

*С глубоким уважением и благодарностью  
посвящается выдающемуся ученому-магнитологу  
Зинаиде Александровне Крутиховской*

## **Мафические дайки Ингульского мегаблока ( Украинский щит ): связь поверхностных и глубинных структур литосферы, разломная тектоника и геодинамика**

**© И. К. Пашкевич, М. И. Бакаржиева, 2016**

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 9 сентября 2016 г.

*Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым*

Уточнено морфологию, структурную позицию, будову та насиченість роїв дайок Ингульського мегаблока Українського щита. Встановлено нові рої дайок "другого порядку". Визначено райони перетину "трас" роїв дайок, які розглянуто як магматичні осередки на різних поверхнях літосфери з характерними особливостями її будови. Ці осередки пов'язані з проявом комірок неодноразово активізованого плюма. Аналіз глибинної будови та особливостей неоднорідності земної кори і мантії в районах передбачуваних магматичних осередків дайок дали змогу дійти висновку про їх зв'язок з пульсуючим мантійним плюмом. Під його впливом розплавлений мантійний матеріал просувався зі сходу мегаблока на захід з більших літосферних глибин на менші. Утворилися дайки у північно-західних розломах, але Голованівська шовна зона обмежувала подальше поширення матеріалу.

**Ключові слова:** дайки, рої дайок, магматичні осередки, мантійний плюм, літосфера.

**Введение.** Ингульский мегаблок Украинского щита (УЩ) занимает центральное положение на щите и является своеобразной зоной сочленения эндербит-гранулитовой (к западу от него) и гранит-зеленокаменной (к востоку) областей по трансрегиональному тектоническому шву Херсон—Смоленск в центре мегаблока. Он расположен между Голованевской (ГШЗ) и Ингулецко-Криворожской шовными зонами, которые, в свою очередь, ограничены крупнейшими зонами разломов мантійного заложения — Тальновской, Звенигородско-Братской, Западно-Ингулецкой и Криворожско-Кременчугской. Большинство месторождений и проявлений таких рудных полезных ископаемых, как золото, уран и алмазы, находится в Ингульском мегаблоке УЩ [Кировоградский ..., 2013].

Многokратная активизация трансрегионального тектонического шва Херсон — Смоленск зафиксирована проявлением магматизма в кон-

це палеопротерозоя и формированием многофазных Новоукраинского массива и Корсунь-Новомиргородского габбро-анортозит-рапакиви-гранитного плутона, а также максимальной на УЩ концентрацией мафических даек, описанных в ряде публикаций [Bogdanova et al., 2013; Shumlyanskyu et al., 2015 и др.].

Дайки сгруппированы в рои различных направлений, среди которых особый интерес представляют радиальные рои даек. Они могли быть связаны с мантійными плюмами и, как показала практика исследований многих крупных магматических провинций (Large Igneous Provinces — LIP), позволяют выявить мантійные магматические очаги ("focus" по [Ernst, 2014]). Неоднократное поступление мантійного вещества в магматический очаг согласно мантійно-плюмовой модели объясняет тесную связь разновозрастных и различных по составу магматических образований в пределах таких про-

винций. В многочисленных исследованиях LP обращается внимание на характер сочленения роев даек, роль в их формировании "додайковой", "первичной" тектоники, геодинамики (границы кратонов, мобильные пояса, сдвиговые зоны, более древние рои даек и др.) и путей перемещения частично расплавленного вещества ослабленной литосферы, предшествующего внедрению даек [Jourdan et al., 2006 и др.].

Наше исследование является продолжением изучения приведенных в работе [Vogdanova et al., 2013] закономерностей формирования и структуры роев с конечной целью выделения магматических очагов (источников радиальных роев даек) и интерпретации их с точки зрения особенностей строения литосферы и мантийно-плюмовой геодинамики в позднем палеопротерозе.

Оно выполнялось в трех направлениях:

- более детальное картирование даек с использованием данных магнитных съемок масштаба 1 : 50 000 — 1 : 25 000, в том числе учтенных при составлении кондиционных геологических карт докембрийского фундамента, с целью уточнения морфологии, ориентации, строения и насыщенности дайками выделенных ранее роев;
- определение положения узлов пересечения "трасс" радиальных роев, идентифицированных в работах [Ernst, Buchan, 2001 а, б; Глуховский, Моралев, 2003; Jourdan et al., 2006; Ernst et al., 2010; Pisarevsky et al., 2014] как плюмы или магматические очаги основной магмы;
- исследование особенностей строения литосферы и неоднородностей мантии мегаблока, связанных с выделенными магматическими очагами.

**Структурное положение роев.** В пределах мегаблока (рис. 1) выделена система из шести главных радиальных роев преимущественно северо-западного простирания (Новоукраинский, Компанеевский, Александрийский, Боковьянский, Субботско-Мошоринский и Устиновский), в которую также входит меридиональный Ингуло-Каменский рой.

Рои даек северо-западного простирания, за исключением немногочисленных даек Новоукраинского роя, на северо-западе ограничены Глосским разломом северо-восточного простирания, а дайки Александрийского роя не прослежены в пределах Корсунь-Новомиргородского плутона. Рои часто контролируются серией активизированных правосторонних сдвигов.

Как следует из анализа простирания даек

мегаблока (рис. 2), главное направление соответствует 310—320°. В целом же выделяется две группы простирания: широкий спектр от 270 до 345° (около 490 даек), который свидетельствует о наличии нескольких радиальных систем роев даек, и "локальный" от 345 до 10° (73 дайки). При этом максимальная плотность даек первой группы составляет 30—35 км/10 км<sup>2</sup>, второй — 20—25 км/10 км<sup>2</sup>.

В дополнение к ранее опубликованной схеме роев даек [Vogdanova et al., 2013] были выявлены новые детали их строения (см. рис. 1). В пределах Новоукраинского роя и вдоль его северо-восточной границы под углом около 15° к нему выделены два параллельных роя северо-западного простирания (305—310°) "второго порядка" ("суб-рои") в виде оперения основного роя, связанные, вероятно, со сколовыми нарушениями при правостороннем сдвиге, происходившем по Новоукраинскому разлому в фазу его активизации, а также два дугообразных роя в узле пересечения Устиновского (У) и Новоукраинского (Н-У) роев.

Субпараллельно Субботско-Мошоринскому (С-М) и Александрийскому (Ал) роям к северу от них выделены два дополнительных широтных (С-М1, С-М2) и два роя западно-северо-западного (290—295°) простирания (Ал1, Ал2), свидетельствующие о существовании зон растяжения, сопутствующих зонам соответствующих разломов.

Особое положение в описываемом районе занимает Ингуло-Каменский (И-Км) рой, который находится к югу от Субботско-Мошоринской зоны и контролируется Кировоградским глубинным разломом. Дайки Ингуло-Каменского роя выделены в большинстве случаев как оси узких положительных магнитных аномалий. Максимальная насыщенность дайками отмечается в его южной части в области сочленения с Устиновским роєм.

Кроме описанных крупных роев к востоку от Кировоградской зоны разломов и к югу от Субботско-Мошоринской зоны отмечаются единичные, иногда достаточно протяженные, широтные дайки и дайки северо-восточного простирания.

Структурные соотношения роев даек указывают на последовательность их формирования. Наиболее древним можно считать Ингуло-Каменский рой, поскольку он прерывается или смещается по разломам, контролирующим рои широтного и северо-западного простирания. Александрийский рой даек ограничивает Боковьянский (Бк) и Субботско-Мошо-

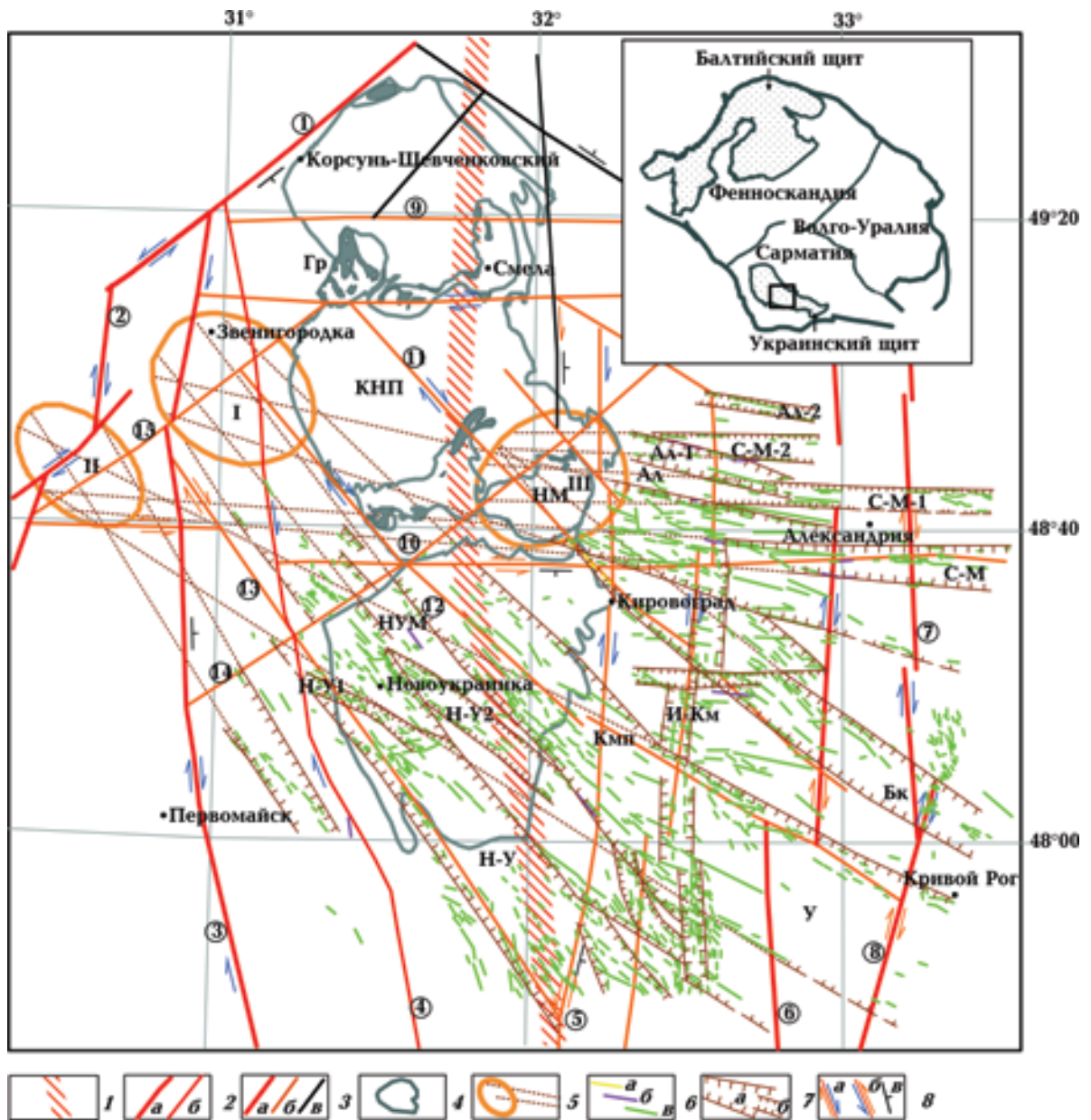


Рис. 1. Распространение мафических даек в сопоставлении с разломной тектоникой Ингульского мегаблока: 1 — зона раздвига Херсон—Смоленск; 2 — зоны разломов первого (а) и более высокого рангов (б); 3 — зоны разломов, образовавшихся: в начале раннего протерозоя (PR<sub>1</sub>-I) (а), в конце раннего протерозоя (PR<sub>1</sub>-II) (б), возраст не установлен (в) [Кировоградский ..., 2013; Гинтов, 2014]; 4 — контуры Новоукраинского (НУМ) массива, Корсунь-Новомиргородского плутона (КНП), массивов габбро-анортозитов; 5 — узлы пересечения "трасс" роев даек (I — НКА, (Новоукраинского, Компанеевского, Александровского), II — УС-М (Устиновского, Субботско-Мошоринского), III — С-МБк (Субботско-Мошоринского, Субботско-Мошоринского 1, Субботско-Мошоринского 2, Боковьянского)); 6 — дайки: кимберлитов (а); пикритов (б); диабазов (в); 7 — рои даек: главные (а), "второго порядка" (б); 8 — кинематические знаки (синие — во время заложения, желтые — при главной фазе активизации, а — правый сдвиг, б — левый сдвиг, в — направление падения). Зоны разломов: (цифры в кружках): 1 — Ядлов-Трактеевская, 2 — Тальновская, 3 — Первомайская, 4 — Звенигородско-Братская, 5 — Кировоградская, 6 — Западно-Ингулецкая, 7 — Искровская, 8 — Криворожско-Кременчугская, 9 — Смелянская, 10 — Субботско-Мошоринская, 11 — Лелековская, 12 — Нерубаево-Лозоватская, 13 — Новоукраинская, 14 — Глодосская, 15 — Мошуровская (зона скальвания). Рои даек: Ал, Ал1, Ал2 — Александрийский, СМ, С-М1, С-М2 — Субботско-Мошоринский, Бк — Боковьянский, У — Устиновский, Кмп — Компанеевский, Н-У — Новоукраинский, Н-У1 Новоукраинский 1, Н-У2 — Новоукраинский 2, И-Км — Ингуло-Каменский; массивы габбро-анортозитов: НМ—Новомиргородский, Гр — Городищенский.

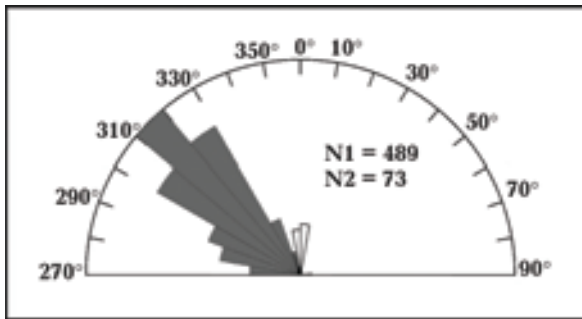


Рис. 2. Розы простирания магфических даек Ингульского мегаблока по [Bogdanova et al., 2013].

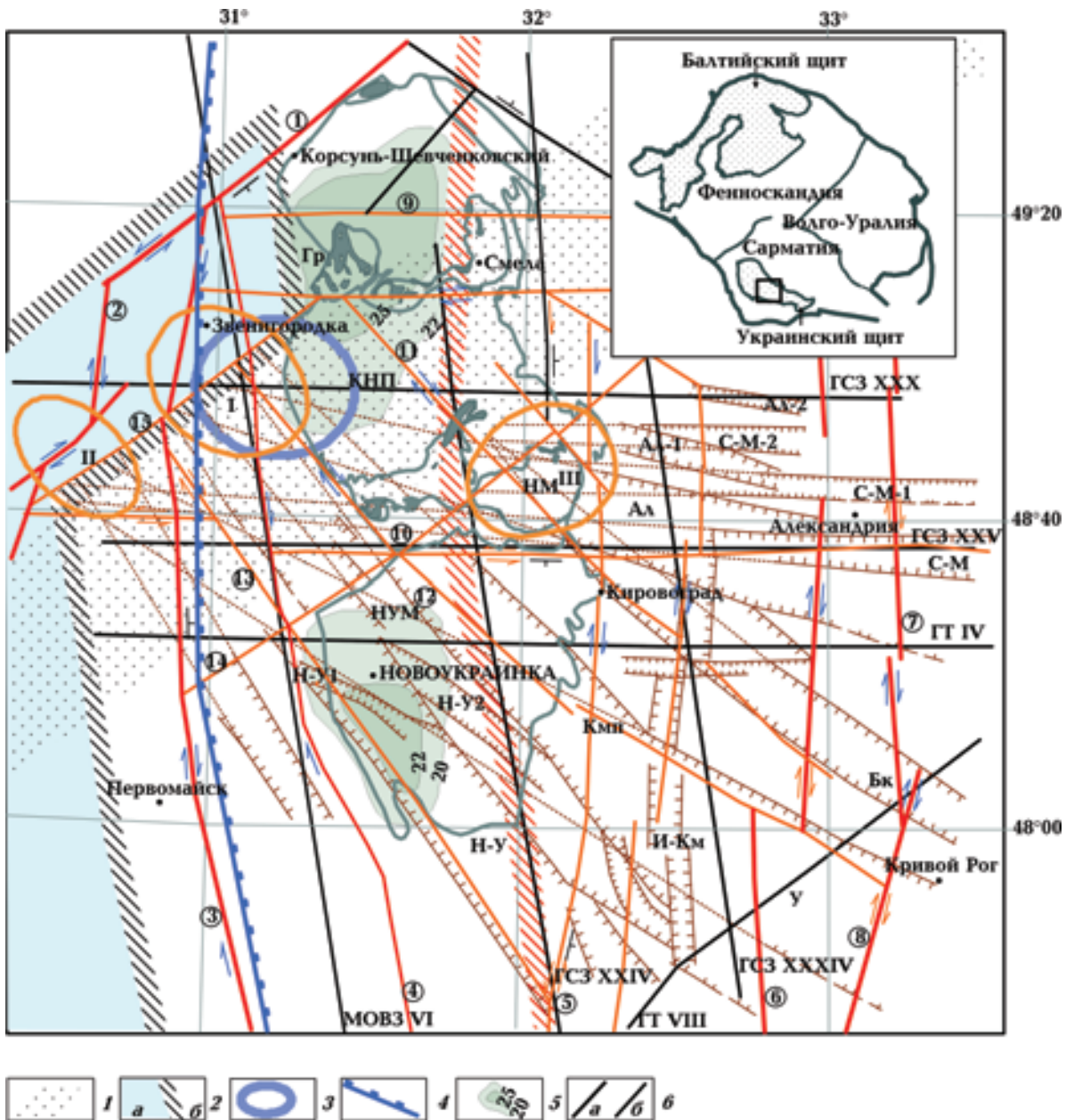


Рис. 3. Распространение роев магфических даек в сопоставлении с разломной тектоникой и элементами глубинного строения литосферы Ингульского мегаблока: 1 — литосферный линеймент "Г" по [Сологуб, 1986]; 2 — граница между толстой (а) и тонкой (б) корой; 3 — проекция зоны отсутствия раздела Мохо по данным ГСЗ и МОВЗ; 4 — восточная граница проводника ( $\rho = 25 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ) в верхней мантии с кровлей на глубине 70 км [Геолого-геофизическая модель ..., 2008]; 5 — мощность "базальтового" слоя в изолиниях (км) [Старостенко и др., 2015]; 6 — геотраверсы IV, VIII, профили ГСЗ XXIV, XXV, XXX, XXXIV (а), профиль МОВЗ VI (б). Другие условные обозначения см. на рис. 1.

ринский рой и может рассматриваться как более позднее образование относительно последних. В пределах Александрийского роя при этом есть отдельные широтные дайки и дайки северо-западного простирания, характерного для Субботско-Мошоринского и Боковьянского роев соответственно.

Сочленение Устиновского, Компанеевского и Ингуло-Каменского роев даек (см. рис. 1) образует сложный узел, в котором своеобразным "упором" служит меридиональная активизированная в позднем палеопротерозое Кировоградская зона разломов [Гинтов, 2014]. Здесь происходит изменение простирания Компанеевского роя ( $320^\circ$ ) на простирание Устиновского ( $300^\circ$ ), одиночные дайки последнего фиксируются в пределах Компанеевского роя, отмечаются дугообразные подвороты даек, связанные, возможно, с левосторонними сдвиговыми перемещениями по разломам в пределах Устиновского роя.

Общая картина распределения даек Ингульского блока определяется "додайковой" тектоникой и, прежде всего, наличием зон разломов, заложенных в раннем палеопротерозое — Тальновской, Первомайской, Звенигородско-Братской и Западно-Ингулецкой. Именно между Первомайской и Западно-Ингулецкой зонами разломов сосредоточено максимальное количество даек во всех роях, внедренных в период между формированием Новоукраинского массива трахитоидных гранитов (2,04—2,03 млрд лет) и Корсунь-Новомиргородского плутона гранитов рапакиви и габбро-анортозитов (1,76—1,74 млрд лет). Однако если к востоку от Западно-Ингулецкой зоны зафиксированы немногочисленные дайки Устиновского, Боковьянского и Александрийского роев, секущих Криворожскую структуру, а также дайки Субботско-Мошоринского роя, то к западу от Первомайской зоны разломов не отмечаются даже отдельные дайки. Не прослежены также дайки Александрийского и Субботско-Мошоринского роев и роев, параллельных им, как отмечалось выше, в Корсунь-Новомиргородском плутоне.

**Состав и возраст даек.** Данные о составе и возрасте даек описываемого региона могут быть косвенным доказательством многократной активизации предполагаемого мантийного плюма и разной глубинности магматических очагов на разных этапах его активизации. Поскольку многочисленные дайки предполагаются в основном по аномальному магнитному полю, выделить ареалы распространения

даек разного состава и установить положение их магматических очагов весьма затруднительно. В целом состав даек изменяется от пикритов до сиенитов как нормального, так и щелочного ряда с преобладанием основного и ультраосновного состава [Щербаков, 2005]. Авторы работы [Shumlyansky et al., 2015] по геохимическим и петрологическим данным в Ингульском мегаблоке выделяют три главных типа даек: кимберлиты; различные субщелочные высокомагнезиальные породы (пикриты, камптониты, субщелочные долериты и др.); толеитовые долериты. Породы первой и второй групп преимущественно развиты в северо-восточной части региона в районе Кировограда. Третья группа распространена повсеместно.

Как считают авторы [Shumlyansky et al., 2015], эти типы даек не связаны с фракционной дифференциацией исходного расплава. Породы первой группы являются продуктом расплава перидотитов нижней части субконтинентальной литосферной мантии. Породы второй группы происходят из материала геохимически обогащенного источника. Третья группа рассматривается как индикатор нижнекоревой контаминации. Таким образом, геохимические данные свидетельствуют о подлитосферной до подкоревой глубине парциального плавления для пород этих групп. Авторы заключают, что плавление обусловлено мантийным плюмом.

В работе [Усенко, 2014] выполнены оценки глубин образования магм разного состава. Преобладание среди интрузивных пород ультраосновных разновидностей, в том числе кимберлитов, указывает на дифференциацию расплавов на глубине порядка 200 км; при широком распространении основных пород и подчиненном количестве ультраосновных глубина дифференциации соответствует 150 км, с глубины 100 км отделяются расплавы, формирующие габбро, а также нефелиновые сиениты, а на глубине около 50 км образуются основные и кислые разновидности. Применительно к исследуемому региону эти оценки свидетельствуют о многократной активизации верхней мантии и нижней коры на разных глубинах.

Геохронологических данных о возрасте рассматриваемых даек недостаточно. Разными методами (R-Ar, Rb-Sr, U-Pb SIMS) оценен широкий временной интервал их внедрения — от 1900 до 1100 млн лет [Никольский, 1974; Гречишников и др., 1980; Цымбал и др., 1999; Юткина и др., 2005; Щербаков, 2005; Шумлянский, Мазур, 2010; Bogdanova et al., 2013; Митрохин и др., 2015 и др.]. Кроме мезо (палео?) -протере-

розойских мафических даек в пределах Новоукраинского массива известны [Клочков та ін., 2001] также многофазные интрузии палеозойского возраста ( $C_3$ — $P_1$ ) лампрофиров типа минетт (штоки или многоактные трубки взрыва), окаймленные эруптивными брекчиями. Единичные дайки минетт известны и за пределами этих штоков.

Широкий возрастной интервал получен по данным разных методов: 1900 млн лет по данным К-Аг метода [Никольский, 1974] для флогопита, выделенного из пикрита; несколько К-Аг данных по породе от 1100 до 1700 млн лет [Гречишников и др., 1980]. Для кимберлитов [Цымбал и др., 1999] этим же методом оценен возраст в 1800 млн лет в то время, как Rb-Sr методом для кировоградских кимберлитов получен возраст  $1770 \pm 9,4$  млн лет. Возраст долеритовой дайки (U-Pb SIMS метод) из Субботского карьера по циркону  $1774,3 \pm 7,4$  млн лет [Shumlyanskyu et al., 2015]. В районе Кировограда методом U-Pb возраст  $1810 \pm 15$  млн лет для долеритовой дайки в Лелековском кимберлитовом поле интерпретируется как возраст внедрения дайки.

**Оценка положения вероятных магматических очагов даек.** "Дайки основного состава, образующие рои, являются не только индикаторами геодинамических обстановок растяжения, но и определяют центры мантийных плюмов, с которыми они были связаны ..." [Глуховский, Моралев, 2003]. Положение таких плюмов, обусловивших внедрение крупных, иногда гигантских, роев даек, авторами ряда работ определяется как узлы пересечения "трасс" даек и относится к границам плит, террейнов, коллизионных швов [Ernst, Buchan, 2001 а, б; Глуховский, Моралев, 2003; Ernst et al., 2010; Pisarevsky et al., 2014 и др.]. Крупные магматические провинции являются следствием непродолжительных импульсов внутриплитного магматизма большого объема или магматизма субдукционного типа [Ernst, 2014]. Магматические очаги могут совпадать с плюмами в случае радиальных роев или располагаться вокруг него на расстоянии сотен километров или, в случае линейных роев, в одном из их концов [Ernst et al., 2001].

Авторами сделана попытка определить положение, охарактеризовать тектоническую позицию и особенности строения коры и мантии областей пересечения роев — "областей мантийных (или мантийно-коровых) источников" [Ernst, 2014]. Они определялись как области пересечения "трасс" роев даек, включающие узлы пересечений "трасс" отдельных даек. Пере-

сечение "трасс" Новоукраинского, Компанеевского и Александрийского роев образуют область НКА (см. рис. 1). В нее также входят более 200 узлов пересечения индивидуальных "трасс" даек. Область находится к западу от Шполянского массива Корсунь-Новомиргородского плутона в сложном узле пересечения Первомайской и Звенигородско-Братской глубинных зон разломов с Мошуровским.

Еще одну область пересечения "трасс" Устиновского, Субботско-Мошоринского роев и выделенного по аномальному магнитному полю роя из 16 даек северо-западного простирания юго-западнее Новоукраинского роя (УС-М) можно обозначить в районе смены простирания зоны Тальновского разлома по северо-восточному правостороннему сдвигу Мошуровского разлома (см. рис. 1).

Пересечение "трасс" Субботско-Мошоринского и Боковьянского роев образует третью область (С-МБк), в которую также может быть включен и Александрийский рой. Пространственно она совмещается с восточной частью и окрестностями Новомиргородского габбро-анортозитового массива. В области С-МБк пересекаются Субботско-Мошоринская зона разломов, Лелековский, Глодосский разломы диагональной системы и восточная ветвь меридиональной Кировоградской зоны.

Области узлов пересечения "трасс" роев даек относятся, так сказать, к "бездайковым" районам, все они соответствуют узлам пересечения крупных мантийных разломов, но имеют "индивидуальную" характеристику глубинного строения литосферы. Выделенные области можно рассматривать как проявление ячеек плюма в виде магматических очагов [Грачев, 2000].

**Особенности разломной тектоники, глубинного строения земной коры и мантии.** Области пересечения "трасс" дайковых поясов относятся к разным частям Ингульского мегаблока, разделенным меридиональным трансрегиональным тектоническим швом Херсон—Смоленск. Области НКА и УС-М располагаются к западной части мегаблока, а С-МБк — в восточной. Первые две области приурочены к сложному узлу пересечения зон крупных субмеридиональных Тальновского, Первомайского и Звенигородско-Братского глубинных разломов с Мошуровским разломом северо-восточного простирания (см. рис. 3), согласным с простиранием литосферного линеамента "Г" [Соллогуб, 1986], а также с изменениями глубинного строения земной коры ГШЗ. Обе эти области располагаются на северном продолжении

восточной части ГШЗ, которая характеризуется мощностью коры около 45 км и контактирует на западе с утолщением коры (до 65 км) и аномально высокой ее основностью (см. рис. 2). К северу от Мошуровского разлома кора также утолщена [Старостенко и др., 2007].

Под областью НКА по профилю VI МОВЗ между Шполянским и Смелянским широтными разломами выявлен 20-километровый интервал отсутствия раздела М, существенное изменение разреза коры, в котором уменьшается сейсмическая обменоспособность среды и сокращается количество внутрикоровых границ обмена. Такие особенности сейсмической характеристики разреза земной коры свидетельствуют о ее однородности, скорее всего, связанной с магматической проработкой. Отсутствие раздела М также отмечается и по профилю ГСЗ ХХХ [Крюченко, 1987; Ильченко, 2003; Кировоградский ..., 2013].

Область УС-М зафиксирована в сложном сочленении разломов, границы толстой и тонкой коры субмеридионального и северо-восточного простираний и контакта глубинного намагниченного блока.

Обе описываемые области характеризуются специфическим рисунком локальных магнитных аномалий (рис. 4). Морфология положительного поля в пределах НКА позволяет выделить штокообразное тело в центре с расходящимися от него локальными аномалиями типа даек. Аналогичное изометрическое тело, несколько смещенное от центра и сопровождаемое узкими линейными аномалиями, расположено и в пределах области УС-М.

В исследуемом узле пересечения крупных глубинных разломов обнаружено неоднородное распределение геоэлектрических параметров в верхней мантии. В ГШЗ под выходом Первомайского разлома на поверхность фундамента на глубине 70 км выделена восточная граница области с  $\rho = 25 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  с высокоомной мантией ( $1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ) под всем Ингульским мегаблоком (рис. 3, 5).

По данным сейсмической томографии в описываемой части ГШЗ мощность сейсмической литосферы увеличивается с запада на восток (см. рис. 5, 6) от 160 до 190 км [Гейко и др., 2006]. В этом же направлении изменяется тип верхней мантии от деплетированной на западе к метасоматизированной под Ингульским мегаблоком. Интенсивные изменения первично-деплетированной мантии под воздействием флюидов глубинного происхождения, обусловившие плавление пород верхней мантии и

обогащение их несовместимыми элементами [Цымбал и др., 2007], произошли, вероятно, в период 1850—1800 млн лет назад и предшествовали кимберлитообразованию [Перспективы ..., 2006]. Можно предположить, что переход от деплетированной к метасоматизированной мантии под ГШЗ “зафиксирован” в изменении мощности сейсмической литосферы и в положении границы толстой и тонкой коры. К этой же переходной зоне относится и линеамент “Г”.

Существенные изменения под ГШЗ отмечаются и на больших мантийных глубинах (см. рис. 6), в частности в строении слоя Голицына—Гейко (СГГ) и рельефе кровли средней мантии. К востоку от Первомайского разлома низкоскоростной СГГ залегает в интервале глубин 360—670 км, расслоен и имеет увеличенную мощность за счет высокоскоростного прослоя. Непосредственно под ГШЗ этот прослой выклинивается, мощность СГГ соответственно уменьшается, а подошва воздымается до 600 км. Условие структуры СГГ, наличие положительных аномалий скоростей в низкоскоростном СГГ и положительной аномалии скорости под СГГ авторами работы [Гейко и др., 2005] интерпретируется как верхнемантийная скоростная колонка, которая может связываться с остаточным проявлением протерозойского процесса флюидообразования и служить индикатором существования древних плюмовых процессов. Под влиянием последних фронт частичного плавления и тектонического течения нижнекорового—верхнемантийного вещества должен располагаться на стыке террейнов (плит) [Jourdan et al., 2006].

Таким коллизионным швом — порогом сопротивления продвижения расплавленного вещества в нашем случае может рассматриваться ГШЗ, ограниченная крупнейшими глубинными разломами субмеридионального простирания и нарушенная серией северо-восточных разломов. Действительно, во многих схемах геодинамических реконструкций [Геолого-геофизическая ..., 2008; Гинтов, 2014] она рассматривается как коллизионный шов, который ко времени внедрения даек описываемых роев уже существовал. Так, в пределах Бутского и Росинско-Тикичского мегаблоков дайки PR<sub>1</sub>-II практически отсутствуют, а северо-западные разломы, контролируемые дайками Ингульского мегаблока, прослеживаются, как указывалось выше, до ГШЗ.

Ограниченные и не всегда надежные данные о возрасте даек различного состава не позволяют обоснованно сделать вывод о последо-

вательности внедрения даек различных роев и "миграции" во времени и по глубине расплавленного вещества коры и верхней мантии. Можно лишь предположить, что, встречая на западе порог сопротивления в виде ГШЗ, оно могло продвигаться с юго-востока на северо-запад, находя пути выхода в виде внедрения даек по системе разломов, активизированных как правые сдвиги в  $PR_1$ -II в поле напряжений  $\sigma_1 = 03/00$ ;  $\sigma_3 = 273/05$  [Гинтов, 2005, 2014], после формирования Новоукраинского массива, но перед внедрением Корсунь-Новомиргородского плутона. Такое направление перемещения согласуется с описанными сублатеральными энерговодами (тектоноферами), имеющими корни в мантии и выходящими затем на поверхность в виде вулканов иногда на довольно больших расстояниях от места зарождения. По данным ГСЗ эти структуры в Ингульском мегаблоке прослежены в мантии на расстоянии более 150 км от зоны смены мощности коры в виде зон инверсии скорости (волноводов), пологопадающих (около  $10^\circ$ ) на юго-восток до глубины около 80 м и соответствующих крупным зонам глубинных разломов в земной коре, например, Тальновскому и Первомайскому [Чекунов, 1989; Соллогуб, 1986; Литосфера ..., 1988; Гинтов, Пашкевич, 2010]. Последние имеют крутое падение в верхней коре и выполаживаются с глубиной. На геотраверсе VI [Литосфера ..., 1988] в подкоровой мантии выделена сейсмическая граница, предположительно рассматриваемая авторами как выступ кровли протоастеносферы. Северо-восточная ветвь этого выступа является прямым продолжением пологопадающей коровой структуры. К сожалению, область распространения выделенного по геотраверсу VI волновода не установлена из-за отсутствия протяженных профилей ГСЗ и, соответственно, не достаточно длинных годографов. Тем не менее можно предположить, что в пределах Ингульского мегаблока продвижение расплавленного материала коры и верхней мантии происходило по такому или аналогичному волноводу с больших глубин на востоке к меньшим на западе. Авторы работы [Shumlyansky et al., 2015], исходя из мантийно-плюмовой модели, пришли к выводу, что долеритовые дайки могли внедряться латерально на расстояниях до сотен километров от центра плюма. Область источника долеритовых даек может отличаться от источника кимберлитовых, внедряющихся, вероятно, вертикально.

В отличие от УС-М и НКА область С-МБк находится в восточной части Ингульского ме-

габлока и связана с восточной частью Новомиргородского габбро-анортозитового массива Корсунь-Новомиргородского плутона, расположенного в центре области (рис. 1, 3). Дайки Субботско-Мошоринского, Александрийского и Боковьянского роев не прослеживаются в пределы массива, что согласуется с их возрастным соотношением. Однако разломы, с которыми связаны дайки, пересекают плутон, что свидетельствует об их многократной активизации.

Морфология области подчеркивается полукольцевой структурой (см. рис. 7), четко прослеженной в детальном магнитном поле узкими слабopоложительными вытянутыми аномалиями, которые могут фиксировать следы зоны "прототектонического" разлома [Пашкевич, Бакаржиева, 2013]. Многофазный Новомиргородский габбро-анортозитовый массив сложен, по мнению ряда исследователей [Щербаков, 2005; Шестопалова и др., 2014; Митрохин, Вишневецка, 2014, Митрохин и др., 2015 и др.], анортозитами по крайней мере двух генераций, габбро-анортозитами и габбро-норитами. Такому выводу не противоречит аномальное магнитное поле массива, в центре которого самостоятельный минимум интенсивностью до  $-50$  нТл связан с обратномагнитченными анортозитами. Обратная намагнитченность этих пород установлена экспериментально [Михайлова и др., 1994; Кировоградский ..., 2013] и подтверждена путем 3D магнитного моделирования [Пашкевич, Бакаржиева, 2013]. Что касается даек, то их состав для известного Знаменско-Успенского поля даек, отнесенных к мезопротерозою, приведен в работе [Перспективы ..., 2006]. 90 % даек представлены здесь диабазами и габбро-диабазами, 10 % составляют щелочные габброиды (камptonиты), ультрабазиты (пикриты и кимберлиты) и лампрофиры. Оливиновые диабазы, диабазы и лейкодиабазы описаны в работе [Геолого-прогнози ..., 2006], выделены две фазы кимберлитового магматизма как результат активизации разных эпох тектоногенеза и разной глубинности: пикрит-базальтовый и кимберлитовый. Первый из них менее глубинный. В пределах Корсунь-Новомиргородского плутона единичные тела диабазового состава, по мнению С.Г. Кривдика [Кривдик, 2009], могут быть жильной фацией плутона. Отметим здесь, что в Боковьянском и Александрийском роях наряду с долеритами известны дайки кимберлитов и пикритов соответственно, которые характеризуются разными глубинами магматических источников. "Совмещение" области пересечения трасс более древних роев даек с более



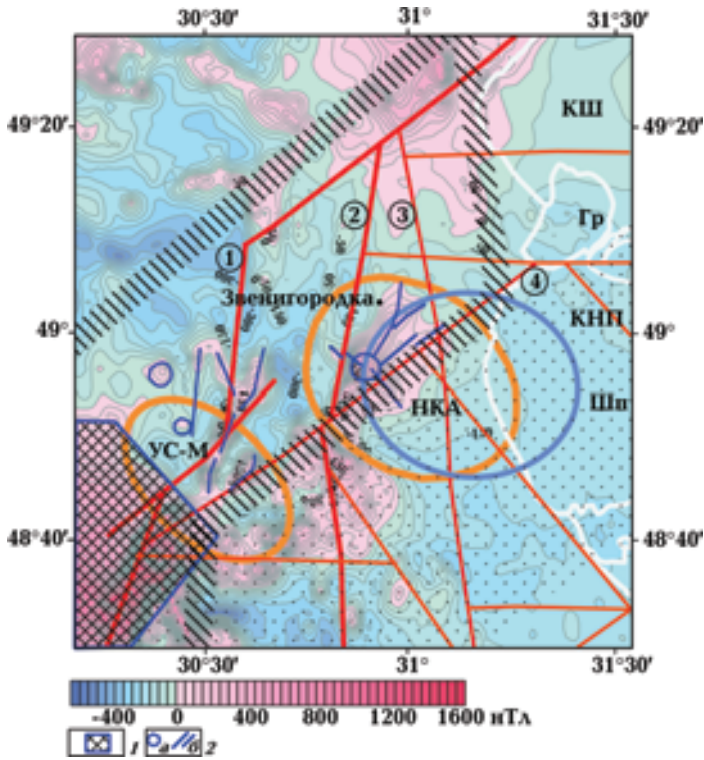


Рис. 4. Аномальное магнитное поле [Нечасова та ін., 2002] над узлами НКА и УС-М: 1 — проекция глубинного магнитного источника на поверхность кристаллического фундамента; 2 — локальные магнитные аномалии: а — изометрические, б — узкие линейные слабой интенсивности. Зоны разломов (цифры в кружках): 1 — Тальновская, 2 — Первомайская, 3 — Звенигородско-Братская, 4 — Мошуровская. Другие условные обозначения см. на рис. 1, 3.

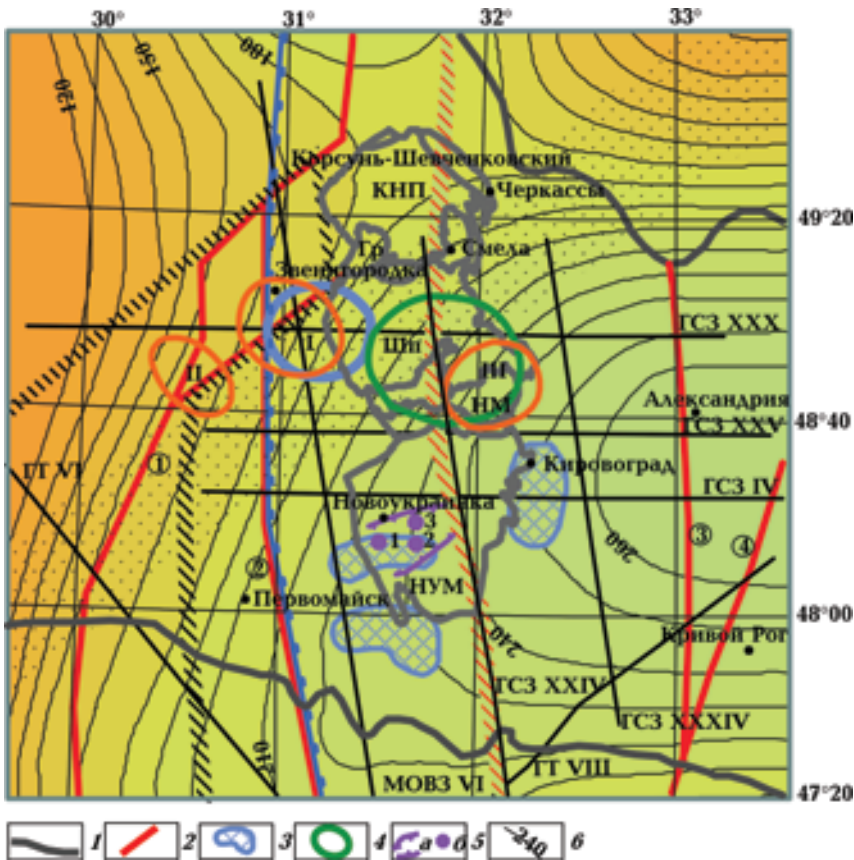


Рис. 5. Строение и неоднородность литосферы региона: 1 — граница УЩ; 2 — главные зоны разломов (цифры в кружках) (1 — Тальновская, 2 — Первомайская, 3 — Западно-Ингулецкая, 4 — Криворожско-Кременчугская); 3 — аномалии повышенной электропроводности верхней мантии (10 Ом · м на глубинах от 50 до 120 км) [Николаев и др., 2013]; 4 — Смельянская кольцевая высокопроводящая структура возбужденной мантии [Атлас ..., 2002]; 5 — Ровненская зона эксплозивных структур (а), эксплозивные структуры лампроитового ряда (б) (1 — Захаровская, 2 — Ровненская, 3 — Шавенковская); 6 — изолинии мощности сейсмической литосферы по данным сейсмической томографии [Старостенко и др., 2007], км. Другие условные обозначения см. на рис. 1, 3.

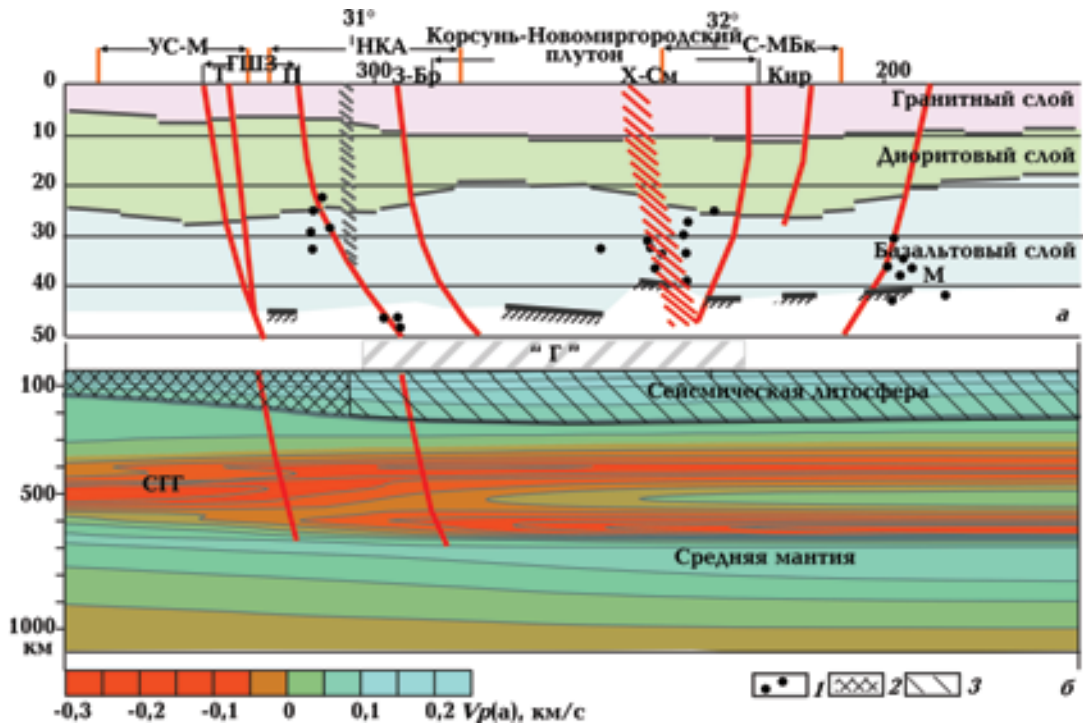


Рис. 6. Глубинное строение земной коры (а) по [Куприенко и др., 2007] и мантии (б) по [Гейко и др., 2006; Кировоградский ..., 2013] вдоль профиля ГСЗ ХХХ: 1 — точки дифракции, 2 — деплетованная мантия, 3 — метасоматизированная мантия по данным [Цымбал и др., 2007]. Зоны разломов: Т — Тальновский, П — Первомайский, 3—Бр — Звенигородско-Братский, Кир — Кировоградский;  $V_{p(a)}$  — аномалии сейсмических скоростей; СГГ — слой Голицына—Гейко. Другие обозначения см. на рис. 1, 7.

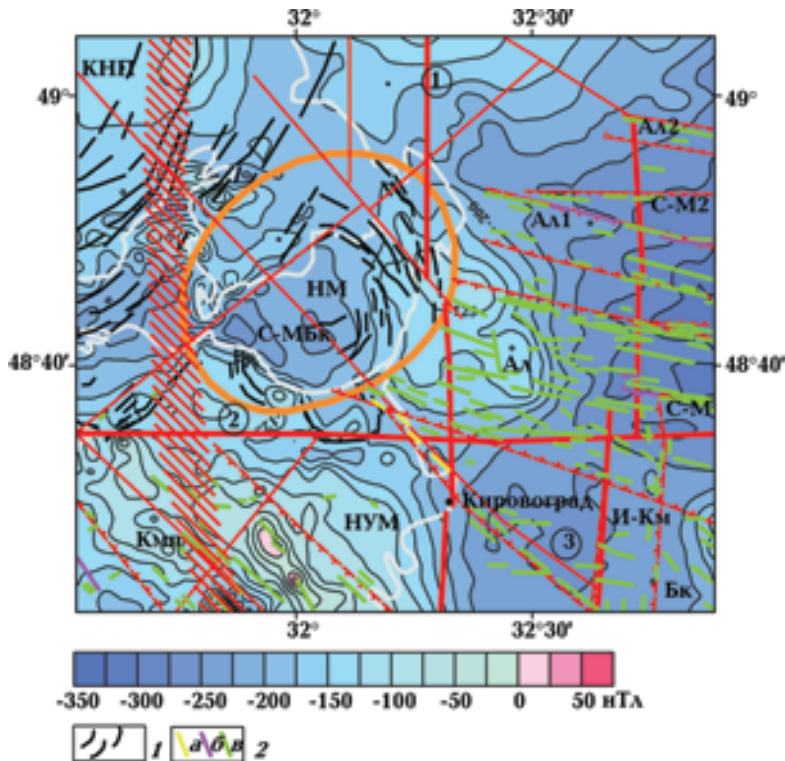


Рис. 7. Аномальное магнитное поле [Нечаева та ін., 2002] над узлом С-МБК: 1 — оси узких положительных магнитных аномалий слабой интенсивности, 2 — дайковый комплекс (а — кимберлиты, б — пикриты, в — диабазы). Зоны разломов (цифры в кружках): 1 — Кировоградская, 2 — Субботско-Мошоринская, 3 — Лелековская. Другие условные обозначения см. на рис. 1.

молодым массивом габбро-анортозитов также приводит к выводу о многократной активизации магматического очага в этой области. Дополнительными аргументами могут служить расположение области С-МБк в южной части Смелянской кольцевой высокопроводящей структуры на глубине 100 км (см. рис. 5), которая интерпретируется как структура возбужденной мантии [Атлас ..., 2002], наличие подкоровой линзы пониженных скоростей и расслоенность мантии под ней [Ильченко, 2003].

Широкий спектр состава даек, две генерации анортозитов, наличие среди них обратномагнитных пород, связанных, вероятно, с одной из генераций, и прямомагнитных даек подтверждают "пульсирующий" характер описываемого магматического очага.

Таким образом, изменение строения и состава коры и мантии, существование нескольких областей пересечения "трасс" роев и узлов пересечения "трасс" даек, разнообразие их состава и возраста внедрения свидетельствуют, что в регионе, ограниченном с запада ГШЗ, действовал долгоживущий пульсирующий плюм. Существование пульсирующих плюмов в регионе предполагается и при обсуждении схемы его геодинамического развития [Гинтов, 2014].

Размеры и положение плюма по строению и физической характеристике современной мантии оценить нельзя. Есть только его косвенные признаки, в частности расслоенные скоростные мантийные колонки, интерпретируемые как области выхода мантийных флюидных потоков. Такая мантийная колонка меридионального простирания выделена в интервале долгот  $31^{\circ} 30' - 34^{\circ} 30'$  [Кировоградский ..., 2013], западной границей которой является трансрегиональный тектонический шов Херсон—Смоленск.

Рассматривая многократную магматическую активизацию Ингульского мегаблока, нельзя не остановиться на проявлении самой молодой активизации Новоукраинского массива. В его пределах в дополнение к известным нами выделены два роя, сопутствующих Новоукраинскому роя, которые создают своеобразный узел, где отмечается максимальная концентрация даек (см. рис. 1, 8). Здесь же в узле пересечения разломов северо-западного и северо-восточного простираний известно Ровненское поле многофазных интрузий лампрофиров типа минетт палеозойского возраста. Оно представлено штоками (многоактными трубками взрыва) с апофизами разных размеров и рассматривается как перспективный участок на поиски коренных алмазов [Перспективы ..., 2006].

Этот сложный узел можно классифицировать как магматический очаг, активизированный по крайней мере в три этапа: во время внедрения Новоукраинского массива (2,04—2,03 млрд лет), формирования мафических даек, включая кимберлиты (1,80—1,77 млрд лет) и палеозойских лампрофиров (350—190 млн лет). Сам Новоукраинский массив также представляет собой полифазный плутон. И. Б. Щербаков выделяет четыре фазы его образования: основные и средние породы; средние и кислые породы разнообразного состава; гранитоиды, составляющие 80 % объема массива; аплитовидные граниты и сиениты [Щербаков, 2005]. Эти данные подтверждают пульсирующий характер магматического очага. К сожалению, для этого вывода не достаточно данных о возрасте пород разных фаз.

В глубинном строении земной коры этого района прежде всего следует отметить аномально большую (25 км) мощность нижней коры [Кировоградский ..., 2013], не характерную для областей тонкой коры УЩ, в том числе и Ингульского мегаблока. В работе [Ильченко та ін., 1988] изучена корреляция мощности базальтового слоя и мощности земной коры УЩ и показано, что при мощности коры 37—42 км "нормальная" мощность "базальтового" слоя (нижней коры) не должна превышать 10 км. Аномальная базальтоидность коры (рис. 8) в данном регионе может связываться с дифференциацией вещества на границе кора—мантия и выплавками в большом объеме ее кислой компоненты, что приводит к аномально высокому содержанию в разрезе коры пород основного состава, утонению "диоритового" слоя (средней коры) и увеличению мощности "гранитного" (верхней коры). Аналогичную природу, вероятно, имеет область аномально большой мощности базальтового слоя, установленная под Городищенским массивом габбро-анортозитов (см. рис. 3) Корсунь-Новомиргородского анортозит-рапакиви-гранитного плутона [Старостенко и др., 2015].

На уровне подошвы коры существуют нарушения раздела М, с которыми связывается вхождение в мантию глубинных разломов. Зона повышенной плотности в трансрегиональном тектоническом шве Херсон—Смоленск в сочетании с глубинными разломами нами интерпретируется как подводящий канал поступления основных—ультраосновных мантийных пород, по которому происходило пополнение базальтового слоя и увеличение его мощности. Кроме приведенных особенностей глубин-

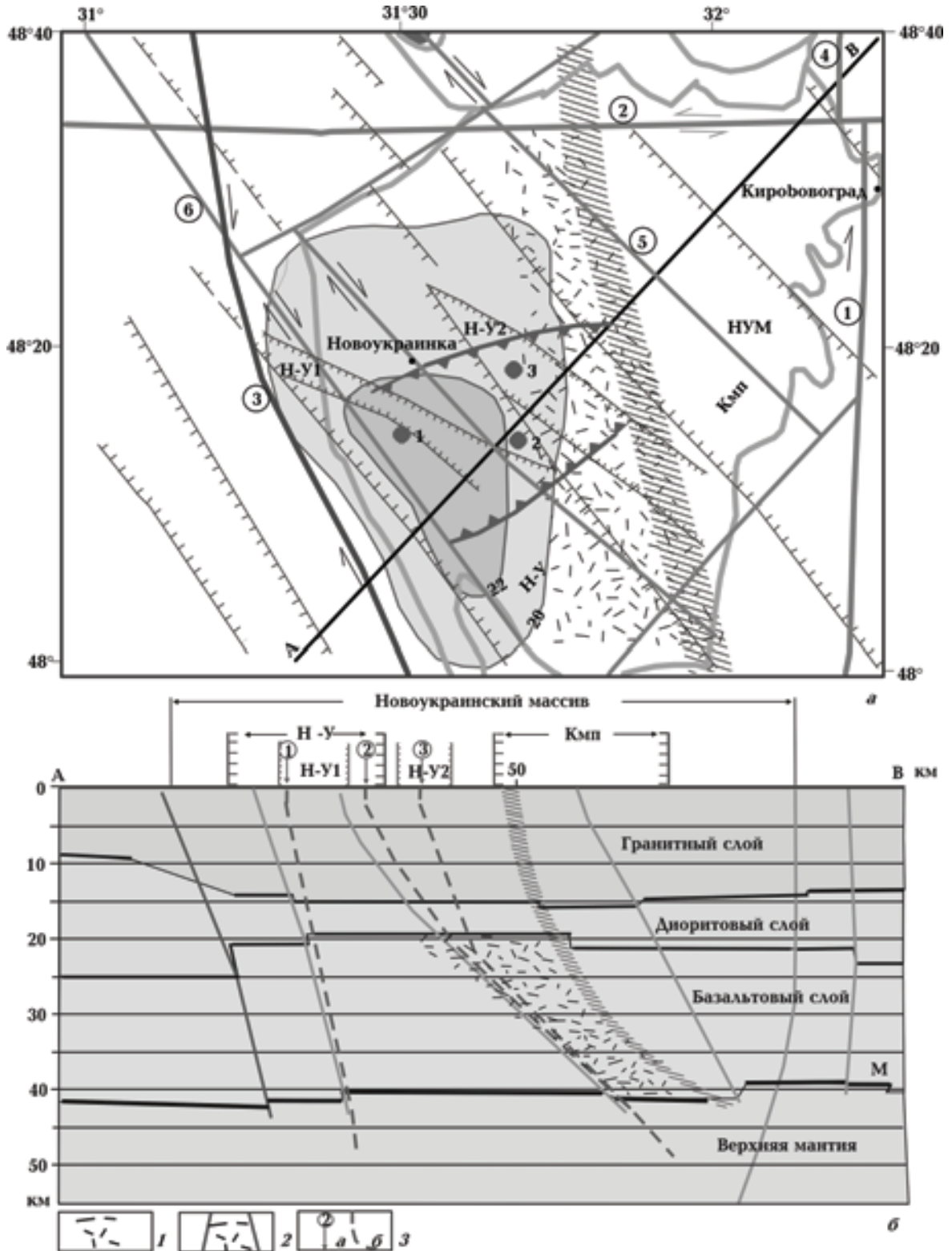


Рис. 8. Ровненское поле эксплозивных лампроитовых структур: *а* — тектоническое положение, *б* — глубинное строение земной коры вдоль профиля АВ на основе данных трехмерного гравитационного моделирования [Кировоградский ..., 2013]; 1 — проекция глубинного тела повышенной плотности ( $\Delta\rho = 0,02 \text{ г/см}^3$ ) на поверхность кристаллического фундамента; 2 — глубинное тело повышенной плотности, связанное с трансрегиональным тектоническим швом Херсон—Смоленск, 3 — эксплозивные структуры лампроитового ряда (1 — Захаровская, 2 — Ровненская, 3 — Шавенковская) (*а*) и предполагаемые подводящие каналы магмы (*б*). Другие условные обозначения см. на рис. 3, 5.

ного строения земной коры, на глубинах 50—120 км обнаружена аномалия электропроводности ( $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ), которая может быть обусловлена активизацией мантии [Николаев и др., 2013]. Такие же аномалии зафиксированы за пределами Новоукраинского массива: на юге — широтная, восточнее плутона в районе Кировограда — меридиональная. Таким образом, можно заключить, что Ровненская зона эксплозивных структур сформировалась в узле пересечения разломных структур в условиях неоднократной активизации коры и мантии в области растяжения вдоль трансрегионального тектонического шва Херсон—Смоленск и праводвиговых деформаций вдоль разломов.

**Выводы.** Подытоживая исследование связей роев мафических даек и проявлений разновозрастного магматизма Ингульского мегаблока с глубинным строением литосферы, можно сделать следующие выводы.

Изученные рои мафических даек Ингульского мегаблока преимущественно северо-западного и субширотного простираний образуют три радиальные системы и связаны с разломами соответствующих направлений, активизированными как правые сдвиги ко времени внедрения даек. Область развития роев ограничена на западе ГШЗ.

Все проявления магматизма в мегаблоке, который происходил от палеопротерозоя до палеозоя, вероятно обусловлены гигантским долгоживущим пульсирующим мантийным плюмом, проявления которого наблюдаются теперь в виде мантийной расслоенной скоростной колонки как индикатора выхода мантийных флюидных потоков, ограниченной на западе трансрегиональным тектоническим швом Херсон—Смоленск, и в виде отдельных магматических очагов, некоторые из которых неоднократно активизированы.

Предполагаемые протерозойские магматические очаги выделены как области пересечения "трасс" радиальных роев мафических даек и самих даек.

Разный состав магматических образований характеризует различную глубину активизации, которая варьирует от мантийных 200 км (для кимберлитов) до подкоровых и коровых глубин (для основных и кислых образований).

Магматические очаги расположены по обе стороны от трансрегионального тектонического шва Херсон—Смоленск, имеют разную характеристику глубинного строения литосферы и разную степень активизации земной коры и мантии. К западу от шва два очага соответствуют внедрению палеопротерозойских даек, на востоке — очаг не менее трехкратной активизации, завершившейся внедрением пород коростенского комплекса.

Многokrратно, вплоть до палеозоя, активизирован очаг в центре Новоукраинского массива, который не связан с радиальными роями даек, характеризуется аномальным составом коры и непосредственной связью с трансрегиональным тектоническим швом Херсон—Смоленск. Последний рассматривается как зона неоднократного растяжения земной коры и возможный подводящий канал поступления мантийного вещества.

Учитывая, что наибольшими глубинами магмообразования характеризуются кимберлиты, распространенные в восточной части мегаблока, а в верхней мантии установлены пологие зоны сейсмической неоднородности восточного падения, предполагается, что расплавленный мантийный материал продвигался с юго-востока на северо-запад до ГШЗ с больших глубин к меньшим, находя выходы в виде даек вдоль разломов преимущественно северо-западного простирания.

Полученные результаты, на наш взгляд, могут быть полезными при исследовании металлогенических закономерностей Ингульского мегаблока.

*Приносим искреннюю благодарность Светлане Вениаминовне за ценные замечания к работе.*

## Список литературы

Атлас "Глибинна будова літосфери та екологія України". Київ: Географіка, 2002.

Гейко В. С., Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Региональная 3D Р-скоростная модель мантии Сарматии (юго-за-

пад Восточно-Европейской платформы). *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 6. С. 3—11.

Гейко В. С., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н., Цветкова Т. А. Трехмерная модель верхней мантии Украины по временам при-

- хода *P*-волн. *Геофиз. журн.* 2006. Т. 28. № 1. С. 3—16.
- Аркуш М-36-XXXII (Новоукраїнка). Київ, 2001. 120 с.
- Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита.* Ред. А. В. Андиферов. Донецк: Вебер, 2008. 305 с.
- Кривгiк С.Г.* Платформний магматизм Українського щита. *Геохімія і рудоутворення.* 2009. № 27. С. 29—34.
- Геолого-прогнознi роботи на алмази масштабу 1 : 200000 у північно-східній частині Кіровоградського блоку УЩ.* Звіт Геологічної експедиції № 37. КП "Кіровгеологія", 2006. 252 с.
- Крюченко В.А.* Глубинное строение земной коры центральной части Украинского щита по геофизическим данным и закономерности размещения уранового оруденения: *Дис. ... г-ра геол.-мин. наук.* Киев, 1987. 404 с.
- Гинтов О.Б.* Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 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. Т. 29. № 2. С. 17—41.
- 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.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы: геотраверсы IV, VI, VIII.* Ред. В. Б. Соллогуб. Киев: Наук. думка, 1988. 172 с.
- 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.
- Митрохин О.В., Вишнеўська Е.А.* Мінералогічно-петрографічні особливості долеритів Розанівського дайкового поля (південна частина Інгульського мегаблоку Українського щита). *Вісн. Київ. ун-ту. Геологія.* 2014. Вип. 1(64). С. 18—21.
- Глуховский М.З., Моралев В.М.* Рои мафических даек архея как индикаторы особенностей плюм-тектонического режима ранней земли (на примере Сибирской платформы). *Геотектоника.* 2003. № 2. С. 39—57.
- Митрохин А.В., Шумлянський Л.В., Вишневская Е.А.* Петрография, геохимия и формационная принадлежность долеритов Бобринецкого дайкового пояса (Ингульский мегаблок Украинского щита). *Мінерал. журн.* 2015. Т. 37. № 1. С. 56—68.
- Грачев А.Ф.* Мантийные плюмы и проблемы геодинамики. *Физика Земли.* 2000. № 4. С. 3—37.
- Михайлова Н.П., Кравченко С.Н., Глевасская А.М.* Палеомагнетизм анортозитов. Киев: Наук. думка, 1994. 212 с.
- Гречишников Н.П., Коржнева Е.П., Крамар О.А., Щербак Д.Н.* О возрасте дайковых пород Субботско-Мошоринской зоны разломов. *Геол. журн.* 1980. № 5. С. 139—143.
- Нечасва Т.С., Шумків Л.М., Горкавко В.М.* Карта аномального магнітного поля України м-бу 1 : 1000000. Київ, 2002. 1 л.
- Ильченко Т.В.* Строение земной коры и верхов мантии Кировоградского блока Украинского щита по данным ГСЗ (профили Бабанка—Пятихатки и Черкассы—Новый Буг). *Геофиз. журн.* 2003. Т. 36. № 6. С. 30—42.
- Николаев И.Ю., Бурахович Т.К., Шеремет Е.М.* Объемная геоэлектрическая модель Кировоградского рудного района центральной части Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 4. С. 127—140.
- Ильченко Т.В., Пашкевич И.К., Каратаєв Г.І.* Взаємозв'язок складу і потужності земної кори Українського щита. *Доп. АН УРСР. Сер. Б. Геологія, хімія та біол. науки.* 1988. № 4. С. 13—16.
- Никольский А.П.* Слюдяные пикриты центральной части Украинского щита. *Докл. АН СССР.* 1974. Т. 215. № 6. С. 1451—1453.
- Кировоградский рудный район.* Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых. Отв. ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтов. Киев: Прастьи луды, 2013. 500 с.
- Пашкевич И.К., Бакаржиева М.И.* 3D магнитная модель Корсунь-Новомиргородского плутона и Новоукраинского массива и ее геологическая интерпретация. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 4. С. 115—126.
- Клочков В.М., Білинська Я.П., Шевченко О.М.* Державна геологічна карта України м-бу 1 : 200000.
- Перспективы коренной алмазоносности Укра-*

- ины. Ред. В. С. Металиди. Киев; Львов: Центр Европы, 2006. 200 с.
- Солмогуб 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 рудных полезных ископаемых, связь с глубинным строением и динамикой литосферы. *Геофиз. журн.* 2007. Т. 29. № 6. С. 3—31.
- Старостенко В. И., Куприенко П. Я., Макаренко И. В., Савченко А. С. Легостаева О. В. Плотностная неоднородность земной коры Ингульского мегаблока Украинского щита по данным трехмерного гравитационного моделирования. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 3. С. 3—21.
- Усенко О. В. Формирование расплавов: геодинамический процесс и физико-химические взаимодействия. Киев: Наук. думка, 2014. 237 с.
- Цымбал С. Н., Богданова С. В., Цымбал Ю. С. Геохимические особенности верхней мантии под Украинским щитом. *Материалы международного совещания "Щелочной магматизм Земли и его рудоносность"*, Донецк, 10—16 сентября 2007 г. Киев, 2007. С. 251—256.
- Цымбал С. Н., Кривдик С. Г., Кириянов Н. Н., Мазур О. Ф. Вещественный состав кимберлитов Кировоградского геоблока (Украинский щит). *Минерал. журн.* 1999. Т. 21. № 2/3. С. 22—38.
- Чекунов А. В. Эволюция тектоносферы Юго-Восточной Европы. В кн.: *Тектоносфера Украины*. Киев: Наук. думка, 1989. С. 4—17.
- Шестопалова Е. Б., Степанюк Л. М., Довбуш Т. И., Ковтун А. В. О возрасте белых анортозитов Новомиргородского массива Корсунь-Новомиргородского плутона (Украинский щит). *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 2. С. 150—160.
- Шумлянський Л. В., Мазур М. Д. Вік та речовинний склад йотунітів Білокоровицького дайкового поясу. *Геолог України*. 2010. № 1-2. С. 70—78.
- Щербаков И. Б. Петрология Украинского щита. Львов: ЗУКЦ, 2005. 366 с.
- Юткина Е. В., Кононова В. А., Цымбал С. Н., Левский Л. К., Кириянов Н. Н. Изотопно-геохимическая специализация мантийного источника кимберлитов кировоградского комплекса (Украинский щит). *Доклады РАН*. 2005. Т. 402. № 1. С. 87—91.
- Bogdanova S. V., Gintov O. B., Kurlovich D., Lubnina N. V., Nilsson M., Orlyuk M. I., Pashkevich I. K., Shumlyansky L. V., Starostenko V. I., 2013. Late Palaeoproterozoic mafic dyking in the Ukrainian Shield of Volgo-Sarmatia caused by rotations during the assembly of supercontinent Columbia (Nuna). *Lithos* 174, 196—216. doi:10.1016/S0024-4937(12)00439-2.
- Ernst R., 2014. Large igneous Provinces. Cambridge: Cambridge University Press, 653 p.
- Ernst R. E., Buchan K. L., 2001a. Large mafic magmatic events through time and links to mantle plume heads. In: *Mantle Plumes: Their Identification through Time*. Geol. Soc. America, Spec. Paper 352, 483—575.
- Ernst R. E., Buchan K. L. (Eds), 2001b. Mantle Plumes: Their Identification through Time. Geol. Soc. America, Spec. Paper 352, 593 p.
- Ernst R. E., Grosfils E. B., Mege D., 2001. Giant Dyke Swarms: Earth, Venus and Mars. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 29, 489—534.
- Ernst R., Srivastava R., Bleeker W., Hamilton M., 2010. Precambrian large igneous provinces (LIPs) and their dyke swarms: New insights from high-precision geochronology integrated with paleomagnetism and geochemistry. *Precambrian Res.* 183(3), vii—xi. doi:10.1016/j.precamres.2010.09.001.
- Jourdan F., Feraud G., Bertrand H., Watkeys M., Kampunzu A., Le Gall B., 2006. Basement control on dyke distribution in Large Igneous Provinces: Case study of the Karoo triple junction. *Earth Planet. Sci. Lett.* 241, 307—322.
- Pisarevsky S. A., De Waele B., Jones S., Söderlund U., Ernst R. E., 2014. Paleomagnetism and U-Pb age of the 2.4 Ga Erayinia mafic dykes in the southwestern Yilgarn, Western Australia: paleogeographic and geodynamic implications. *Precambrian Res.* 259, 222—231. doi:10.1016/j.precamres.2014.05.023.
- Shumlyansky L., Mitrokhin O., Billström K., Ernst R., Vishnevskaya E., Tsybmal S., Cuney M., Socsoo A., 2015. The ca. 1.8 Ga mantle plume related magnetism of the central part of the Ukrainian Shield. *GFF*, 138(1), 86—101. doi: 10.1080/11035897.2015.1067253.

# Mafic dykes of Ingul megablock (Ukrainian Shield): relationship of surface and deep structures of the lithosphere, fault tectonics and geodynamics

© I. K. Pashkevich, M. I. Bakarzhieva, 2016

Morphology, structure position, formation and dyke saturation of the swarms were ascertained. New dyke swarms of "second range" were established. Intersection areas of the dyke swarms "traces" were defined. They are considered as the magmatic focuses at the different lithosphere depths, which are connected with cells of the repeatedly activated plume. Analysis of the Earth crust deep structure and peculiarities of mantle heterogeneities in the proposed magmatic focuses of dykes permitted us to conclude, that they are associated with pulsing mantle plume. Under its influence melted mantle material moved forward from greater depths in the east to smaller one in the west. It found the escape as dykes in the north-western faults but Golovanevsk suture zone limited further extension of material.

**Key words:** dykes, swarms of dykes, magmatic foci, mantle plume, lithosphere.

## References

- Atlas "Deep structure of the lithosphere and ecology of Ukraine"*, 2002. Kyiv: Geografika (in Ukrainian).
- Geyko V.S., Tsvetkova T.A., Shumlyanskaya L.A., Bugaenko I.V., Zaets L.N., 2005. 3D regional P-velocity model of the Sarmatia mantle (south-west of the East European Platform). *Geofizicheskiy zhurnal* 27(6), 3—11 (in Russian).
- Geyko V.S., Shumlyanskaya L.A., Bugaenko I.V., Zaets L.N., Tsvetkova T.A., 2006. Three-dimensional model of the upper mantle of Ukraine on the arrival time of the P-waves. *Geofizicheskiy zhurnal* 28(1), 3—16 (in Russian).
- Geological and geophysical model Golovanevsk suture zones of the Ukrainian Shield, 2008. Ed. A.V. Antsiferov. Donetsk: Veber, 305 p. (in Russian).
- Geological forecast for diamonds, scale of 1 : 200000 in the north-eastern part of the Kirovograd block of Ukrainian Shield, 2006. Report of Geological expedition number 37 KP "Kirovgeologiya". 252 p. (in Ukrainian).
- Gintov O.B., 2005. Field tectonics and its application in the study of crustal deformation in Ukraine. Kiev: Feniks, 572 p. (in Russian).
- Gintov O.B., 2014. Scheme phases of periodization faulting in the crust of the Ukrainian Shield — new data and consequences. *Geofizicheskiy zhurnal* 36(1), 3—18 (in Russian).
- Gintov O.B., Pashkevich I.K., 2010. Tectonophysical analysis and geodynamic interpretation of three-dimensional geophysical model of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy zhurnal* 32(2), 3—27 (in Russian).
- Glukhovskiy M.Z., Moralev V.M., 2003. Swarms of Archean mafic dykes as indicators of plume-tectonic features of early Earth regime (by example of the Siberian Platform). *Geotektonika* (2), 39—57 (in Russian).
- Grachev A.F., 2000. Mantle plumes and problems of geodynamics. *Fizika Zemli* (4), 3—37 (in Russian).
- Grechishnikov N.P., Korzhneva E.P., Kramar O.A., Scherbak N.P., 1980. On age of dykes of the Subotsy-Moshoryno fault zone. *Geologicheskii zhurnal* (5), 139—143 (in Russian).
- Il'chenko T.V., 2003. The structure of the crust and upper mantle of the Kirovograd block of the Ukrainian Shield on DSS data (profiles Babanka—Pyatikhatki and Cherkasy—Novyy Bug). *Geofizicheskiy zhurnal* 36(6), 30—42 (in Russian).
- Il'chenko T.V., Pashkevych I.K., Karatayev G.I., 1988. The relationship of composition and thickness of the Ukrainian Shield crust. *Dopovidi AN URSR. Ser. B. Geologiya, himiya ta biol. nauky* (4), 13—16 (in Ukrainian).
- The Kirovograd ore region. Deep structure. Tectonophysical analysis. Ore deposits, 2013. Eds V.I. Starostenko, O.B. Gintov. Kiev: Prastiye ludi, 500 p. (in Russian).
- Klochkov V.M., Bilyns'ka Ya.P., Shevchenko O.M.,



2001. State geological map of Ukraine. 1 : 200000. Sheet M-37-XXXII (Novoukrayinka). Kiev, 120 p. (in Ukrainian).
- Kryvdik S. G., 2009. Platform magmatism of the Ukrainian Shield. *Geohimiya i rudoutvorenniya* (27), 29—34 (in Ukrainian).
- Kryuchenko V. A., 1987. Deep crustal structure of the central part of the Ukrainian Shield according to geophysical data and regularities of distribution of uranium mineralization: *Dr. geol.-min. sci. dis.* Kiev, 404 p. (in Russian).
- Kuprienko P. Ya., Makarenko I. B., Starostenko V. I., Legostaeva O. V., 2007. Three-dimensional density model of the crust and upper mantle of the Ingul megablock of Ukrainian Shield. *Geofizicheskij zhurnal* 29(2), 17—41 (in Russian).
- The lithosphere of Central and Eastern Europe: geotraverses IV, VI, VIII, 1988. Ed. V. B. Sollogub. Kiev: Naukova Dumka, 172 p. (in Russian).
- Mitrokhin O. V., Vyshnevs'ka E. A., 2014. Mineralogical and petrographic features of dolerite dykes of Rozanivsk field (southern part of the Ingul megablock of Ukrainian Shield). *Visnyk Kyryv's'kogo universytetu. Geologiya* (is. 1), 18—21 (in Ukrainian).
- Mitrokhin A. V., Shumlyanskiy L. V., Vishnevskaya E. A., 2015. Petrography, geochemistry and formati-onal affiliation of Bobrinetsk dolerite dike belt (Ingul megablock of Ukrainian Shield). *Mineralogicheskij zhurnal* 37(1), 56—68 (in Russian).
- Mikhaylova N. P., Kravchenko S. N., Glevasskaya A. M., 1994. Paleomagnetism of anorthosites. Kiev: Naukova Dumka, 212 p. (in Russian).
- Nechayeva T. S., Shymkiv L. M., Gorkavko V. M., 2002. Anomaly magnetic field map of Ukraine, scale of 1 : 1000000. Kyiv, 1 s. (in Ukrainian).
- Nikolaev I. Yu., Burakhovich T. K., Sheremet E. M., 2013. Volume geoelectric model of the Kirovograd ore district of the central part of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskij zhurnal* 35(4), 127—140 (in Russian).
- Nikolskiy A. P., 1974. Micaceous picrites of the central part of the Ukrainian Shield. *Doklady AN SSSR* 215(6), 1451—1453 (in Russian).
- Pashkevich I. K., Bakarzhieva M. I., 2013. 3D magnetic model of Korsun-Novomirgorod pluton and Novoukrayinka massif and its geological interpretation. *Geofizicheskij zhurnal* 35(4), 115—126 (in Russian).
- Perspectives bearing root diamond of Ukraine, 2006. Ed. V. S. Metalidi. Kiev; L'vov: Tsentr Evropy, 200 p. (in Russian).
- Sollogub V. B., 1986. The lithosphere of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 184 p. (in Russian).
- Starostenko V. I., Gintov O. B., Pashkevich I. K., Burakhovich T. K., Kulik S. N., Kuprienko P. Ya., Kutas R. I., Makarenko I. B., Orlyuk M. I., Tsvetkova T. A., 2007. Metallogeny of the Ukrainian Shield: patterns of distribution of ore deposits with links to the deep structure and lithosphere dynamics. *Geofizicheskij zhurnal* 29(6), 3—31 (in Russian).
- Starostenko V. I., Kuprienko P. Ya., Makarenko I. V., Savchenko A. S., Legostaeva O. V., 2015. Density inhomogeneity in the Earth's crust of the Ingul megablock of the Ukrainian Shield according to the three-dimensional gravity modeling. *Geofizicheskij zhurnal* 37(3), 3—21 (in Russian).
- Usenko O. V., 2014. Forming of melts: geodynamic process and chemical interactions. Kiev: Naukova dumka, 172 p. (in Russian).
- Tsybmal S. N., Bogdanova S. V., Tsybmal Yu. S., 2007. Geochemical features of the upper mantle under Ukrainian Shield. *Proceedings of International meeting "Alkaline magmatism of the Earth and its ore-bearing, Donetsk, 10—16 September 2007.* Kiev, 251—256 (in Russian).
- Tsybmal S. N., Krivdik S. G., Kir'yanov N. N., Makivchuk O. F., 1999. Material composition of kimberlites of the Kirovograd geoblock (Ukrainian Shield). *Mineralogicheskij zhurnal* 21(2/3), 22—38 (in Russian).
- Chekunov A. V., 1989. Tectonosphere evolution of the South-Eastern Europe. In: *Tectonosphere of Ukraine.* Kiev: Naukova Dumka, 4—17 (in Russian).
- Shestopalova E. B., Stepanyuk L. M., Dovbush T. I., Kovtun A. V., 2014. About the age of Novomirgorod white anorthosite massif of the Korsun-Novomirgorod pluton (Ukrainian Shield). *Geofizicheskij zhurnal* 36(2), 150—160 (in Russian).
- Shumlyanskiy L. V., Mazur M. D., 2010. Age and material composition of the jotunites of the Bilokorovychi dyke swarm. *Geolog Ukrayiny* (1-2), 70—78 (in Ukrainian).
- Shcherbakov I. B., 2005. Petrology of the Ukrainian Shield. L'vov: Zapadno-Ukrainskiy Konsalting Tsentr, 366 p. (in Russian).
- Yutkina E. V., Kononova V. A., Tsybmal S. N., Levskiy L. K., Kiryanov N. N., 2005. Isotopegeochemical specialisation of the mantle source of kimberlites of the Kirovograd complex (Ukrainian Shield). *Doklady AN* 402(1), 87—91 (in Russian).
- Bogdanova S. V., Gintov O. B., Kurlovich D., Lubnina N. V., Nilsson M., Orlyuk M. I., Pashkevich I. K.,

- Shumlyanskyy L. V., Starostenko V. I.*, 2013. Late Palaeoproterozoic mafic dyking in the Ukrainian Shield of Volgo-Sarmatia caused by rotations during the assembly of supercontinent Columbia (Nuna). *Lithos* 174, 196—216. doi:10.1016/S0024-4937(12)00439-2.
- Ernst R.*, 2014. Large igneous Provinces. Cambridge: Cambridge University Press, 653 p.
- Ernst R. E., Buchan K. L.*, 2001 a. Large mafic magmatic events through time and links to mantle plume heads. In: *Mantle Plumes: Their Identification through Time*. Geol. Soc. America, Spec. Paper 352, 483—575.
- Ernst R. E., Buchan K. L.* (Eds), 2001 b. Mantle Plumes: Their Identification through Time. Geol. Soc. America, Spec. Paper 352, 593 p.
- Ernst R. E., Grosfils E. B., Mege D.*, 2001. Giant Dyke Swarms: Earth, Venus and Mars. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 29, 489—534.
- Ernst R., Srivastava R., Bleeker W., Hamilton M.*, 2010. Precambrian large igneous provinces (LIPs) and their dyke swarms: New insights from high-precision geochronology integrated with paleomagnetism and geochemistry. *Precambrian Res.* 183(3), vii—xi. doi:10.1016/j.precamres.2010.09.001.
- Jourdan F., Feraud G., Bertrand H., Watkeys M., Kampunzu A., Le Gall B.*, 2006. Basement control on dyke distribution in Large Igneous Provinces: Case study of the Karoo triple junction. *Earth Planet. Sci. Lett.* 241, 307—322.
- Pisarevsky S. A., De Waele B., Jones S., Söderlund U., Ernst R. E.*, 2014. Paleomagnetism and U-Pb age of the 2.4 Ga Erayinia mafic dykes in the southwestern Yilgarn, Western Australia: paleogeographic and geodynamic implications: *Precambrian Res.* 259, 222—231. doi:10.1016/j.precamres.2014.05.023.
- Shumlyanskyy L., Mitrokhin O., Billström K., Ernst R., Vishnevskaya E., Tsymbal S., Cuney M., Socsoo A.*, 2015. The ca. 1.8 Ga mantle plume related magnetism of the central part of the Ukrainian Shield. *GFF*, 138(1), 86—101. doi: 10.1080/11035897.2015.1067253.