

Докембрий Украинского щита и тектоника плит

© О. Б. Гинтов, 2012

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина
Поступила 1 августа 2012 г.
Представлено членом редколлегии В. И. Старостенко

Посвящается памяти
Евгения Борисовича Глевасского

На прикладі Інгульського мегаблока Українського щита показано особливості реконструкції плитотектонічного розвитку літосфери в архей — ранньому протерозої. Розглянуто геологічну модель, запропоновану Є. Б. Глеваським, у зіставленні з тектонофізичними даними стосовно мегаблока. Матеріали незалежних досліджень узгоджуються між собою в рамках плитотектонічного підходу з урахуванням *PT*-умов раннього докембрію. На відміну від геологічної моделі, яка передбачає колізійну природу гранітоїдів мегаблока, тектонофізична модель встановлює, що більшість гранітних масивів сформувались у процесі розсуву мікроплит.

By the example of the Ukrainian Shield Ingul megablock the reconstruction features of the plate tectonic development of the lithosphere in the Archean — Early Proterozoic have been shown. We analyze the geological model proposed by E. B. Glevassky in comparison with the tectonophysical data on the megablock. The proceedings of the independent studies are consistent with each other within the framework of the plate tectonic approach taking into account *PT*-conditions of the Early Precambrian. In contrast to the geological model providing the collision nature of the megablock granitoids, the tectonophysical model establishes that most granite massifs were formed in the process of microplates pushing apart.

Введение. Возвращение к данной проблеме¹ вызвано тем, что фундаментальные исследования в области плитотектонического развития Украинского щита (УЩ) в раннем докембрии резко сократились с уходом из жизни выдающихся украинских ученых Г. И. Каляева, Е. Б. Глевасского и Е. И. Паталахи. «Моде» на плитовую тектонику подвержены сейчас многие украинские геологи и геофизики, особенно производственники. Слова «плита», «сутура», «субдукция», «коллизия», «островная дуга», «рифтовая долина» и т.д. употребляются часто к месту и не к месту. Однако за этими словами не всегда стоит серьезное отношение к вопросам геодинамики, поскольку переход к плитотектонической интерпретации геолого-геофизических данных требует отказа от некоторых прежних понятий и, главное, пояснения причины употребления новых терминов.

Да и само слово «геодинамика» стало во многих случаях расхожим термином, хотя, по определению, «...геодинамика — раздел наук о

Земле, в котором делается попытка объяснить глобальные и региональные геологические явления и факты на основе динамических *принципов механики*»..., а ее цель состоит в том, «... чтобы на основе известных законов физики и химии построить модель эволюции Земли» [Структурная..., 1990, с. 81].

Ближе всего к таким принципам, по мнению автора, стоял коллектив, руководимый Е. И. Паталахой [Паталаха, 2002; 2005; Паталаха и др., 2003а,б], но объектом геодинамических исследований этих ученых было альпийское обрамление юга и юго-запада Восточно-Европейской платформы (ВЕП).

Е. Б. Глевасский, Г. И. Каляев, С. В. Богданова использовали, применительно к условиям докембрия, актуалистический подход, опираясь на петрологические, геохронологические и общегеологические, в том числе геофизические, данные [Каляев и др., 1984; Глевасский, 1989; 1995; 1996; 2005; Глевасский, Каляев, 1998; 2000; Каляев, 1997; Bogdanova, 1993; Bogdanova et al., 1996; 2004; 2006; 2008].

В целом этими авторами и их коллегами были получены непротиворечивые геодинамические модели развития УЩ или отдельных его

¹ Аналогичные статьи [Глевасский, Каляев, 1998; 2000] были опубликованы 12—14 лет тому назад.

регионов. Однако в подобных моделях осталось много неясностей, которые связаны в основном со следующими причинами.

- В стадии разработки еще находится геологическая модель раннедокембрийской литосферы и коры [Chardon et al., 2009; Sizova et al., 2010 и др.]. Но уже многим, в том числе и Е. Б. Глевасскому, было ясно, что модель жесткой литосферной плиты в раннем докембрии не работает и необходим переход к новым видам субдукционных механизмов.

- Геодинамические модели УЩ Е. Б. Глевасский и Г. И. Каляев создавали достаточно «широкими мазками», не задерживаясь на деталях, поэтому многим специалистам, занимающимся конкретными районами, было трудно использовать эти модели в своих построениях.

Вместе с тем за последние годы накопилось большое количество новых геологических и геофизических материалов, особенно по сейсмометрии (проекты Евробридж и Добре), сейсмотомографии, геотермии, тектонофизике. Эти материалы, во-первых, подтверждают многие выводы, сделанные отмеченными выше учеными, а во-вторых, позволяют дополнить и уточнить некоторые детали и закономерности.

- Исследованиями по проектам Евробридж и Добре [Maystrenko et al., 2003; Bogdanova et al., 2006; Старостенко и др., 2007; Гинтов, Пашкевич, 2010 и др.], в дополнение к уже имевшимся сейсмическим данным по УЩ, получена детальная скоростная стратификация коры и прилегающих к ней участков мантии, выделены достаточно резкие субгоризонтальные и слабонаклонные площадки: горизонтальные плоскости срыва, связанные с перемещением литопластин по латерали (детачменты) и сейсмические поверхности, обусловленные переходом от верхней хрупко-пластичной к нижней вязкотекучей части коры (аттачменты, по [Chardon et al., 2009]).

- По данным сейсмотомографии [Гейко и др., 2006] верхняя мантия под УЩ, как и под всей ВЕП, разделена не только горизонтальными, но и наклонными (погружающимися и воздымающимися) относительно высоко- и низкоскоростными слоями мощностью от 100—200 до 500 км. Такая мгновенно запечатленная структура верхней мантии свидетельствует о конвективных и адвективных потоках мантийного вещества. Кроме того, сейсмотомографией зафиксированы субвертикальные скоростные неоднородности («мантийные скоростные колонки» [Старостенко и др., 2011; Заец, 2011]), нередко пересекающие всю мантию, которые

отражают возможное присутствие мантийных «струй».

- Снят вопрос о возможности или невозможности плитотектонических процессов в докембрии. Геотермические исследования показывают (см. например, [Кутас, 2008]), что уже в раннем архее могла существовать жесткая литосфера мощностью 40—50 км, разделенная на блоки, а в подстилающей мантии — мелкочаечистая конвекция, обеспечивавшая вертикальные и горизонтальные перемещения таких блоков. В среднем и позднем архее тепломассоперенос обеспечивался как плюмовым, так и плитовым механизмом, а в протерозое—фанерозое — крупночаечистой конвекцией, в результате которой постепенно произошел переход к плитовой тектонике современного вида.

- Материалы тектонофизических исследований документально отражают крупноплитудные субгоризонтальные перемещения блоков литосферы вдоль многочисленных зон разломов (зон сдвига) и периоды тангенциального сжатия и растяжения земной коры УЩ [Гинтов, Исай, 1988; Гинтов, 2005; Гинтов, Мычак, 2011а]. Необходимо подчеркнуть, что, по мнению автора, несколько подзабытая идея А. Вегенера о перемещении материков возродилась в виде тектоники плит не только когда было установлено принципиальное различие между корой континентов и океанов, выявлены полосовые магнитные аномалии, доказан раздвиг Атлантики и обоснован цикл Вильсона, но и когда были доказаны масштабные сдвиги вдоль крупных разломов типа Сан-Андреас, Мендосино, Клиппертон, Романш, Иорданский, Масира, Альпийский (Новая Зеландия) и др. (в последствии такие разломы были названы трансформными). Ибо какими механизмами, кроме как конвекцией мантийного вещества, можно объяснить подобные горизонтальные сдвиги?

- Установление протяженных и мощных раннедокембрийских сдвигов (в широком смысле, т. е. не только горизонтальных) в пределах УЩ заставляет также по-новому взглянуть на процессы пороодо- и структурообразования, ибо классическая схема — осадконакопление, погружение, региональный метаморфизм, складчатость, эксгумация — в докембрии не является единственной.

Сланцеватость, гнейсоватость, послойная мигматизация и линеализация, полученные в сдвиговых зонах в условиях деформации авто- и аллохтонных гранитоидов и базитов, внешне

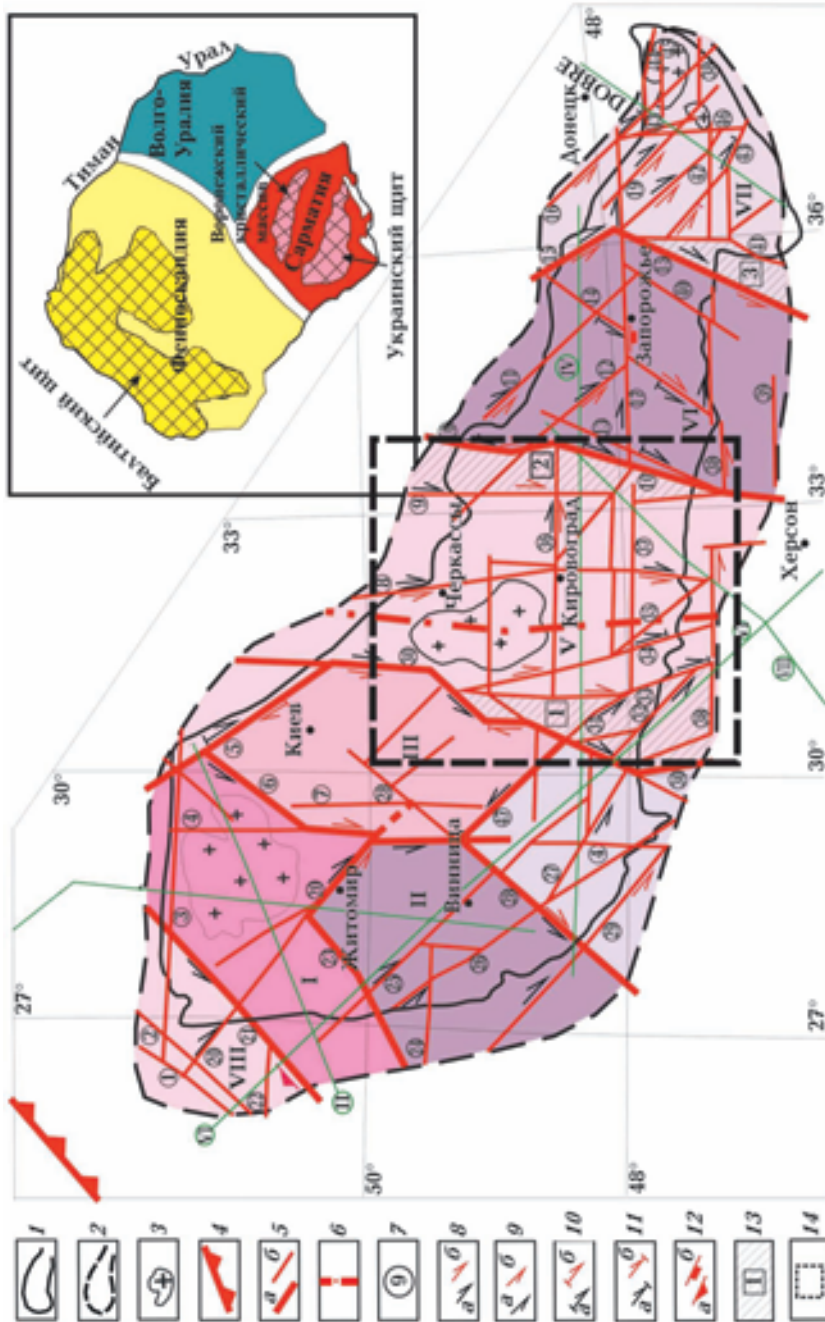


Рис. 1. Схема УЩ и основных зон разломов [Гинтов, 2005; Гинтов, Пашкевич, 2010; Гинтов, Мычак, 2011a]; 1 — контур обнаженной части щита; 2 — контур склонов щита, в пределах которых прослеживаются складчатые и разрывные структуры докембрийского фундамента по геофизическим данным; 3 — плутоны и крупные интрузивные массивы гранитоидов; 4 — граница между Сарматией и Фенноскандией; 5 — разломы (а — межмегаблоковые, б — внутримегаблоковые); 6 — трансрегиональная зона раздвига Херсон—Смоленск; 7 — зоны разломов (1 — Горынская, 2 — Луцкая, 3 — Полесская, 4 — Звиздаль-Залеская, 5 — Ядлов-Трактмировская, 6 — Чернобыльская, 7 — Брусиловская, 8 — Кириворожская, 9 — Западно-Ингулецкая, 10 — Криворожско-Кременчугская, 11 — Днепродзержинская, 12 — Светловодская, 13 — Саксаганская, 14 — Дерезоватская, 15 — Орехово-Павлоградская, 16 — Центрально-Волноватская, 17 — Девадовская, 18 — Малоаннисольская, 19 — Краснополянская, 20 — Сарненско-Варваровская, 21 — Суцано-Пержанская, 22 — Владимир-Вольнская, 23 — Тетеревская, 24 — Хмельницькая, 25 — Хмельницькая, 26 — Летичевская, 27 — Ободовская, 28 — Немировская, 29 — Подольская, 30 — Тальновская, 31 — Емиловская, 32 — Врэдиевская, 33 — Первомайская, 34 — Звенигородско-Братская, 35 — Новоукраинская, 36 — Субботско-Мошоринская, 37 — Бобринецкая, 38 — Конкская, 39 — Горностаевская, 40 — Малозакариньковская, 41 — Азовско-Павловская, 42 — Куйбышевская, 43 — Сорокинская, 44 — Южно-Донбасская, 45 — Верхнекамшевская, 46 — Центрально-Приазовская, 47 — Ташевская; 8—12 — кинематические знаки (8 — правый сдвиг, 9 — левый сдвиг, 10 — взброс-сдвиг, 11 — сброс-сдвиг, а — во время заложения, б — во время главной фазы активизации, 12 — взброс (а) и сброс (б)), 13 — шовные зоны (1 — Голованевская, 2 — Ингулеcko-Криворожская, 3 — Орехово-Павлоградская); 14 — площадь исследований. Мегаблоки: I — Вольнский; II — Подольский; III — Росинский; IV — Бутский; V — Ингульский; VI — Среднеприднепровский; VII — Приазовский; VIII — Вольно-Полесский вулcano-плутонический пояс.

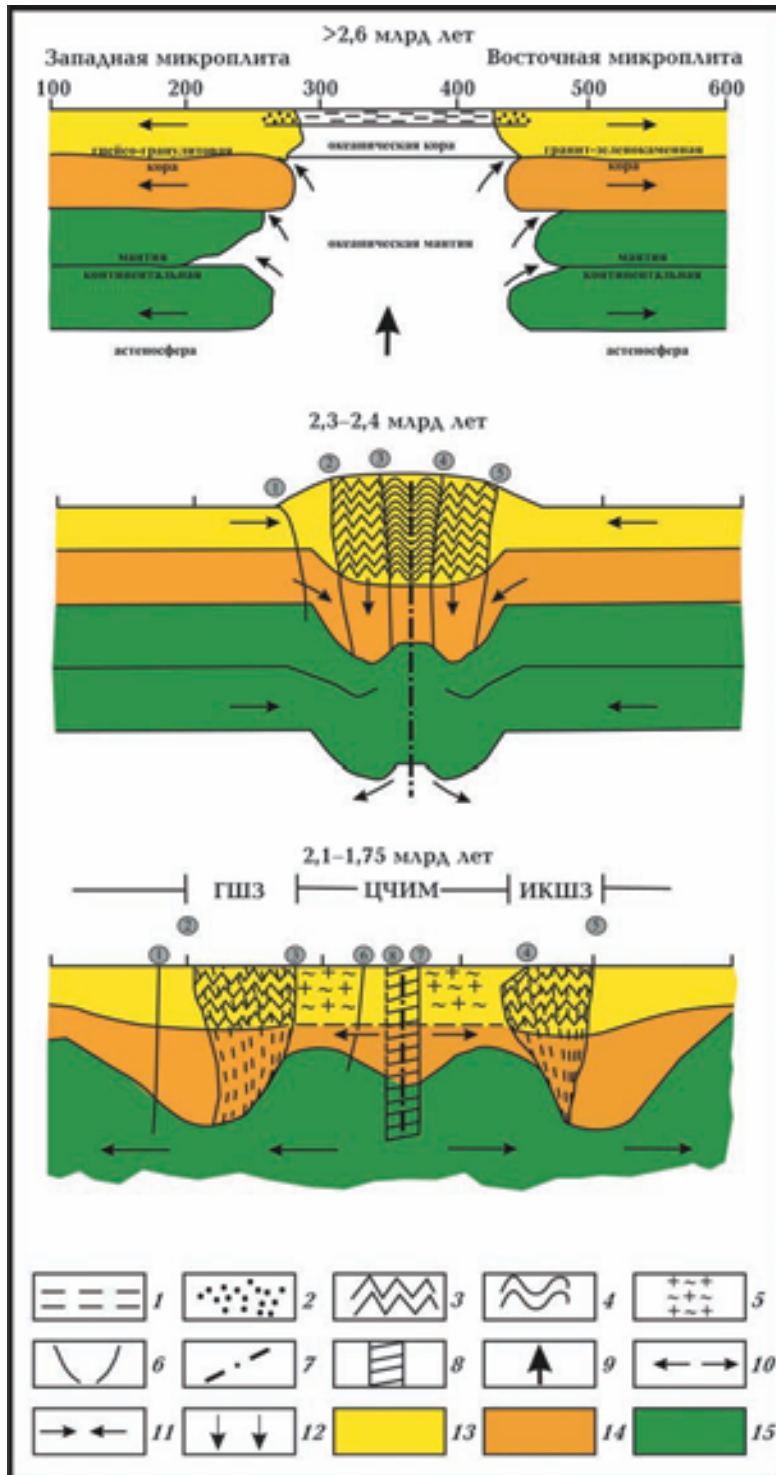


Рис. 4. Упрощенная схема геодинамического развития Центральной части УЩ в неорехее—раннем протерозое: 1 — океанический бассейн, 2 — отложения бугской (на западе) и криворожской (на востоке) серий, 3 — складчатость в породах бугской и криворожской серий, 4 — складчатость в породах ингуло-ингулецкой серии, 5 — гранитизированные породы ингуло-ингулецкой серии, гранитоиды кировоградского, новоукраинского и корсунь-новомиргородского комплексов, 6 — осевые линии зон разломов (цифры в кружках) (1 — Одесской, 2 — Тальновской, 3 — Первомайской, 4 — Западно-Ингулецкой, 5 — Криворожско-Кременчугской, 6 — Звенигородско-Братской, 7 — Кировоградской), 7 — осевая линия трансрегиональной зоны сдвига-раздвига Херсон—Смоленск, 8 — минимальная ширина зоны, 9 — направление подъема неорехейского плюма, 10 — направление раздвига микроплит, 11 — направление сближения микроплит, 12 — удлинение УГО по вертикали, 13 — верхняя кора, 14 — нижняя кора, 15 — мантия.

напоминают текстуры, образующиеся при метаморфизме осадочных и вулканогенных пород (известный принцип конвергенции). Формационный и фациальный анализ (восстановление первичного характера фаций и симметрии осадочного бассейна), изучение складчатости простого горизонтального сжатия (субгоризонтальные шарниры, субвертикальные осевые плоскости) иногда дают возможность отличить толщи кристаллосланцев и гнейсов, образованные по вышеприведенной классической схеме от аналогичных толщ сдвиговых зон стрессметаморфизма. Но, признаться, много ли в пределах УЩ (за исключением, возможно, отдельных зеленокаменных структур Среднего Приднестровья) установлено вулканогенно-осадочных бассейнов на основе сочетания вышеприведенных критериев? И, главное, много ли в пределах УЩ разбурено шарниров «синклиналей», сложенных известными сериями и свитами супракрустальных пород?

Структурно-тектоническое изучение УЩ показало [Гинтов, Исай, 1988; Гинтов и др., 1990; Гинтов, 2005; Гинтов, Мычак, 2011а и др.], что внутреннее строение многих известных крупных структур, начиная с Голованевской шовной зоны на западе и заканчивая Сорокинской зеленокаменной зоной на востоке, характеризуется внутри- и приразломной складчатостью сдвигового типа, в которой большинство отдельных складок являются однокрыльями с субвертикальными или крутопадающими шарнирами. Синклинальная природа таких структур оказывается под большим сомнением. В свое время Голованевская шовная зона представлялась многими как «Первомайск-Голованевский синклинорий», но современные специалисты от такой трактовки справедливо отказались. Почему же тогда в геологической и геофизической литературе продолжают фигурировать такие понятия, как Братский, Ингульский, Криворожско-Кременчугский и другие «синклинории»? Потому что если это не синклинории, то тогда — зоны (с разными приставками) либо моноклинали, либо просто линейно вытянутые участки коры, формирование которых связано с горизонтальным или наклонным перемещением блоков или плит. А это уже другая тектоника.

Приведенными рассуждениями автор хотел поделиться потому, что начавшийся когда-то в мире спор между «вертикалистами-фиксистами» и «горизонталистами» и закончившийся в пользу последних в Украине все еще продол-

жается. Но, как только он закончится, это будет означать, что идеи украинских первопроходцев плитовой тектоники взяты на вооружение не формально, а с проникновением в их суть.

Лучше всего это можно показать на примере детально изученного разными методами Ингульского мегаблока УЩ.

Ингульский мегаблок. Плитотектоническая реконструкция. Этот мегаблок представляет собой небольшую, но интересную часть юго-западной окраины ВЕП, прошедшую многие стадии плитотектонического развития. Наиболее полно они были описаны Е.Б.Глевасским в коллективной монографии [Геолого-геофизическая..., 2006].

Нобходимо сказать, что автор пришел к очень близким выводам хотя и позже, но совершенно самостоятельно, используя не столько геолого-петрологические, сколько тектонофизические (структурные) аргументы. Более того, одно время, когда тектонофизических данных было еще мало, автор выступал в определенной степени даже оппонентом концепции Е. Б. Глевасского, поскольку считал, что одних петролого-стратиграфических критериев недостаточно для перехода на новую парадигму в анализе геологической истории УЩ.

Возражать было нетрудно, так как и сами авторы идеи плитотектонического развития УЩ на первых порах противоречили друг другу. Г. И. Каляев говорил о развитии «Большого Кривого Рога» [Каляев, 1965], связывая воедино Среднеприднепровский мегаблок, Криворожско-Кременчугскую и Орехово-Павлоградскую шовные зоны, хотя, как выяснилось позже, последние моложе и наложены на архейский фундамент. Это противоречие отметил Е. Б. Глевасский [Геолого-геофизическая..., 2008].

Оказалось, что с единых плитотектонических позиций можно объяснять тесную геодинамическую связь протерозойских Голованевской и Ингулецко-Криворожских шовных зон с протерозойской же центральной частью Ингульского мегаблока, что и сделано в настоящей работе.

Геологическое строение. Положение мегаблока в структуре УЩ показано на рис. 1. На западе он ограничен Тальновской зоной разломов, на востоке — Криворожско-Кременчугской. Включает в себя Голованевскую (ГШЗ), Ингулецко-Криворожскую (ИКШЗ) шовные зоны, а также расположенную между ними центральную часть (ЦЧИМ). Последняя еще не получила официального тектоническо-

го названия, хотя давно известна как «Кировоградский рудный район».

Обоснование границ мегаблока дано в работах [Гинтов, 2005; Гинтов, Мычак, 2011а]. Основной аргумент — мегаблоковая структура УЩ сложилась на границе раннего и среднего протерозоя, когда все части щита в целом уже закончили свое формирование и спаялись воедино, после чего по межмегаблоковым (в будущем) зонам разломов произошли субвертикальные подвижки. Это деление щита на мегаблоки не является общепризнанным, однако отметим, что такие же границы Ингульского мегаблока даны и в работе [Глевасский, Каляев, 2000].

Геологическое строение Ингульского мегаблока описано во многих работах. Одна из последних — [Гинтов, Мычак, 2011а, рис. 2 и 3]. Поэтому, не останавливаясь подробно на описании горных пород, рассмотрим прежде всего современные данные о возрастных рубежах геологического развития мегаблока, представленные в табл. 1, и некоторые комментарии к ним.

1,75—1,74 млрд лет — реперный возраст пород корсунь-новомиргородского комплекса, по [Геохронология ..., 2008].

1,76—1,80 млрд лет — возраст дайкового комплекса и щелочных натровых метасоматитов. Имеется надежное определение возраста Субмошоринской дайки — 1,77 млрд лет [Лубнина, 2009]. Остальным, определенным Ка-Аг методом, полностью доверять нельзя.

2,04—2,05 и 2,02—2,06 млрд лет — результат многочисленных надежных определений возраста новоукраинских и кировоградских гранитоидов соответственно, по [Геохронология..., 2008].

2,0—(2,45—2,67)—2,8 млрд лет — широкий разброс значений возраста бугской, ингуло-ингулецкой и криворожской серий. При этом минимальные цифры возраста (в районе 2 млрд лет) рассматриваются как результат метаморфизма и метасоматоза [Геохронология..., 2008, с. 127, 169], а максимальные (вплоть до 3 млрд лет) получены в метаосадках скелеватской и кошаро-александровской свит по детритовым цирконам и отражают, скорее всего, возраст материнских пород. То же можно сказать и о цифрах возраста чечелевской свиты ингуло-ингулецкой серии (2,45 и 2,67): они отражают возраст источников сноса [Геохронология..., 2008, с. 127, 169]. Поэтому отложение биотитовых гнейсов этой свиты началось не ранее 2,45 млрд лет тому назад.

>2,8 — возраст днестровско-бугской серии для ГШЗ дается ориентировочно, так как определение возраста в ней не проводилось. В работе [Геолого-геофизическая модель..., 2008] возраст этой серии определен как древнее 3,2 млрд лет, но эти данные не относятся к породам ГШЗ. Возраст магматических пород литинского и тилигульского комплексов, связанных с этой серией в ГШЗ, определен соответственно 2,7—2,84 и 2,56—2,86 млрд лет [Геохронология..., 2005; 2008].

>2,8 — возраст конкской серии, породы которой в ИКШЗ встречаются только в виде небольших ксенолитов, не определялся. Такая цифра приведена в работе [Геолого-геофизическая..., 2006]. Возраст пород конкской серии в соседнем Среднеприднепровском мегаблоке $\leq 3,2$ млрд лет [Геохронология..., 2005].

2,9—3,1 — возраст гранитов фундамента ИКШЗ. Определялся только возраст гранитоидов ингулецкого комплекса — 2950—3050 млн лет [Геолого-геофизическая..., 2006].

>3,14 млрд лет — возраст амфиболитов зеленореченской свиты ингуло-ингулецкой серии ИКШЗ, которые имеют интрузивный контакт с гранитами этого возраста [Геохронология..., 2008]. Кроме того, среди амфиболитов встречаются прослойки силикатно-магнетитовых сланцев, что характерно для пород конкской серии.

Таким образом, для Ингульского мегаблока мы имеем, по крайней мере, две области неясных вопросов, которые касаются возрастных соотношений бугской и криворожской, а также ингуло-ингулецкой (в пределах восточной части ИКШЗ) и криворожской серий.

Как видно из приведенных данных, определенные по циркону возрастные границы и бугской, и криворожской серий неоднозначны и располагаются в пределах интервала 2,6—2,0 млрд лет. Вместе с тем в Корреляционной хроностратиграфической схеме раннего докембрия УЩ [Кореляційна..., 2004] бугская серия отнесена к неoarхею, а криворожская — к палеопротерозою. В работе [Геолого-геофизическая..., 2006] одни авторы (группа К. Е. Есыпчука) бугскую серию ГШЗ относят к архею и ставят ниже криворожской, другие (Е. Б. Глевасский) — к палеопротерозою, причем ставят ее выше криворожской.

Заметим, что криворожская серия на УЩ практически всегда относилась к палеопротерозою.

Автор исходит из того бесспорного факта, что обе шовные зоны представлены архейским

Таблица 1. Общая характеристика горных пород Ингульского мегаблока Украинского щита, по [Геохронология..., 2005; 2008; Геолого-геофизическая..., 2006; 2008; Кореляційна..., 2004], с добавлениями и изменениями автора

Возраст, млрд лет	Голованевская шовная зона		Центральная часть		Ингулецко-Криворожская шовная зона	
	Серия	Комплекс	Серия	Комплекс	Серия	Комплекс
<i>Верхний структурный этаж</i>						
1,74—1,75				Корсунь-Новомир-городский		
1,76—1,8				Нагровых метасоматитов, дайковый		Дайковый
2,04—2,05 2,02—2,06		Кировоградский (?)	?	Вознесенский, кировоградский, новоукраинский, ташлыкский(?)	Глееватская	Кировоградский
≤2,45			Ингуло-ингулецкая		Ингуло-ингулецкая	
			На западе рощаховская, каменно-костоватская свиты	На востоке чечелевская, спасовская свиты	На западе чечелевская, спасовская свиты	
2,26—2,6	Бутская	Побужский	Субокеаническая кора		Криворожская	Анновский, райпольский
	Хщевато-завальевская, кошаро-александровская свиты				В центре родионовская, артемовская свиты	На востоке гданцевская, саксаганская, скелеватская, новокириворожская(?) свиты
<i>Нижний структурный этаж (фундамент)</i>						
2,7—2,8 >2,8	Днепровско-Павловская, тывровская толщи	Литинский, тилигульский	Океаническая (субокеаническая) кора		Конкская	
2,9—3,1		Капитановский, гайворонский(?)			Зеленореченская	Ингулецкий, днепропетровский, александровский (сурский)

и палеопротерозойским структурными этажами. Учитывая структурную позицию бугской и криворожской серий, а также их симметричное положение относительно ЦЧИМ, не лучше ли параллелизовать их в возрастном отношении и отнести к палеопротерозойскому структурному этажу? Что и сделано в табл. 1. Понятно, что здесь кроется противоречие, но оно существует во всех работах по украинскому докембрию и его пока нельзя разрешить безболезненно.

Необходимо сказать, что цифра 2 млрд лет не отражает верхней возрастной границы бугской и криворожской серий и соответствует, как уже отмечалось, возрасту гранитизационных и метасоматических процессов. Возраст циркона из биотитовых гнейсов Луполовского (Кошаро-Александровского) карьера, расположенного в зоне экзоконтакта с породами кошаро-александровской свиты (почему-то отнесенных к зеленолевадовской толще), составляет 2,26 млрд лет, что уже ближе, скорее всего, к верхней возрастной границе бугской серии.

Состав и последовательность в разрезе зеленореченской, артемовской, родионовской свит ингуло-ингулецкой серии ИКШЗ близки к таковым криворожской серии. Близок и их возраст. Параллелизуются эти серии геологами-съемщиками [Стратиграфические..., 1985], а также в работе [Геолого-геофизическая..., 2006]. По мнению автора настоящей статьи, вулканогенно-осадочные породы восточной части ИКШЗ необходимо выделить из ингуло-ингулецкой серии и рассматривать как аналог конкской (зеленореченская) и криворожской (артемовская, родионовская, гданцевская свиты), тем более, что они близки регионально. Поэтому, когда в статье говорится об ингуло-ингулецкой серии ИКШЗ, имеются в виду только спасовская и чечелевская свиты, развитые на западе ИКШЗ и в ЦЧИМ, а также их аналог на западе мегаблока — каменно-костоватская и рощаховская свиты. Если исходить из того, что нижняя возрастная граница бугской и криворожской серий ~2,6 млрд лет, а ингуло-ингулецкой ~2,45 млрд лет, возраст этих свит на 100—150 млн лет моложе бугской и криворожской серий.

Глубинное строение. На рис. 2 приведены сематизированные разрезы земной коры Ингульского мегаблока вдоль геотраверсов IV и VIII. Показаны лишь поверхность М и внутрикоровые отражающие площадки, относимые к поверхности К₂. Зоны разломов показаны

тонкими условными линиями, как это делается обычно на сейсмических разрезах. Изолинии скоростей не приведены, поскольку до настоящего времени у специалистов существуют разногласия в отношении методики построения скоростного разреза нижней коры.

Геотраверсы IV и VIII пересекаются в пределах ИКШЗ, в осевой части мегаблока отстоят друг от друга на ~50 км, а в пределах ГШЗ — на ~80 км. Между тем рельеф поверхности М на обоих разрезах весьма сходен: под центральной частью 35—45 км, под шовными зонами — 55—60 км. Отчетливо видно смещение прогибов Мохо под ГШЗ и ИКШЗ соответственно к западу и востоку в среднем на 40 км.

На геотраверсе IV на глубине ~15 км в пределах мегаблока четко видна отражающая поверхность К₂. На геотраверсе VIII эта поверхность прослеживается разрозненными площадками на глубине 15—25 км.

В поле аномалий Буге центральной части Ингульского мегаблока соответствует крупнейший на УЩ минимум. По данным гравитационного моделирования [Куприенко и др., 2007, рис. 5] он вызван мощным (до 17 км) «гранитным» слоем плотностью 2,62—2,75 г/см³ (массивы кировоградских, новоукраинских и рапакививидных гранитов), между которым и нижележащим «базальтовым» слоем плотностью 2,90—3,05 г/см³ находится очень мало-мощный переходный (так называемый «диоритовый») слой плотностью 2,75—2,90 г/см³. Малая мощность переходного слоя, обычная толщина которого около 15 км, указывает на то, что его состав был раздифференцирован на

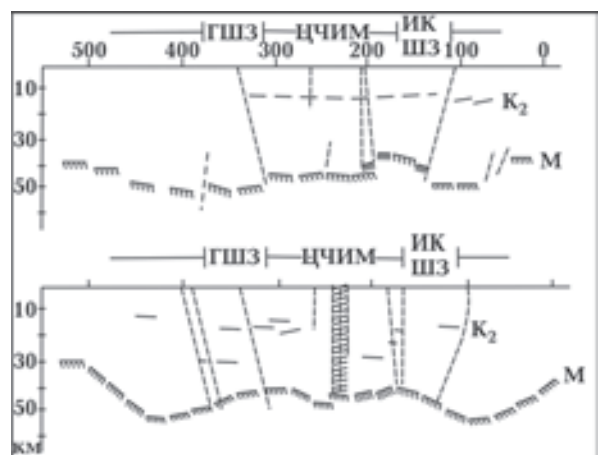


Рис. 2. Схематические разрезы земной коры вдоль геотраверсов IV (а) и VIII (б), по [Трипольский, Шаров, 2004] и [Соллогуб, 1986]. Пунктирной линией показаны разломы.

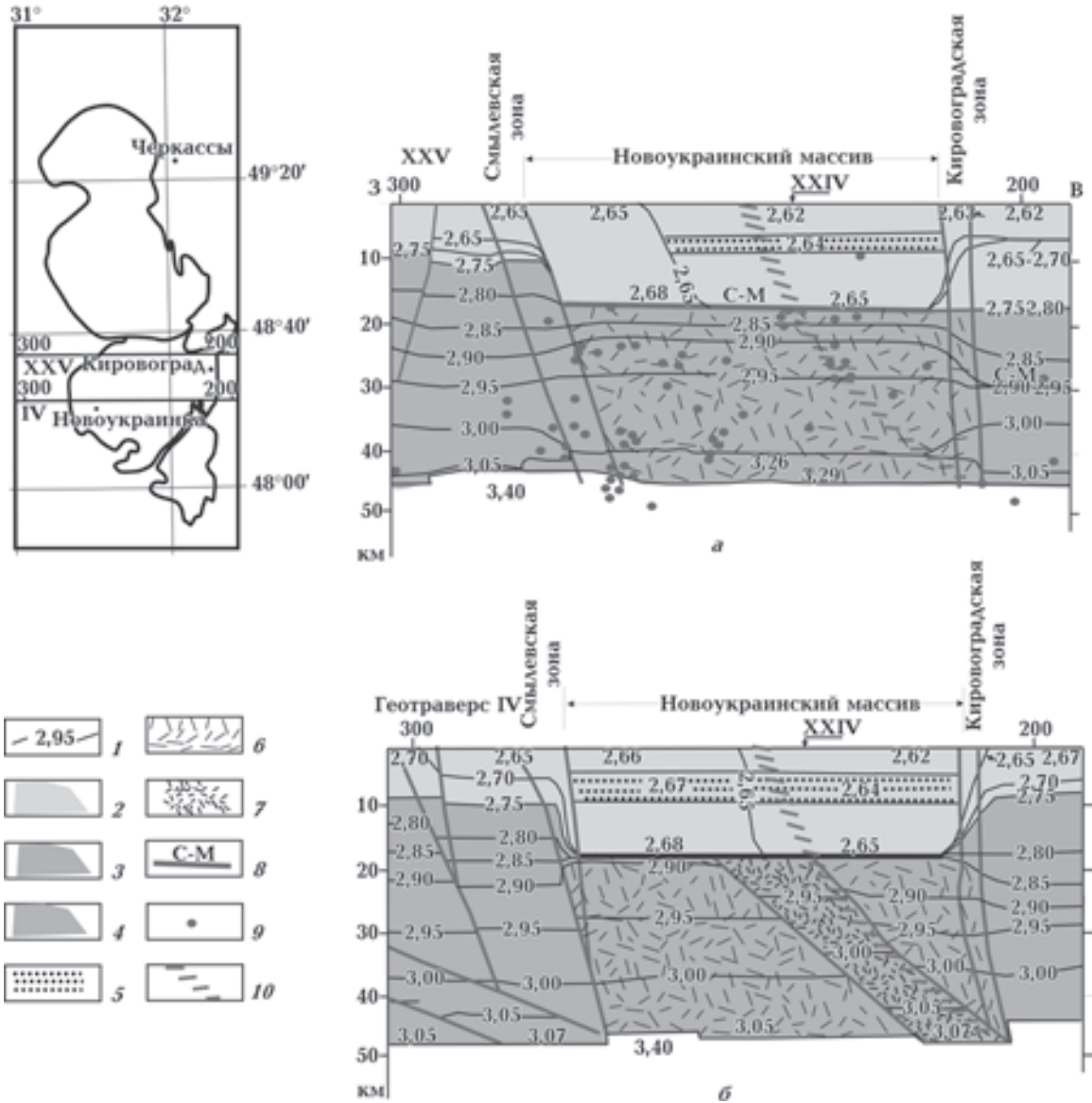


Рис. 3. Плотностные разрезы вдоль профиля ГСЗ XXV (а) и геотрансверса IV (б), по [Куприенко и др., 2007]: 1 — изолинии плотности, г/см³, 2 — «гранитный» слой, 3 — «базальтовый» слой, 4 — «диоритовый» слой, 5 — слой с постоянным значением плотности, 6 — плотное тело, 7 — область аномального уплотнения, 8 — Субботско-Мошоринская зона разломов, 9 — точки дифракции по данным сейсморазведки, 10 — трансрегиональная зона сдвига-раздвига Херсон—Смоленск.

верхнюю кислую и нижнюю основную части (рис. 3).

В пределах ИКШЗ и к западу от нее выделяется уникальная Кировоградская аномалия электропроводности ($\sim 10^3$ — 10^4 См), которую связывают с процессами современной активизации (о чем свидетельствуют и повышенные значения теплового потока) и повышенной графитонасыщенностью всего разреза земной коры [Бурахович, Кулик, 1999; 2007; Логвинов, Гордиенко, 2005; Логвинов, Тарасов, 2005]. Авторы работы [Геолого-геофизическая..., 2006] предположили, что аномалия вызвана

породами криворожской серии, пододвинутыми под ИКШЗ и ЦЧИМ в результате «субдукции» Среднеприднепровской микроплиты. Однако в разрезе криворожской серии нет достаточного объема составляющих, которые могли бы дать такую высокую электропроводность, поэтому привлечение Кировоградской аномалии для доказательства «субдукции» не обосновано, тем более что после образования Ингульского мегаблока на месте Среднеприднепровской микроплиты океанической литосферы уже не было.

Тектонофизический анализ и геодинамика

ческая реконструкция. Е. Б. Глевасский, рассматривая геодинамические обстановки, ответственные за формирование коры Ингульского мегаблока [Геолого-геофизическая..., 2006], начинает со сравнения прилегающих к нему Среднеприднепровского и Белоцерковско-Среднебугского мегаблоков и предполагает, что последний (как и первый) развивался по типу архейских «примитивных» островных дуг. Соответственно разделявший их бассейн относится к междуговым бассейнам с океанической корой, закрывшийся около 2,6 млрд лет назад.

В данной статье этот очень спорный вопрос не обсуждается, поскольку на рис. 1 вообще нет Белоцерковско-Среднебугского мегаблока, а показаны неархейский Росинский гранит-амфиболитовый (III) и архейский Бугский гнейсогранулитовый (IV). Однако и без отнесения рассматриваемых мегаблоков к типу протоостровных дуг у нас есть доказательства, что мегаблоки к западу и востоку от Ингульского в архее принадлежали разным микроплитам (Западной и Восточной), которые располагались на значительном расстоянии друг от друга.

1. Об этом свидетельствует различный состав архейских комплексов запада и востока УЩ, различные типы коры: на западе «лейкобазальтовый» и «базальтовый», на востоке — «диоритовый» и «гранитно-диоритовый», по И. К. Пашкевич и др. [Створення..., 2006, с. 234—259]; различные типы мантии: на западе — дифференцированная, на востоке — деплетированная, по С. Н. Цымбалу [Цымбал, 2002].

2. По тектонофизическим данным [Гинтов, 2005; Гинтов, Пашкевич, 2010], западная и восточная части УЩ в архее развивались в совершенно различных кинематических режимах: если на западе предположительно неархейские зоны разломов северо-западного простирания были левосдвиговыми (движение блоков против часовой стрелки), то на востоке разновозрастные и однонаправленные с ними зоны разломов — правосдвиговыми (движение по часовой стрелке). При близком расположении западной и восточной частей такое отчетливое различие региональных полей напряжений вряд ли было бы возможным, так как должна была бы существовать переходная зона, которая отражала бы взаимовлияние полей или проникновение зон разломов из одной части в другую, чего не наблюдается.

Значительное расстояние (возможно, сотни километров) между Западной и Восточной микроплитами уже само по себе свидетель-

ствует о том, что между ними в архее должна была находиться океаническая или субокеаническая кора (литосфера). Это косвенно подтверждается и тем, что в пределах ЦЧИМ не наблюдаются выходы архейских гранитоидов, которые могли бы представлять нижний структурный этаж, подстилающий породы ингуло-ингулецкой серии. Таким образом, к концу неархейской центральной части УЩ представляла собой, скорее всего, океанический бассейн, разделявший Западную и Восточную микроплиты, на пассивных окраинах которых (прибрежных равнинах, континентальных шельфах, материковых склонах и подножьях — так называемых *геоклиналях* [Структурная..., 1990]) в начале раннего протерозоя начали отлагаться вулканогенно-осадочные породы бугской (на западе) и криворожской (на востоке) серий (ассоциации глубокоководных кремнисто-глинистых, железисто-кремнистых и карбонатных осадков с продуктами излияния основных и ультраосновных магм). Точно не известно, когда образовался этот бассейн, поэтому можно только предполагать, что в неархее современная центральная часть УЩ находилась в состоянии растяжения вследствие ее расположения на границе расходящихся конвективных потоков или подъема плюма.

Тем самым констатируется, что участки земной коры, относимые сейчас к ГШЗ и ИКШЗ, к началу протерозоя принадлежали к окраинам Западной и Восточной микроплит.

Следующий этап геодинамического развития рассматриваемой территории помогают проследить данные о возрасте и кинематике зон разломов. Установлено [Гинтов, 2005; Гинтов, Мычак, 2011а], что Первомайская и Западно-Ингулецкая зоны разломов образовались в начале палеопротерозоя, ограничив микроплиты, соответственно, с востока и запада. Кроме этих зон, приблизительно тогда же образовались зоны разломов и зоны скальвания в пределах геоклиналей (будущих ГШЗ и ИКШЗ) — Молдовская, Искровская, Онуфриевская, Чкаловская, Николаевская. Простирание и кинематика всех этих зон достаточно близка: ориентация L-сколов, в порядке перечисления зон, 345, 357, 345, 354, 354, 354, 354° — все правые сдвиги при сжатии; ориентация R-сколов, в том же порядке, 357, 8, 357, 5, 5, 5, 5° — все правые сдвиги при сжатии. Ориентация осей сжатия σ_1 находится в пределах 38—43°.

Близость возраста, ориентации и кинематики зон разломов и зон скальвания запада и

востока, а также близкое поле тектонических напряжений указывают на то, что эти зоны сформировались на относительно небольшом расстоянии друг от друга. Следовательно, в начале палеопротерозоя Западная и Восточная микроплиты транспрессионно сблизились путем относительного перемещения по линии северо-восток—юго-запад. При этом разделявший их океан должен был бы частично закрыться, а породы геоклиналей (конкской, криворожской, днестровско-бугской и бугской серий) начали сминаться в приразломные складки с осями северо-северо-западного направления.

Образование ингуло-ингулецкой серии, если судить по возрасту детритового циркона и источников сноса, произошло после 2,45 млрд лет (минимальный возраст детритового циркона), но до метаморфизма и гранитообразования 2,04 млрд лет, т.е. после формирования криворожской серии. Это заставляет предположить, что сразу вслед за транспрессивным сближением началось новое раздвижение микроплит и отложение на их окраинах и океаническом ложе осадочно-вулканогенных пород данной серии. Это чисто геологический вывод, так как тектонофизические методы вообще гораздо труднее фиксируют процессы растяжения, чем сжатия.

Полное закрытие океана произошло после отложения пород ингуло-ингулецкой серии, когда в результате косоугольной коллизии образовались Тальновская и Криворожско-Кременчугская сдвиговые зоны разломов северо-северо-восточной ориентировки. Они отделили геоклинали от Западной и Восточной микроплит, окончательно сформировав ГШЗ и ИКШЗ. Последние сблизились настолько, что вместе с частью смятых в складки пород ингуло-ингулецкой серии образовали складчатый пояс, вмещающий бывшие окраины континентов и разделявшие их структуры. Внутреннее строение ГШЗ и ИКШЗ приобрело окончательный рисунок своеобразного «линзовидно-слоистого меланжа» [Геохронология..., 2008], образованного сдвиговыми процессами: небольшие куполовидные складки и блоки овальной формы размерами до 10 км разделены зонами катаклаза и милонитизации, возникшими в результате правосдвиговых перемещений при сжатии.

2,1 млрд лет назад начался новый субширотный раздвиг Западной и Восточной микроплит, доказываемый материалами тектонофизического изучения разрывных структур Ново-

украинского и Кировоградско-Бобринецкого гранитоидных массивов [Гинтов, Мычак, 2011б]. После некоторого периода транспрессии (формирование Кировоградской и Лелековской систем зон разломов) раздвиг продолжился приблизительно 1,8 млрд лет назад северо-восточным растяжением (формирование Субботско-Мошоринской и других широтных зон разломов [Гинтов и др., 2008]) и 1,75 млрд лет назад — снова субширотным растяжением [Гинтов, 2005]. Во время этого двухэтапного раздвига в его осевой зоне сформировалась не океаническая кора, а массивы гранитоидов кировоградского, новоукраинского комплексов и Корсунь-Новомиргородский плутон. Возможно, при большем раздвиге появилась бы и океаническая кора, так как по данным гравитационного моделирования в пределах Новоукраинского массива «базальтовый» слой сильно уплотнен и поднят до уровня выше 20 км [Куприенко и др., 2007, рис. 5].

Раздвиг микроплит в центральной части Ингульского мегаблока привел к сжатию на его краях, с чем связано происхождение надвигов в шовных зонах, доказанных, по крайней мере, в ИКШЗ [Геолого-геофизическая..., 2006].

В промежутке между двумя фазами субширотного раздвига, скорее всего на субмошоринском этапе, сформировался обширный дайковый комплекс основных и ультраосновных пород, секущих гранитоиды кировоградского и новоукраинского типа. Образование дайковых поясов может быть признаком зачаточного формирования океанической коры, прекратившегося на ранней стадии.

Этот же период характеризуется широким развитием гидротермально-метасоматических процессов с формированием щелочных натриевых метасоматитов и связанных с ними торий-урановых и скандий-ванадиевых месторождений. Обычно такой период называется этапом тектономагматической активизации. В данном случае процессы тектономагматической активизации и раздвига микроплит объединены тесными причинно-следственными связями.

Предложенная реконструкция геодинамических событий схематически изображена на рис. 4 (стр. 6). Показаны только этапы >2,6; ≥(2,1—2,45) и 2,1—1,75 млрд лет назад, которые наиболее надежно обоснованы тектонофизически.

На рис. 4, а отражен гипотетический неоархейско-раннепротерозойский дивергентный этап развития литосферы Ингульского мега-

блока, раздвиг Западной и Восточной микроплит и начало отложения на их пассивных окраинах вулканогенно-осадочных образований бугской (на западе) и криворожской (на востоке) серий. Кора на рисунке представлена двумя реологически разными горизонтами — верхним жестким и нижним пластичным. Подток снизу астеносферного плюма сопровождался выжиманием океанической литосферы в стороны, что приводило к внедрению ее между литопластинами и раздвигу микроплит (несубдукционный вариант). Этот этап не зафиксирован тектонофизическими данными, но предполагается в связи с наличием бугской и криворожской серий, нижний возраст которых около 2,6 млрд лет. Рисунок также показывает, что внедрившаяся в боковое подкоровое пространство океаническая мантия может при коллизии образовать тело коромантийной смеси.

В начале протерозоя ($\leq 2,6$ млрд лет назад) начался конвергентный этап развития литосферы Ингульского мегаблока (на рисунке он не показан), который фиксируется тектонофизическими данными по образованию правосдвиговых (при сжатии) Первомайской, Западно-Ингулецкой и ряда менее крупных зон разломов и началом складчатости в породах днестровско-бугской, бугской и криворожской серий.

Рис. 4, б отражает этап коллизии Западной и Восточной микроплит после 2,45 млрд лет назад, когда их разделял только коллизионный шов, ширина которого нам, к сожалению, не известна. На этом этапе образовались Тальновская, Врадиевская и Криворожская зоны разломов и окончательно сформировались ГШЗ и ИКШЗ, которые впоследствии отделились от Западной и Восточной микроплит. Под шовными зонами образовались прогибы Мохо, разделенные коллизионным швом. Вертикальные стрелки, направленные вниз, показывают перемещение вещества шовных зон вниз при боковом сжатии (см. ниже).

На рис. 4, в отражена современная структура литосферы (без рифейских и более молодых отложений) под геотраверсом VIII возрастом 2,1—1,75 млрд лет. Раздвиги земной коры в периоды 2,1 и 1,75 млрд лет назад зафиксированы тектонофизическими данными [Гинтов, 2005; Гинтов, Мычак, 2011б]. Судя по общей ширине массивов гранитоидов центральной части Ингульского мегаблока, ГШЗ и ИКШЗ разошлись (вдоль геотраверса VIII) на 200 км, а прогибы

Мохо под ними на 280 км. При этом осевая зона раздвига заполнена не океанической корой, а гранитными плутонами, образовавшимися в результате палингенеза и переплавления протерозойской коры.

Как видим, приведенные выше этапы конвергентных и дивергентных процессов предусматривают формирование шовных зон, поглощение океанической литосферы в результате субдукции и образование сутур. Результатами теоретических и экспериментальных исследований [Chardon et. al., 2009; Sizova et. al., 2010 и др.] установлено, что эти процессы в докембрии имели свои особенности.

Шовные зоны. В литотектоническом понимании шовная зона — это зона, вдоль которой происходит поглощение океанической литосферы в процессе субдукции и коллизии континентальных плит. При полном закрытии океанического бассейна шовная зона превращается в сутуру.

Выше было показано, что именно так произошло образование ГШЗ и ИКШЗ. Особая черта этих зон — транспрессивный механизм их образования, при котором горизонтальные сдвиги играли не меньшую роль, чем сжатие.

Механизм формирования ГШЗ и ИКШЗ согласуется с представлениями о кинематике *проникающих транспрессивных сдвиговых зон*, изложенными в работе [Chardon et. al., 2009]. Ее авторы, опираясь на данные о повышенных температурах (900—1100 °С и более) на поверхности Мохо в докембрийских «ультрагорячих» аккреционных орогенах (УГО), общей «ослабленности» литосферы и нижней коры, приходят к выводу, что развитие субвертикальной линейно-сланцеватой текстуры горных пород связано с движением вещества (течением) вдоль зоны сдвига по латерали и вниз при сжатии.

Такую двумерную деформацию слюда, зерен кварца и полевого шпата почти повсеместно можно наблюдать в зонах сдвига ГШЗ и ИКШЗ. Условия транспрессии, в которых формировались шовные зоны, могут рассматриваться как сочетание деформаций простого и чистого сдвига при субгоризонтальном положении плоскости $\sigma_1\sigma_3$. В этих условиях удлинение коровых призм, составляющих обе шовные зоны, должно было происходить как в субмеридиальном направлении, так и по вертикали (на рис. 4, б показано вертикальными стрелками).

Приведенные данные позволяют заключить, что образование прогибов Мохо под ГШЗ и ИКШЗ обусловлено утолщением земной

коры под ними за счет перемещения вещества коры вниз. Заметим, что оба прогиба Мохо рассматривались в свое время В. Б. Соллогубом и Г. И. Каляевым [Соллогуб, 1986] как «корни гор», связанные с Голованевской и Ингулецко-Криворожской «протогеосинклиналями» раннепротерозойского возраста. Шовные зоны — это уже более позднее название.

Непосредственная связь ГШЗ и ИКШЗ с участками увеличенной мощности земной коры, несмотря на их неполное совпадение в плане, не вызывает сомнения. Во-первых, их ограничивают прослеживаемые от поверхности до верхов мантии зоны разломов — Тальновская и Врэдиевская на западе ГШЗ и Криворожско-Кременчугская на востоке ИКШЗ. Во-вторых, общее простирание шовных зон и прогибов Мохо, причем общими оказываются и изменения простираний, например, на широте 48° изгиб ГШЗ сопровождается аналогичным изгибом впадины Мохо.

В работе [Chardon et al., 2009] также указывается, что кора УГО из-за чрезвычайно тонкой литосферы и высокой температуры на уровне Мохо подразделяется на два слоя: верхний, жесткий, и более мощный нижний, текучий, разделенные переходным слоем — *аттачментом*. Литосферная мантия ниже Мохо обладает еще более низкой вязкостью, приближающейся к вязкости астеносферы.

В связи с таким расслоением верхняя кора реагирует на тектонические напряжения как твердое (почти твердое) тело, а нижняя — как вязкопластическое. Поэтому к отмеченной выше двумерной деформации в относительно узких зонах сдвига добавляется на отдельных участках в них и между ними субгоризонтальное течение вещества, фиксируемое субгоризонтальными сейсмическими границами и площадками.

Аттачментами и детатчментами, скорее всего, являются четкие отражающие границы на глубинах 15—20 км, установленные на всех геотраверсах, пересекающих Ингульский мегаблок, и называемые горизонтом K_2 или поверхностью «протокоры» [Соллогуб, 1986].

Раздел Мохо также является многослойной поверхностью перемещения коры и мантии относительно друг друга. Это отчетливо видно на геотраверсах IV и VIII (см. рис. 2), на которых прогибы Мохо под ГШЗ и ИКШЗ смещены относительно поверхностных границ зон соответственно на 40 км к западу и востоку.

Рассмотренный выше раздвиг верхней части Ингульского мегаблока вдоль геотраверса

IV составляет как минимум 100—120 км. Следовательно, если связывать эти два процесса воедино, получается, что в период 2,1—1,75 млрд лет назад обе шовные зоны раздвинулись у поверхности (в данном случае эрозионный срез можно не учитывать) на 120 км, а на уровне Мохо — на 200—240 км. Различие в величинах раздвига, указанных здесь и выше (нужно еще учитывать ширину шовных зон), связано, скорее всего, с неизвестной нам шириной коллизийного шва (см. рис. 4, б).

Такая разница в величине растяжения верхней части литосферы Ингульского мегаблока на нескольких уровнях, отличающихся по глубине всего на 40—50 км, подтверждает представления о разной реологии верхней и нижней коры в докембрии. Понятно, что величина горизонтального растяжения («растекания») литосферы в нижней коре и мантии будет большей, чем ширина раздвига в верхней коре.

Реологической особенностью нижней коры является то, что в ней фиксируются зоны разломов и другие деформационные структуры, наблюдаемые в верхней коре. Хотя, естественно, в результате горизонтальных перетеканий вещества их положение и ориентировка должны изменяться.

Вопрос отнесения (или неотнесения) Ингульского мегаблока в конце архея и раннем протерозое к УГО должен решаться петрологами. Однако геофизические данные показывают, что для мегаблока характерны многие черты УГО.

Таким образом, исходя из определения, приведенного в начале раздела, ГШЗ и ИКШЗ полностью подходят под понятие шовных зон в геодинамическом смысле.

Процесс субдукции. Поскольку явных геофизических признаков докембрийской субдукции или обдукции океанической литосферы в классическом виде сейчас увидеть крайне трудно, предлагается опереться на результаты 2D-численного термомеханическо-петрологического моделирования [Sizova et al., 2010]. Оно показало, что в период между археем и окончанием раннего протерозоя плитотектонические процессы в тектоносфере Земли могли развиваться по трем сценариям — несубдукционному, досубдукционному и классическому субдукционному — в зависимости от температуры на разделе Мохо.

Первый сценарий (температура на глубине залегания раздела Мохо на 200—250° выше современной): океаническая плита разделена поднимающимися из сублитосферной мантии

Таблица 2. Сравнение концепций геодинамического развития Ингульского мегаблока Украинского щита

Номер	Концепция Е. Б. Глевасского		Тектонофизические данные	
	Процесс или геодинамические условия	Время, млрд лет	Обоснование	Процесс или геодинамические условия
1	Окончательная консолидация Среднеприднепровской и Белоцерковско-Среднебужской гранит-зеленокаменных областей (мегаблоков), образовавшихся по типу островных Ауг	2,8	Возраст супракrustальных и гранитоидных комплексов. Выводы, следующие из классической концепции тектоники плит	Возраст супракrustальных и гранитоидных комплексов. Тектонофизические данные о латеральной удаленности гранит-зеленокаменной и гнейсогранулитовой областей УЩ и их резко различном кинематическом режиме
2	Океаническая кора, разделяющая мегаблока («области»)	2,8	Вывод, следующий из классической концепции тектоники плит	То же, а также отсутствие в центральной части Ингульского мегаблока порода нижнего (архейского) структурного этажа
3	Отложение в перикратонных бассейнах Среднеприднепровского и Белоцерковско-Среднебужского мегаблоков вулканогенно-осадочных порода криворожской серии (включая гданцевскую свиту)	2,8—2,6	Развитие порода криворожской серии на западной окраине Среднеприднепровского мегаблока и в южной части ГПШЗ	Развитие порода криворожской серии на западной окраине Восточной микроплиты и Бутской серии на востоке Западной микроплиты. Отсутствие этих порода в пределах центральной части Ингульского мегаблока
4	Субдукция океанической литосферы под Среднеприднепровский и Белоцерковско-Среднебужский мегаблока	2,8—2,6	Вывод, следующий из классической концепции тектоники плит	Вывод, следующий из концепции тектоники плит для условий докембрия. Тектонофизические данные об условиях транспрессии
5	Коллизия Среднеприднепровской и Белоцерковско-Среднебужской гранит-зеленокаменных областей (мегаблоков) и образование единого Головановско-Ингулецко-Криворожского		Формационное единство разрезов криворожской серии ИКШЗ и района Фрунзовских магнитных аномалий. Складчатость	Тектонофизические данные о правых трансpressивных перемещениях блоков в пределах будаущих ИКШЗ и ГПШЗ и формировании приразломной складчатости в породах днестровско-бугской, конкской,

Номер	Концепция Е. Б. Глевасского		Тектонофизические данные	
	Процесс или геодинамические условия	Время, млрд лет	Обоснование	Процесс или геодинамические условия
	коллизийного шва или Пратальновско-Ингулецко-Криворожско-Кременчугской сuture		Обоснование	Обоснование
6	Раздвижение в зоне Голованевско-Ингулецко-Криворожского коллизийного шва, формирование задугового (или внутридугового) Бутско-Чечелевского бассейна, отложение бутской и ингулецкой серий	≤2,6	Расположение ИКШЗ и ГШЗ на противоположных краях Ингульского мегаблока. Возраст бутской серии моложе криворожской и приравнен к возрасту ингулецко-рощавского (Чечелевско-рощавского) серии	Развитие в пределах Ингульского мегаблока отложений ингулецкой серии, которые не распространяются за пределы мегаблока и моложе отложений бутской и криворожской серий
7			Пологая косая субдукция субокеанической литосферы под Восточную и Западную микроплиты	Вывод, следующий из концепции тектоники плит для условий Докембрия
8			Изменение направления косой коллизии на ВСВ-ЗЮЗ, закрытие субокеана и окончательное формирование ИКШЗ и ГШЗ, образующих вместе со сминаемыми в складки породами ингулецко-рощавской серии складчатый пояс между Западной и Восточной микроплитами	Образование трансрессивных Криворожско-Кременчугской и Тальновской северо-северо-восточных зон разломов, отделивших шовные зоны от Восточной и Западной микроплит. Одинаковый тип и направление складчатости в ГШЗ и ИКШЗ
9	Закрытие Бутско-Чечелевского бассейна и формирование Кировоградского орогена	2,1—2,0	Раздвижение Западной и Восточной микроплит, гранитизация коллизийной зоны и начало формирования гранитоидного цоколя центральной части Ингульского мегаблока	Тектонофизические данные о формировании Новоукраинского массива трахитоидных гранитов в условиях растяжения. Возраст гранитидов кировоградского и новоукраинского комплексов
10			Повторный разрыв гмикроплит, образование Корсунь-Новомиргородского плутона и окончательное формирование Ингульского мегаблока	Тектонофизические данные о формировании Корсунь-Новомиргородского плутона в условиях растяжения

расплавами на мелкие фрагменты, которые перемещаются, подчиняясь внутриплитным напряжениям, и не субдуцируют, хотя мелкие поднадвиги под континентальную литосферу (амплитудой до 50 км) могут наблюдаться.

Второй сценарий (температура на Мохо на 175—200° выше современной): плиты ослаблены из-за интенсивного подъема расплавов из сублитосферной мантии. При конвергенции происходит не самоподдерживающаяся односторонняя субдукция, а пологий поднадвиг океанической плиты под континентальную с горизонтальной амплитудой до 100 км.

Классический вариант субдукции в докембрии — жесткая океаническая плита погружается в астеносферу под континентальную — наблюдается только при температуре на Мохо на 0—175° выше современной.

Для рассматриваемого в данной работе случая больше всего подходит второй сценарий — *досубдукция* или *пологая субдукция*, когда океаническая плита не субдуцирует, а очень полого пододвигается под континентальную. При этом необходимо уточнить: поскольку, как было показано выше, литосфера разделена аттачментами на литопластины, а нижняя кора и литосферная мантия обладают пониженной вязкостью, поддвиг совершается на многих уровнях. Этими уровнями могут быть границы раздела в литосферной мантии, поверхность Мохо и указанные выше аттачменты на глубинах 15—20 км, которые также, по-видимому, отражают реакцию реологически расслоенной докембрийской коры на пологую субдукцию и ее различное растяжение на разных глубинных уровнях. Поэтому такая полая субдукция сопровождается в верхних слоях литосферы процессом, который подобен «пропитке» активных окраин, в нашем случае Западной и Восточной микроплит, в том числе шовных зон, материалом океанической коры и мантии, из-за чего кора ГШЗ и ИКШЗ сильно уплотнена.

Сутуры. В классическом виде сутуры как относительно узкие зоны, маркирующие место исчезновения океанической литосферы при субдукции, закрытия *шовной зоны* и последующего интерконтинентального спаивания материковых масс, в регионах развития пород раннего докембрия также идентифицируются достаточно трудно. Если бы акт субдукции и коллизии в таких регионах был единственным, то даже в условиях сильного метаморфизма пород признаки наличия сутуры можно было бы распознать. На примере Ингульского ме-

габлока можно видеть, что один акт коллизии сменился актом спрединга, затем новая коллизия и новый раздвиг.

Сутура, будучи следом субдукции и коллизии Западной и Восточной микроплит после 2,45 млрд лет назад, была перекрыта породами ингуло-ингулецкой серии, а ее раздвинутые на десятки километров элементы только прослеживаются в разных частях мегаблока в виде обрывков пород криворожской и бутской серий и, возможно, офиолитов ГШЗ.

Сутурой можно было бы назвать Криворожско-Кременчугскую полосу, как это делают некоторые авторы работы [Геолого-геофизическая..., 2006], но не Е. Б. Глевасский, если бы была оправдана модель поддвига Среднеприднепровской плиты под Ингуло-Ингулецкую. Однако, во-первых, это не субдукция океанической литосферы под континентальную, а во-вторых, Криворожский надвиг отражает, как уже говорилось, растяжение в ЦЧИМ.

Следовательно, о сутурах на УЩ есть смысл говорить лишь в прошедшем времени, но показать их на тектонических картах почти нереально. Правда, если подходить к сутурам как термину свободного пользования (Е. Б. Глевасский, например, иногда называет сутурами все межмегаблоковые шовные зоны УЩ субмеридионального простираения [Геолого-геофизическая..., 2006]), то и ГШЗ, и ИКШЗ можно называть сутурами.

Сопоставление геодинамических реконструкций. Рассмотренный сценарий в целом напоминает тот, который изложен Е. Б. Глевасским в работе [Геолого-геофизическая..., 2006] за некоторыми существенными отличиями. Эти отличия заключаются во времени полного закрытия океанического бассейна, а также в разном понимании процессов гранитообразования в ЦЧИМ.

Хотелось бы подчеркнуть, что обе геодинамические реконструкции делались практически независимо, без какого-либо дублирования и взаимовлияния. Заключение о том, что западная и восточная части УЩ развивались в архее как самостоятельные участки коры, которые отстояли друг от друга далеко, а в протерозое сближались, и ГШЗ и ИКШЗ образовались в результате этого сближения, было высказано автором в работе [Гинтов, 2005, с. 291]. Е. Б. Глевасский геодинамическую реконструкцию развития Ингульского мегаблока представил в монографии [Геолого-геофизическая..., 2006], а до этого основное его внимание было

сосредоточено на восточной части УЩ либо на щите в целом.

Правда, еще в работе [Глевасский, Каляев, 2000] была высказана мысль, что Ингульский мегаблок в конце архея — начале протерозоя был задуговым бассейном, но для этого потребовалось представить Бугский и Росинский мегаблоки как единую Белоцерковско-Среднебугскую палеостровную дугу, что, как уже говорилось, весьма сомнительно.

Для удобства сопоставления обе концепции представлены в виде табл. 2.

Как видим, геодинамическое развитие Ингульского мегаблока в архее — самом начале палеопротерозоя в обеих концепциях видится практически одинаковым. В пунктах 1—6 имеются различия терминологического характера, а также некоторые детали, связанные с неопределенностями в возрасте и корреляции докембрийских комплексов.

Начиная с пункта 7, появляются существенные расхождения в концепциях, так как Е.Б.Глевасский относит гранитоиды ЦЧИМ к коллизионным и считает, что они возникли при закрытии Бугско-Чечелеевского бассейна в условиях сжатия, тогда как по тектонофизическим данным эти гранитоиды формировались в условиях раздвига. Кроме того, тектонофизические и геологические материалы отчетливо фиксируют характер, кинематику и приблизительное время образования транспрессивных Тальновской и Криворожско-Кременчугской зон разломов, приведшее к окончательному формированию ГШЗ и ИКШЗ.

Поэтому в правых колонках табл. 2 потребовалось ввести два дополнительных пункта, в которых отражены эти события и которых нет в левой части, а пункты 9 и 10 в тектонофизической концепции полностью противоречат пункту 9 левой части таблицы.

Заключение. Какими бы механизмами не пытаться объяснить строение и историю развития Ингульского мегаблока УЩ, да и щита

в целом, одним из определяющих факторов этого развития были крупные горизонтальные сдвиги блоков литосферы вдоль протяженных зон разломов, выходящих далеко за пределы щита, и поля тангенциальных тектонических напряжений. Этот фактор как бы «подчиняет» себе все возможные механизмы тектогенеза, ибо до настоящего времени не найдено других механизмов, кроме перемещений мантийного вещества, ведущих к горизонтальным движениям литосферных плит или литопластин.

Одними из первых исследователей тектоники УЩ это заметили Г. И. Каляев и Е. Б. Глевасский, и последним была разработана достаточно стройная концепция плитотектонического развития восточной и центральной частей щита. Однако долгое время эта концепция принималась немногими, так как она, во-первых, строилась на идее, имевшей слишком глобальные масштабы, и во-вторых, в ее основе лежали собственно геологические данные, которые резко отличают докембрий от фанерозоя. Концепция была статичной, без фиксации горизонтальных движений. Геологические данные хорошо отражают субвертикальные движения, однако такие движения как раз и лежат в основе «антиплитных» механизмов.

Материалы тектонофизических исследований, данные GPS и наземной геодезии вносят кинематическую составляющую в геологические построения. Сюда следует добавить также современные данные ГСЗ-ОГТ и сейсмомографии, в которых отражена внутренняя структура коры и мантии УЩ. Все вместе эти материалы подтверждают правоту идей Г. И. Каляева, Е. Б. Глевасского, С. В. Богдановой и дают возможность всем исследователям воспринять плитотектоническую идею не формально, а по существу.

Автор благодарит С. В. Богданову за просмотр рукописи статьи и важные замечания, которые были учтены.

Список литературы

- Бурахович Т. К., Кулик С. Н. Квазитрехмерная геоэлектрическая модель Кировоградской аномалии электропроводности // Геофиз. журн. — 1999. — 21, № 2. — С. 120—125.
- Бурахович Т. К., Кулик С. Н. Трехмерная модель Кировоградской аномалии электропроводности. // Геофиз. журн. — 2007. — 29, № 1. — С. 45—55.
- 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. — 28, № 1. — С. 3—16.
- Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита /

- Под ред. А. В. Анциферова. — Киев: Наук. думка, 2006. — 196 с.
- Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита* / Под ред. А. В. Анциферова. — Киев: Наук. думка, 2008. — 308 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. Полевая тектонофизика и ее применения при изучении деформаций земной коры Украины. — Киев: Феникс, 2005. — 572 с.
- Гинтов О. Б., Исая В. М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. — Киев: Наук. думка, 1988. — 228 с.
- Гинтов О. Б., Исая В. М., Коваленко В. Н. Тектонофизические данные о механизме формирования складок первого порядка Криворожского бассейна на примере Лихмановской структуры // Геол. журн. — 1990. — № 5. — С. 115—123.
- Гинтов О. Б., Мычак С. В. Геодинамическое развитие Ингульского мегаблока Украинского щита по геолого-геофизическим и тектонофизическим данным. I // Геофиз. журн. — 2011а. — 33, № 3. — С. 102—118.
- Гинтов О. Б., Мычак С. В. Напряженные состояния и деформации земной коры центральной части Ингульского мегаблока по материалам тектонофизического изучения Новоукраинского массива // Геофиз. журн. — 2011б. — 33, № 2. — С. 28—45.
- Гинтов О. Б., Орлюк М. И., Мычак С. В., Бакаржиева М. И., Фарфуляк Л. В. Субботско-Мошоринский этап деформирования земной коры Украинского щита // Геофиз. журн. — 2008. — 30, № 6. — С. 23—38.
- Гинтов О. Б., Пашкевич И. К. Тектонофизический анализ и геодинамическая интерпретация трехмерной геофизической модели Украинского щита // Геофиз. журн. — 2010. — 32, № 2. — С. 3—27.
- Глевасский Е. Б. Геодинамические критерии прогнозно-поисковой оценки алмазности Украинского щита и прилегающих территорий // Мин. журн. — 1995. — № 2. — С. 3—12.
- Глевасский Е. Б. Зеленокаменные пояса и перспективы поисков золотого оруденения в Приазовье // Мин. журн. — 1996. — № 4. — С. 72—88.
- Глевасский Е. Б. Палеогеодинамические реконструкции в раннем докембрии юго-восточной части УЩ // Тектоносфера Украины. — Киев: Наук. думка, 1989. — С. 68—75.
- Глевасский Е. Б. Решение некоторых проблем петрологии и стратиграфии Украинского щита с позиций плитотектоники // Мин. журн. — 2005. — 27, № 3. — С. 57—66.
- Глевасский Е. Б., Каляев Г. И. Докембрий и тектоника плит (проблема плитотектонических реконструкций юго-западного сегмента Восточно-Европейской платформы) // Геологія і стратиграфія докембрію Українського щита. — Київ, 1998. — С. 38—40.
- Глевасский Е. Б., Каляев Г. И. Тектоника докембрия Украинского щита // Мин. журн. — 2000. — № 2. — С. 77—91.
- Заец Л. Н. Скоростные границы в мантии Юго-Восточной Азии и Южного Китая // Геофиз. журн. — 2011. — 33, № 1. — С. 62—71.
- Каляев Г. И. Реликты золотоносной островной дуги в архейском фундаменте Украинского щита // Проблемы золотоносности недр Украины. — Киев: Изд. НАН Украины, 1997. — С. 82—93.
- Каляев Г. И. Тектоника докембрия Украинской железорудной провинции. — Киев: Наук. думка, 1965. — 170 с.
- Каляев Г. И., Глевасский Е. Б., Димитров Г. Х. Палеотектоника и строение земной коры докембрийской железорудной провинции Украины. — Киев: Наук. думка, 1984. — 237 с.
- Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (пояснювальна записка).* — Київ: Вид. УкрДГРІ, 2004. — 30 с.
- Куприенко П. Я., Макаренко И. Б., Старостенко В. И., Легостаева О. В. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Ингульского мегаблока Украинского щита // Геофиз. журн. — 2007. — 29, № 2. — С. 17—41.
- Кутас Р. И. Тепловая эволюция и формирование докембрийской земной коры // Еволюція докембрійських гранітоїдів і пов'язаних з ними корисних копалин у зв'язку з енергетикою Землі і етапами її тектоно-магматичної активізації (збірник наукових праць). — Київ: Вид. УкрДГРІ, 2008. — С. 90—97.
- Логвинов И. М., Гордиенко В. В. Глубинное магнитотеллурическое зондирование на территории Каневского природного заповедника // Заповідна справа в Україні. — 2005. — № 11, вип. 2. — С. 46—49.
- Логвинов И. М., Тарасов В. Н. Геоэлектрическая 2D-модель Кировоградской аномалии электропроводности // Геофиз. журн. — 2005. — 27, № 5. — С. 754—769.

- Лубнина Н. В. Восточно-Европейский кратон от неогархея до палеозоя по палеомагнитным данным: Автореф. дис. ... д-ра геол. наук. — Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2009. — 40 с.
- Паталаха Е. И. Геодинамическое моделирование типовых геологических структур. — Киев: ЕКМО, 2005. — 144 с.
- Паталаха Е. И. Фильтр-прессинг как механизм вторичного обогащения УВ краевых прогибов (в природе и в эксперименте). — Киев: Изд-во УкрГГРИ, 2002. — 44 с.
- Паталаха Е. И., Гончар В. В., Сенченков И. К., Червинко О. П. Инденторный механизм в геодинамике Крымско-Черноморского региона. Прогноз УВ и сейсмоопасности. — Киев: ЕКМО, 2003б. — 226 с.
- Паталаха Е. И., Гончар В. В., Сенченков И. К., Червинко О. П. Элементы геодинамики Карпат. Прогноз углеводородов и сейсмоопасности. — Киев: ЭКМО, 2003а. — 151 с.
- Соллогуб В. Б. Литосфера Украины. — Киев: Наук. думка, 1986. — 184 с.
- Старостенко В. И., Гинтов О. Б., Пашкевич И. К., Бурахович Т. К., Кулик С. Н., Куприенко П. Я., Кутас Р. И., Макаренко И. Б., Орлюк М. И., Цветкова Т. А. Металлогения Украинского щита: закономерности размещения месторождений рудных полезных ископаемых в связи с глубинным строением и динамикой литосферы Украинского щита // Геофиз. журн. — 2007. — 29, № 6. — С. 3—31.
- Старостенко В. И., Лукин А. Е., Цветкова Т. А., Заец Л. Н., Донцов В. В., Савиных Ю. В. Об участии суперглубинных флюидов в нефтидогенезе (по данным изучения уникального нефтяного месторождения Белый Тигр) // Геофиз. журн. — 2011. — 33, № 4. — С. 3—32.
- Створення комплексної тривимірної геофізичної моделі літосфери в зв'язку з магматизмом, тектонікою та утворенням корисних копалин Українського щита: Наук. звіт Ін-ту геофізики НАН України. — Киев, 2006. — 515 с. — Укргеолфонд, № гос. регистрации 0102U002478.
- Стратиграфические разрезы докембрия Украинского щита / Отв. ред. К. Е. Есыпчук. — Киев: Наук. думка, 1985. — 168 с.
- Структурная геология и тектоника плит / Под ред. К. Сйферта. — Т. 1. — Москва: МИР, 1990. — 315 с.
- Трипольский А. А., Шаров Н. В. Литосфера докембрийских щитов Северного полушария Земли по сейсмическим данным. — Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2004. — 159 с.
- Цымбал С. Н. Состав верхней мантии под Украинским щитом // Геологія і магматизм докембрію Українського щита. — Київ: Спец. друк. НАНУ, 2002. — С. 215—218.
- Bogdanova S. Segments of the East European Craton. EUROPROBE in Jablonna 1991. — Warszawa: Institute of Geophysics. Polish Ac. of Sci.-European Sciences Foundation, 1993. — P. 33—38.
- Bogdanova S. V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T. N., Kozlov V. I., Puchkov V. N., Volozh Y. A. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia // Precam. Res. — 2008. — 160. — P. 23—45.
- 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. EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of the East European Craton // European Lithosphere Dynamics. — London: Geol. Society, 2006. — P. 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. The 1,80—1,74 Ga gabbro-anorthosite-rapakivi Korosten Pluton in the NW Ukrainian Shield: a 3-D geophysical reconstruction of deep structure // Tectonophysics. — 2004. — 381. — P. 5—27.
- Bogdanova S. V., Pashkevich I. K., Gorbatshev R., Orlyuk M. I. Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundaries in the basement of the East European Craton: geology and geophysics // Tectonophysics. — 1996. — 268. — P. 1—21.
- Chardon D., Gapais D., Cagnard F. Flow of ultra-hot orogens: a view from the Precambrian, clues for the Phanerozoic // Tectonophysics. — 2009. — 477. — P. 105—118.
- Maystrenko Y., Stovba S., Stephenson R., Menyoli E., Gajewski D., Huebscher C., Rabbel W., Saintot A., Starostenko V., Thybo H., Tolkunov A. Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine // Geology. — 2003. — 31, № 8. — P. 733—736.
- Sizova E., Gerya T., Brown M., Perchuk L. L. Subduction styles in the Precambrian: Insight from numerical experiments // Lithos. — 2010. — 116. — P. 209—229.