield. *Geofizicheskij sbornik* (is. 74), 61—74 (in Russian).
- Patalakha E. I., Senchenkov I. K., Trofimenko G. L., 2004. The problems of tectonic-geodynamic evolution of the southwestern forelands of the East European craton and its orogenic bordering. Kiev: EKMO, 234 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. *Geofizicheskij zhurnal* 33 (3), 3—22 (in Russian).
- Structural geology and plate tectonics. Ed. K. Seyfert. Vol. 1. Moscow: Mir, 1990, 315 p. (in Russian).
- Khain V. E., Bozhko N. A., 1988. Historical geotectonics. Precambrian. Moscow: Nedra, 384 p. (in Russian).
- Khain V. E., Seslavinskiy K. E., 1991. Historical geotectonics. Paleozoic. Moscow: Nedra, 398 p. (in Russian).
- Khazan Ya. M., 2014. Plate tectonics: «for» and «for». *Geofizicheskij zhurnal* 36 (5), 170—174 (in Russian).
- Shatalov N. N., 1986. Dykes of Azov. Kiev: Naukova Dumka, 182 p. (in Russian).
- Shcherbak N. P., Artemenko G. V., Lesnaya I. M., Ponomarenko A. N., 2005. Geochronology of Early Precambrian of Ukrainian Shield. Achaean. Kiev: Naukova Dumka, 243 p. (in Russian).
- Shcherbak N. P., Artemenko G. V., Lesnaya I. M., Ponomarenko A. N., Shumlyanskiy L. V., 2008. Geochronology of Early Precambrian of Ukrainian Shield. Proterozoic. Kiev: Naukova Dumka, 239 p. (in Russian).
- Yudin V. V., 2007. Geodynamics of the Black Sea—Caspian region. Kiev: UkrGGRI, 143 p. (in Russian).
- Bogdanova S. Segments of the East European Craton. Eds D. G. Gee, M. Beckholmen. EUROPROBE in Jablonna 1991. Warszawa: Institute of Geophysics. Polish Acad. of Sci. European Sciences Foundation, 1993, 33—38.
- Bogdanova S. V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T. N., Kozlov V. I., Puchkov V. N., Volozh Y. A., 2008. 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., Mimmi K., Nilsson 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.
- Bogdanova S., Gorbatshev R., Grad M., Janik T., Guterch A., Koslovskaya E., Motusa G., Skridlaite G., Starostenko V., Taran L. EUROBRIDGE and POLONAISE Working Groups, 2006. EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of the East European Craton. European Lithosphere Dynamics. Eds. D. G. Gee, R. A. Stephenson. London: Geol. Soc., 599—627.
- Bogdanova S. V., Pashkevich I. K., Buryanov V. B., Makarenko I. A., Orlyuk M. I., Skobelev V. M., Sta-

- rostenko 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.
- Elming S.A., Kravchenko S.N., Layer P., Rusakov O.M., Glevasskaya A.M. Mikhailova N.P., Bachtadze V., 2006. Palaeomagnetism and $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 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.
- Glevassky E.B., Glevasska A.M., 2002. The Ukrainian Shield: Precambrian Regional Structure and Paleogeodynamics. *Mineralogicheskij zhurnal* 24 (4), 47—57.
- Kravchenko S.M., 2005. First estimate for the age of Mesoproterozoic paleomagnetic pole from the Volodarsk-Volynsky Massif, the Ukrainian Shield. *Stud. Geophys. Geod.* 49, 177—190.
- Maystrenko Y., Stovba S., Stephenson R., Menyoli E., Gajewski D., Huebscher C., Rabbel W., Saintot A., Starostenko V., Thybo H., Tolkunov A., 2003. Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine. *Geology* 31(8), 733—736.
- Morgan W.J., 1971. Convection plumes in the lower mantle. *Nature* 230, 42—43. doi:10.1038/230042a0.
- 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. *Geofizicheskij zhurnal* 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.M., Omelchenko V., Gintov O., Kutas R., Gryn D., Guterch A., Hegedüs E., Komminaho K., Legostaeva O., Tiira T., Tolkunov A., 2013a. 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.
- Starostenko V., Janik T., Lysynchuk D., Šroda P., Czuba W., Kolomiyets K., Gintov O., Omelchenko V., Komminaho K., Guterch A., Tiira T., Gryn D., Legostaeva O., Thybo H., Tolkunov A., 2013b. Mesozoic(?) lithosphere-scale buckling of the East European Craton in southern Ukraine: DOBRE-4 deep seismic profile. *Geophys. J. Int.* 195, 740—766.
- Starostenko V., Janik T., Stephenson R., Gryn D., Tolkunov A., Czuba W., Šroda P., Lysynchuk D., Omelchenko V., Grad M., Kolomiyets K., Thybo H., Legostaeva O., 2012. Integrated seismic studies of the crust and upper mantle at the southern margin of the East European Craton (Azov Sea—Crimea—Black Sea area), DOBRE-2 & DOBRE'99 transect. *The 15th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents and Their Margins. Programme and Abstracts.* Beijing, China, September 16—20, 2012, P. 85.
- Wilson J.T., 1969. Possible Origin of the Hawaiian Islands. *Canad. J. Phys.* 41(6), 863—870. doi:10.1139/p63-094.