

Магнитное поле и дайковые пояса Восточно-Приазовского блока Украинского щита

© М. И. Бакаржиева, А. В. Марченко, Т. В. Розыган, Е. П. Гадяцкая,
В. В. Друкаренко, 2016

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 14 декабря 2015 г.

Представлено членом редколлегии М. И. Орлюком

У статті проаналізовано закономірності відображення геологічної будови багатофазного проникнення інтрузивних масивів Східного Приазов'я у магнітному полі. Особливості глибинної будови розглянуто з урахуванням даних сейсмічного профілю ГСЗ Таганрог—Кіровоград рельєфу поверхні Мохо, регіональних космічних знімків і розривних порушень Східного Приазов'я. Головною особливістю району вивчення є висока насиченість дайками різного віку та складу. Виконано просторовий аналіз концентрації розміщення роїв дайок та їх зв'язок з неоднорідностями глибинної будови земної кори. Проаналізовано геохімічні властивості дайкових порід та їх зв'язок з намагніченістю. Виділено регіональну та локальну складові аномального магнітного поля. Зроблено кількісний аналіз аномального магнітного поля та його компонент з метою виділення магнітолінеamentів для території дослідження. Продемонстровано результати моделювання мафічних дайок Кам'яномогильського та Мало-янісольського роїв Східного Приазов'я.

Ключові слова: Східноприазовський блок, магнітні аномалії, магнітолінеamenti, магнітна модель, дайки.

Введение. Геомагнитные данные, магнитные карты, намагниченность пород, палеомагнитные данные являются, пожалуй, наиболее востребованными при изучении структурно-вещественных комплексов верхней части земной коры, выделении и трассировании разломов разных рангов, построении геодинамического режима формирования структур коры (маркерами которых могут служить дайки) и т. д. Таким образом, анализ данного комплекса для Восточно-Приазовского блока Украинского щита (УЩ) позволяет по-новому посмотреть на соотношение структур вмещающих комплексов, а также интрузивных массивов и дайковых образований платформенного этапа развития земной коры.

Восточно-Приазовский блок УЩ на севере сочленяется со структурой складчатого Донбасса и представляет собой один из самых насыщенных щелочными породами и дайками регион не только в Украине, но, вероятно, и в мире. С ним можно сопоставить богатые щелочными породами регионы Балтийского и Канадского щитов, а также Африканской платформы (в районе Восточного и Западного рифтов).

Породы повышенной щелочности (субщелочные) образуют Южно-Кальчикский, Кальмиусский, Октябрьский, Малоянисоль-

ский, Каменноогильский и другие массивы, характерной особенностью которых является их залегание в виде многофазных интрузивных тел с концентрически-зональным распределением интрузивных фаз, со сменой более кислых пород в центре (субщелочные биотит-амфиболовые граниты и граносиениты) на более основные породы на периферии (оливин-пироксен-амфиболовые сиениты и монцониты).

Сложные по геологическому строению многофазового становления массивы четко фиксируются в аномальном магнитном поле. Породы поздних фаз внедрения характеризуются магнитными минимумами в центральной части и локальными линейно вытянутыми положительными аномалиями по контуру массивов.

Район исследований также существенно насыщен дайковыми образованиями различного возраста и состава.

Аномальное магнитное поле и геологическое строение Восточного Приазовья. По данным [Кривдик, Ткачук, 1990; Щербаков, 2000, 2005; Митрохин, 2011], Южно-Кальчикский массив Восточного Приазовья представляет собой гранит-сиенитовый аналог Коростенского и Корсунь-Новомиргородского анортозит-рапакивигранитных плутонов. Он образован

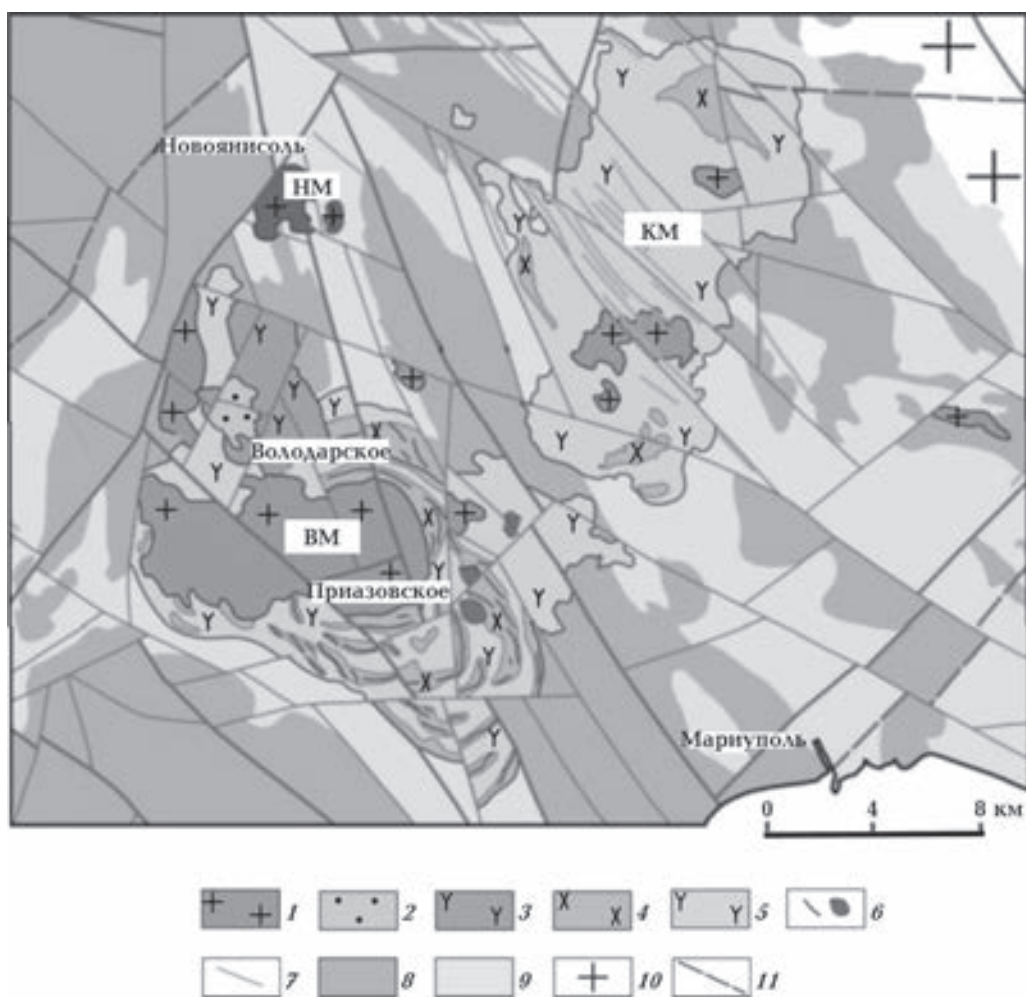


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Южно-Кальчикского массива, по материалам [Геологічна..., 2004] с изменениями и дополнениями [Митрохин, 2011]: 1—7 — интрузивные образования Южно-Кальчикского массива (1 — субщелочные биотит-амфиболовые граниты и граносиениты (четвертая фаза), 2 — кварцевые сиениты биотитовые и оливин-пироксен-амфиболовые (третья фаза), 3 — биотит-амфиболовые сиениты и кварцевые сиениты (вторая фаза), 4 — оливин-пироксен-амфиболовые сиениты и монзониты (первая фаза), 5 — субщелочные оливиновые габбро (первая фаза), 6 — ультрамафиты с апатит-ильменитовой минерализацией (первая фаза), 7 — диабазовые дайки, 8—10 — породы вмещающей среды (8 — гнейсы и кристаллосланцы западно-приазовской серии, 9 — гнейсы центрально-приазовской серии, 10 — гранитоиды анадольского комплекса), 11 — разломы. ВМ — Володарский массив, КМ — Кременевский массив, НМ — Новоянисольский массив.

двумя массивами: Володарским и Кременевским. К нему можно также отнести Малоянисольский и Новоянисольский массивы [Кабанов, Кушев, 1974].

Вмещающими породами для интрузий Южно-Кальчикского массива служат метаморфические породы западно- и центрально-приазовской серий (рис. 1) [Есипчук та ін., 2004].

Формирование Володарского массива происходило на протяжении четырех интрузивных фаз:

- 1) оливин-пироксен-амфиболовые сиениты и монзониты, субщелочные габбро-

иды и ультрамафиты с апатит-ильменитовой минерализацией;

- 2) биотит-амфиболовые сиениты и кварцевые сиениты;
- 3) кварцевые сиениты биотитовые и оливин-пироксен-амфиболовые с промышленной редкометальной минерализацией;
- 4) субщелочные биотит-амфиболовые граниты и граносиениты (см. рис. 1).

Кроме пород плутонической фации, в составе Володарского массива присутствуют жильные и дайковые образования: микросиениты, микрограниты, гранит-порфиры, пегматиты, а

также альбит-микроклиновые метасоматиты [Геологічна..., 2004; Митрохин, 2011].

Для Кременевского массива установлены первая и четвертая фазы внедрения Южно-Кальчикского массива. Массив секут субщелочные-базитовые дайковые породы, входящие в состав Малоянисольского дайкового роя северо-западного простирания.

Все интрузивные массивы Восточного Приазовья имеют концентрически-зональное строение.

Аномальное магнитное поле Восточного Приазовья имеет сложный характер с наличием вытянутых, концентрических и овалоподобных аномалий с интенсивностью от

–2000 до 3800 нТл (рис. 2). Естественно, что в магнитном поле отображается магнитная неоднородность вмещающей среды (структуры архей-протерозойского возраста) и платформенного этапа развития (щелочные массивы и дайковые образования).

Володарский массив Южно-Кальчикского комплекса отражается в аномальном магнитном поле отрицательной аномалией с локальными линейно вытянутыми положительными аномалиями в его юго-восточной части. В пределах массива выделяются четыре фазы внедрения пород, что четко проявляется в магнитном поле. Первая фаза внедрения (субщелочные оливиновые габбро и др.) отражается

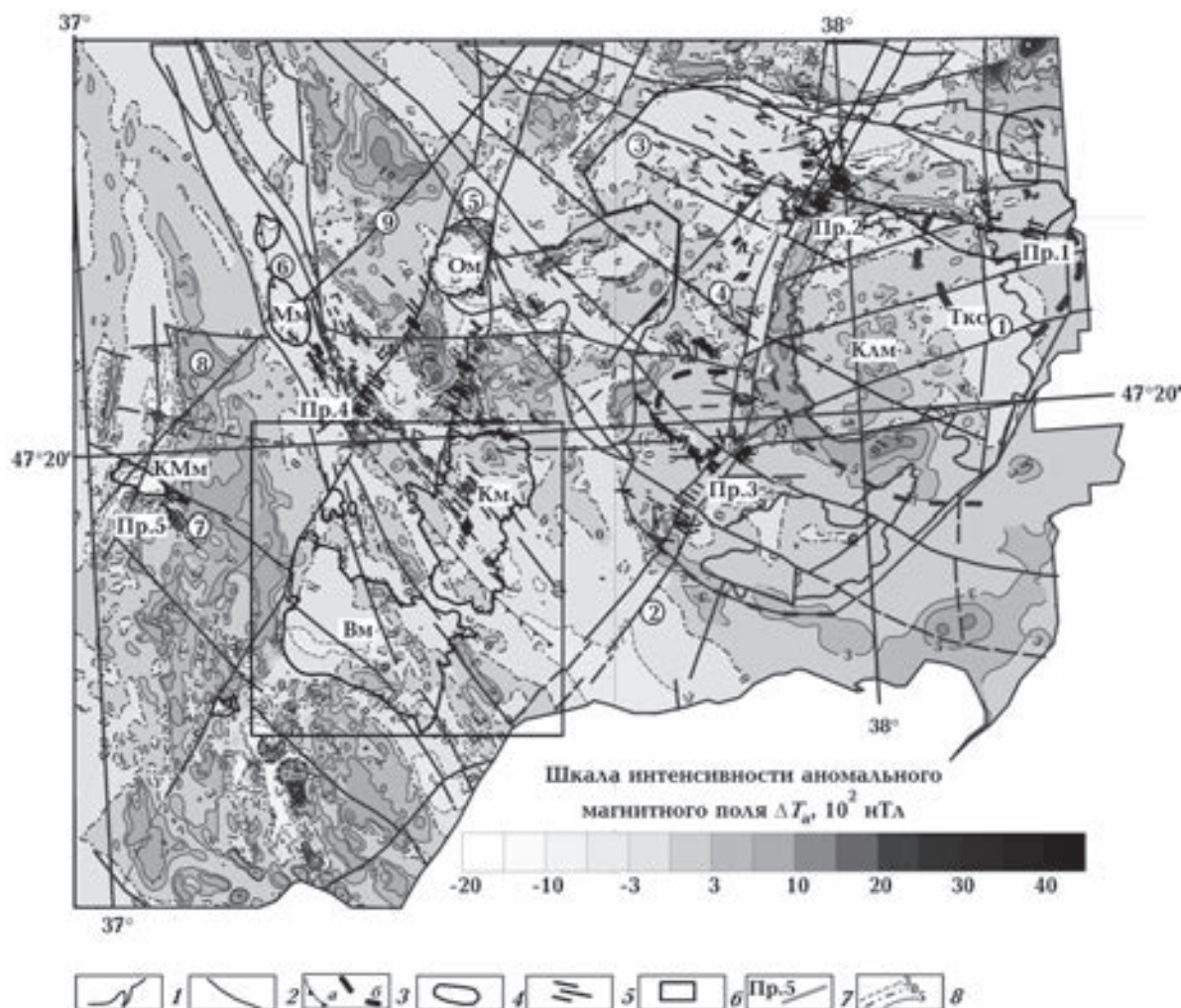


Рис. 2. Карта аномального магнитного поля (ΔT_a) Восточно-Приазовского блока: 1 — граница Украины, 2 — главные зоны разломов (1 — Еланчикская, 2 — Кальмиусская, 3 — Кузнецово-Михайловская, 4 — Антон-Тарамская, 5 — Октябрьская, 6 — Малоянисольская, 7 — Каменноугольская, 8 — Конкская, 9 — Розовская), 3 — контур дешифрируемой глубинной мегасводовой структуры фундамента (а), кольцевые и дугообразные разломы фундамента (б) [Быстревская, Шаталов, 1980], 4 — контуры щелочных массивов (Вм — Володарский, Км — Кременевский, Ом — Октябрьский, КМм — Каменноугольский, Мм — Малоянисольский, КЛм — Кальмиусский, Ткс — Тельмановская кольцевая структура), 5 — дайки, по [Крутиховская и др., 1976; Шаталов, 1986], 6 — контур схематической геологической карты Южно-Кальчикского массива, 7 — магнитные профили, по [Шаталов, Орлюк, 1986], 8 — изолинии аномального магнитного поля.

в аномальном магнитном поле слабыми минимумами от -100 до -200 нТл. К этой же фазе относятся оливин-пироксен-амфиболовые сиениты и монцониты юго-восточной части массива, характеризующиеся положительными линейными полукольцевыми аномалиями интенсивностью $100\text{--}700$ нТл. Магнитными минимумами от -200 до -500 нТл представлены породы второй, третьей и четвертой фаз внедрения (кварцевые сиениты биотитовые и субщелочные биотит-амфиболовые граниты, граносиениты и др.).

Кременевский массив, подобно Володарскому, в аномальном магнитном поле отражается слабым минимумом поля до -200 нТл с локальными положительными аномалиями в его северной (500 нТл) и северо-западной (250 нТл) частях первой фазы внедрения. На юге от массива выделяется небольшой магнитный минимум (до -300 нТл) широтного простирания, обусловленный граносиенитами четвертой фазы внедрения.

Каменномогильский и Малоянисольский щелочные массивы имеют четкие контакты с вмещающими породами, но в магнитном поле отражены слабо. Малоянисольский массив лежит в зоне линейно вытянутого слабомагнитного минимума северо-западного направления, который картирует одноименную глубинную зону разломов. Каменномогильский массив также расположен в зоне отрицательного магнитного поля с минимумом в его юго-восточной части, интенсивность которого составляет -1000 нТл, и секущей его в западной части положительной магнитной аномалией (до 100 нТл) северо-восточного направления.

Морфология *Октябрьского щелочного массива* в магнитном поле отображает его концентрически зональное строение. В восточной части массива выделяется линейно вытянутая положительная аномалия ($100\text{--}400$ нТл), которая на севере площади изменяет свое направление на северо-западное с увеличением интенсивности поля до 1000 нТл и связана с телами мариуполитов, габбро и пироксенитов. В юго-западной части — изометрическая отрицательная аномалия с локальными включениями широтного направления с интенсивностью до -400 нТл, связанная с породами последних фаз внедрения.

В восточной части Восточно-Приазовского блока в пределах Кальмиусского массива по данным дешифрирования [Быстревская, Шаталов, 1980] на космических снимках отчетливо картируется *Тельмановская купольная*

структура. Она преимущественно сложена породами протерозойского граносиенитового комплекса и окаймляется со всех сторон дугообразной полосой останцев архейских пород, которые в магнитном поле выделяются локальными максимумами интенсивностью в северной части $200\text{--}450$ нТл, в западной $200\text{--}1050$ нТл и в южной — $100\text{--}1550$ нТл. Вторая дугообразная полоса таких же останцев является по геофизическим данным в 20 км южнее первой с интенсивностью магнитных аномалий от 300 до 700 нТл, а в южной части — до 12000 нТл.

Тельмановская кольцевая структура четко отражается в характере магнитного поля зональным строением граносиенитовых пород: от периферии к центру массива наблюдается последовательное вытеснение пироксенов роговой обманкой и биотитом. Интенсивность $(\Delta T)_a$ уменьшается также от периферии к центру купола.

Породы, вмещающие щелочные массивы, представлены гнейсами и кристаллосланцами. В магнитном поле западной части Восточно-Приазовского блока они выделяются вытянутыми почти в меридиональном направлении положительными линейными аномалиями интенсивностью $100\text{--}1000$ нТл, в восточной части — менее интенсивными локальными аномалиями, по размерам и пространственному положению подчиненными полукольцевой Тельмановской структуре.

Можно сказать, что геологическое строение субщелочных и щелочных массивов имеет отчетливое отражение в магнитном поле Восточно-Приазовского блока. Многофазное становление интрузивных массивов картируется в магнитном поле следующим образом: первая фаза внедрения отражается магнитными положительными аномалиями в краевых частях массивов, следующие более молодые фазы внедрения — отрицательными аномалиями магнитного поля в центральных.

Особенности глубинного строения Восточно-Приазовского блока. А. Г. Насадом показано, что на рубеже 2 млрд лет Приазовский мегаблок испытал качание: западная его часть поднялась, восточная опустилась [Насад и др., 1997]. Восточное опускание отражается в утонении земной коры до $35\text{--}40$ км, активном протерозойском щелочном и столь же активном фанерозойском дайковом магматизме.

Восточно-Приазовский блок имеет сложное глубинное строение. На севере он сочленяется со структурой складчатого Донбасса, почти



Рис. 3 Схема внедрения щелочных массивов (1,8 млрд лет) и роев даек Восточно-Приазовского блока [Бородин та ін., 2004; Bogdanova et al., 2012]: 1 — архейские породы (3,6—2,8 млрд лет), 2 — неразделенные архейские и палеопротерозойские гнейсы и гранитоиды, 3 — палеопротерозойские гранитоиды (2,08—2,04 млрд лет), 4 — палеопротерозойские интрузии (1,80 млрд лет) [Бородин та ін., 2004], 5 — граница УЩ, 6 — трансрегиональная шовная зона Донецк—Брянск, 7 — рои даек (Км — Каменноугольский, Мл — Малоянисольский, Ок — Октябрьский, А-Т — Антон-Тарамский, К-М — Кузнецово-Михайловский, К — Конкский), 8 — дайки, по [Крутиховская и др., 1976; Шаталов, 1986]. Остальные условные обозначения см. на рис. 2.

вся площадь блока находится в зоне влияния трансрегионального тектонического шва Донецк—Брянск (рис. 3).

По данным региональных космических снимков [Быстревская, Шаталов, 1980] Восточно-Приазовский блок отчетливо дешифрируется крупной положительной морфоструктурой, которая на юго-западе и юго-востоке имеет дугообразное ограничение, характеризуется концентрически-зональным строением и соответствует поднятию докембрийского фундамента. Юго-западное ограничение структуры частично совпадает с левой стороной трансрегионального тектонического шва Донецк—Брянск и Малоянисольской глубинной зоной разломов.

Разрывные нарушения Восточно-Приазовского блока образуют две системы: северо-восточную (40—45°) и северо-западную

(300—310°). К северо-восточной относятся Кальмиусская и Еланчикская зоны разломов, а также Екатериновская зона разломов, к которой в узлах пересечения с разломами северо-западного простирания приурочены выходы Малоянисольского и Каменноугольского гранитных интрузивных массивов.

Северо-западная система представлена пятью тектоническими зонами нарушений: Каменноугольской, Малоянисольской, Октябрьской, Антон-Тарамской и Кузнецово-Михайловской. По характеру своих проявлений эти тектонические нарушения отнесены к левосторонним сбросо-сдвигам.

По геофизическим данным область, вмещающая дайковые рои, находится между Западно-Приазовской и Восточно-Приазовской региональными магнитными аномалиями намагниченностью 1,5 А/м (рис. 4).

В соответствии с данными о глубинном строении Восточного Приазовья по профилю ГСЗ Таганрог—Кировоград [Соллогуб и др., 1970] в пределах Восточно-Приазовского блока не установлена граница K_2 , что не позволяет разделить кору на гранитный и базальтовый слои. Это может быть связано с существенной переработкой и насыщенностью блока интрузиями разного состава и возраста, некоторые из которых могут иметь мантийное происхождение [Щербаков, 2005].

В рельефе поверхности раздела Мохо отражаются глубинные разломы: Октябрьский, Малоянисольский и Кальмиусский. Последний недостаточно четко проявляется в верхних слоях. Октябрьский разлом нарушает поверхность Мохо и проникает в верхнюю мантию. Поверхность Мохо под Октябрьским и Южно-Кальчикским массивами поднимается до 36 км. Такая же ситуация наблюдается для Антон-Тарамского и Кузнецово-Михайловского разломов, которые пространственно тяготеют к зоне сочленения Приазовского мегаблока с Донбассом, где по данным ГСЗ наблюдается подъем поверхности Мохо и ее смещение с амплитудой 5—7 км. Вдоль Малоянисольского разлома определено опускание поверхности Мохо до 42 км, а в зоне трансрегионального тектонического шва Донецк—Брянск мощность земной коры увеличивается до 45 км

[Щербак и др., 2008]. Под Октябрьским щелочным массивом по данным метода РНП (регулируемого направленного приема) [Соллогуб и др., 1970] выделены два мантийных подводящих канала (см. рис. 4). Рои даек совпадают с зонами влияния глубинных разломов.

Восточно-Приазовский блок наиболее насыщен дайками, что хорошо коррелируется с уменьшением мощности земной коры. Локализация даек обусловлена разломно-блоковой тектоникой, которая является отражением неоднородности глубинного строения земной коры [Шаталов, 1986].

Структурное положение роев даек. Основные закономерности в распределении роев даек, их состав и возраст были рассмотрены в работах [Крутиховская и др., 1976, 1982; Шаталов, 1986; Михайлова и др., 1989; Щербаков, 2005; Кривдик и др., 2009; Bogdanova et al., 2012 и др.].

Полевыми наблюдениями в комплексе с профильными магниторазведочными работами [Шаталов и др., 1986] были закартированы дайки по карьерам, обнажениям рек и балок. Также дайки были выделены [Крутиховская др., 1976] по данным геофизических и геологических съемок масштаба 1:50 000 (см. рис. 3).

В пределах Восточного Приазовья выделено шесть роев даек, один рой (Конкский) имеет широтное простирание, остальные



Рис. 4. Фрагмент сейсмического разреза земной коры по профилю ГСЗ Таганрог—Кировоград, по данным [Соллогуб, Трипольский, 1969]: 1 — Октябрьский щелочной массив (Ом), 2 — разлом Конрада, 3 — поверхность раздела Мохо, 4 — трансрегиональная шовная зона Донецк—Брянск (а — левая сторона, б — глубинная часть), 5 — главные глубинные разломы, 6 — главные зоны разломов (К — Кальмиусская, М-Я — Малоянисольская, Е — Екатериновская), 7 — ограничения зон тектонических нарушений (подводящих каналов) Октябрьского щелочного массива (из врезки разреза земной коры Октябрьского щелочного массива по данным метода РНП, по данным [Соллогуб и др., 1970]), 8 — преломляющиеся границы с указанием значений граничной скорости, км/с, 9 — отражающие площадки, 10 — отражающие площадки по данным РНП, 11 — проекция глубинного магнитного источника на поверхность кристаллического фундамента.

(Кузнецово-Михайловский, Антон-Тарамский, Октябрьский, Малоянисольский, Каменномогильский) — северо-западное.

Характерно, что все рои даек приурочены к одноименным разломам северо-западного заложения (см. рис. 3). Рои даек заложены в платформенном этапе развития Восточного Приазовья, преимущественно в верхнепротерозойское время после формирования щелочного интрузивного комплекса. Все дайковые рои имеют северо-западное простирание ($290\text{--}320^\circ$), но различаются по степени насыщенности дайками, составу, возрасту. В Каменномогильском и Малоянисольском дайковых роях преобладают кварцевые порфиры, диабазы, лампрофиры. Октябрьский рой составляют дайки основного и кислого состава верхнепротерозойского и палеозойского возраста. В Антон-Тарамском рое выделяются дайки только основного состава протерозойского и палеозойского возраста, а в Кузнецово-Михайловском рое локализованы

словаивают пик указанного направления. Выделяется также направление простирания даек Малоянисольского роя ($320\text{--}325^\circ$). З. А. Крутиховская с соавторами [Крутиховская и др., 1976] рассматривала эту систему трещиноватости как планетарную, общую для Украинского и Канадского щитов. Северо-восточными пиками простирания характеризуются дайки Антон-Тарамского роя ($40\text{--}50^\circ$ и $70\text{--}80^\circ$), а также ортофиры Октябрьского роя ($60\text{--}70^\circ$).

Таким образом, дайки Восточно-Приазовского блока северо-западного направления $300\text{--}320^\circ$ являются преобладающими и связаны с региональной системой трещиноватости.

Линеаменты Восточного Приазовья по геомагнитным данным. Для анализа аномального магнитного поля (ΔT)_а Восточно-Приазовского блока была использована его цифровая карта [Орлюк и др., 2015]. Региональная составляющая поля (ΔT)_{рег} получена путем пересчета наблюденного поля на высоту 10 км, локальная (ΔT)_{а,лок} — путем исключения регионального поля из исходного: $(\Delta T)_{а,лок} = (\Delta T)_{а} - (\Delta T)_{а,рег}$.

По методике [Кейс и др., 2002; Солдатенко, 2003; Розыган, 2014] выполнен количественный анализ аномального геомагнитного поля, его региональной и локальной компонент для территории Восточного Приазовья с целью выделения магнитолинеаментов разных рангов. Для перечисленных геомагнитных полей рассчитаны гистограммы азимутов простирания штрихов (отрезки ориентированы перпендикулярно градиенту поля [Кейс и др., 2002]) и выполнена их азимутальная фильтрация. Анализируя гистограммы распределения штрихов в аномальном поле и его региональной и локальной компонентах, можно проследить существенное преобладание субширотных и субмеридиональных направлений по отношению к диагональным.

На гистограмме для аномального геомагнит-

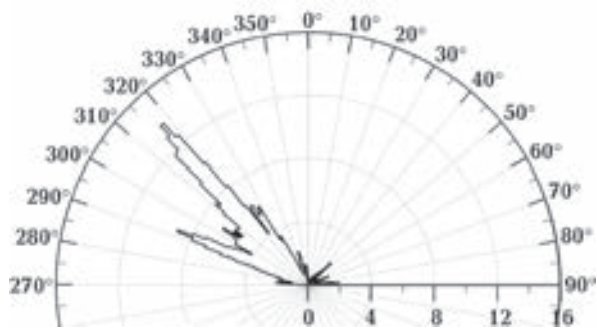


Рис. 5. Гистограмма простирания даек Восточно-Приазовского блока.

только палеозойские дайки грорудитов, ортофигов, диабазов.

В зависимости от характера разломов выделяются две группы даек: регионального значения, приуроченные к крупным разломам, и местного значения, контролируемые мелкими элементами структур, как, например, дайки, образующие дугу вокруг Тельмановского купола [Шаталов, 1986].

Как следует из анализа гистограммы простирания даек Восточно-Приазовского блока (рис. 5), основное направление — $310\text{--}320^\circ$. Это простирание соответствует дайкам Каменномогильского ($310\text{--}320^\circ$) и частично дайкам Малоянисольского ($320\text{--}325^\circ$) роев. На втором месте направление $290\text{--}300^\circ$. Дайки Антон-Тарамского ($290\text{--}300^\circ$) и Кузнецово-Михайловского ($280\text{--}290^\circ$) роев в сумме обу-

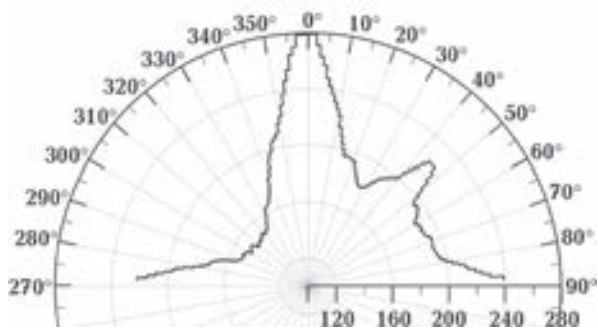


Рис. 6. Гистограмма аномальной составляющей магнитного поля (ΔT)_а.

ного поля (рис. 6) четко выделяется субмеридиональное ($0 \pm 10^\circ$), субширотное ($90(270) \pm 10^\circ$), а также диагональное северо-восточное направление ($45 \pm 7^\circ$), слабее — $18 \pm 4^\circ$, $55 \pm 3^\circ$, $70 \pm 3^\circ$. Очень слабо (значительно меньшее количество штрихов) на гистограмме представлены направления северо-западного простирания, среди них можно отметить $345 \pm 3^\circ$, $332 \pm 3^\circ$, $318 \pm 3^\circ$, $305 \pm 3^\circ$, $295 \pm 3^\circ$.

Для региональной компоненты (рис. 7) на гистограмме особо отмечаются направления $0 \pm 10^\circ$, $28 \pm 6^\circ$, $40 \pm 5^\circ$, $60 \pm 10^\circ$, $90(270) \pm 10^\circ$, $304 \pm 8^\circ$, $325 \pm 10^\circ$, $345 \pm 5^\circ$. Для отфильтрованных штрихов региональной компоненты поля выполнена их генерализация по признакам одинакового ориентирования и близости расположения, составлена схема линеаментов регионального класса.

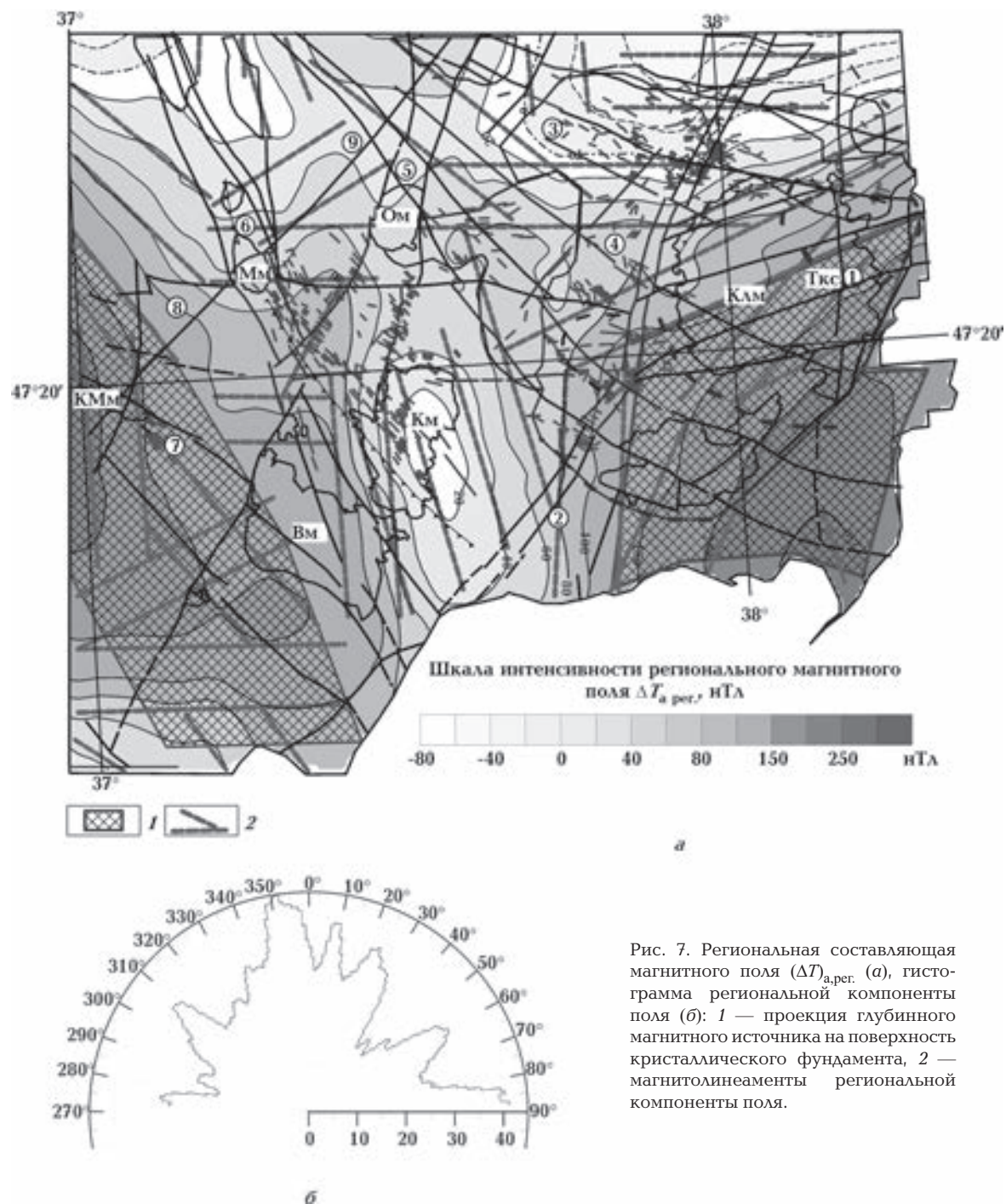


Рис. 7. Региональная составляющая магнитного поля (ΔT)_{a,reg}. (а), гистограмма региональной компоненты поля (б): 1 — проекция глубинного магнитного источника на поверхность кристаллического фундамента, 2 — магнитолинеаменты региональной компоненты поля.

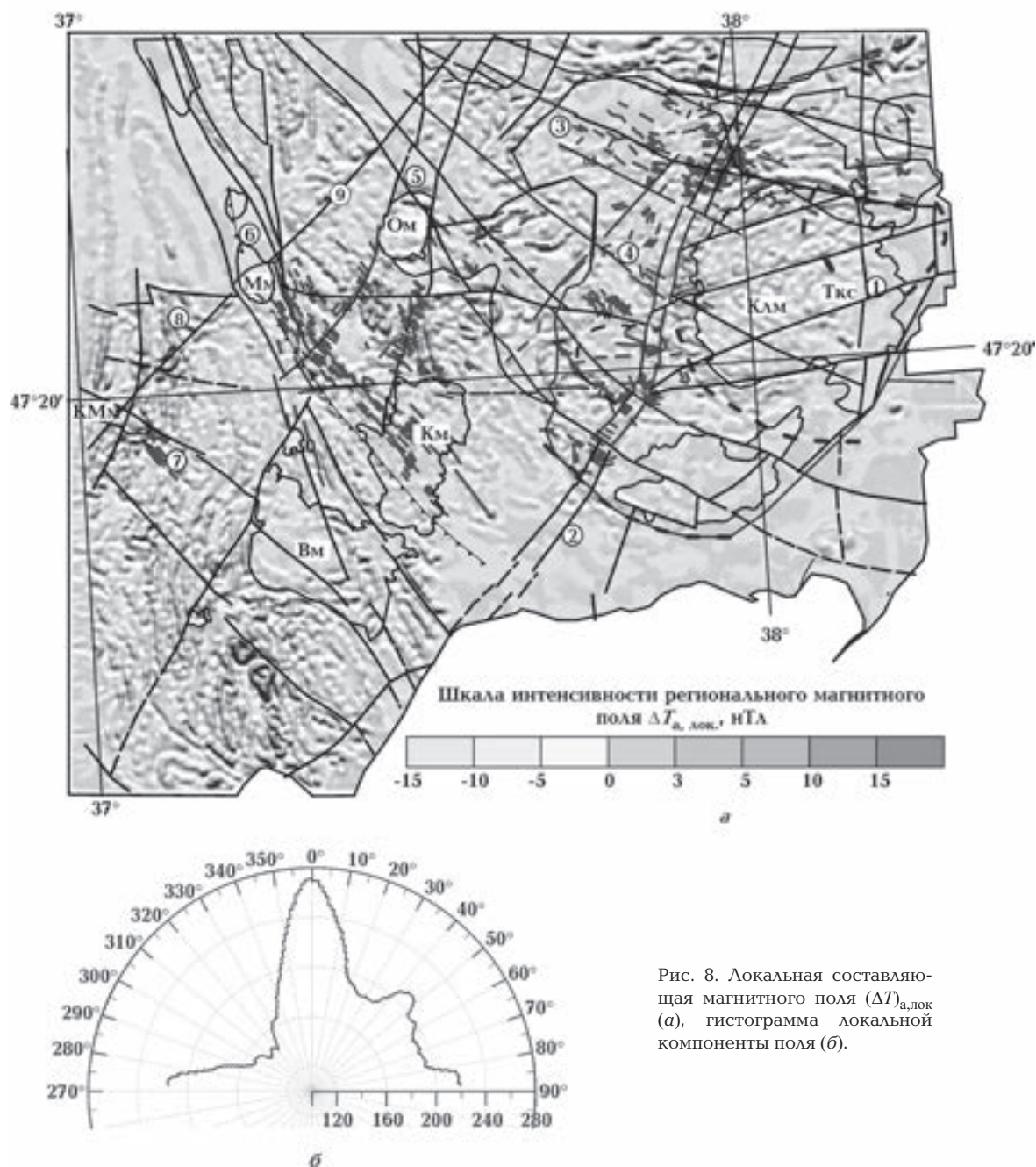


Рис. 8. Локальная составляющая магнитного поля ($\Delta T_{\text{а, лок}}$) (а), гистограмма локальной компоненты поля (б).

Гистограмма для локальной компоненты поля (рис. 8) подобна гистограмме аномального поля, здесь выделяются направления с похожими азимутами: $0 \pm 10^\circ$, $90(270) \pm 10^\circ$, $45 \pm 7^\circ$, $57 \pm 3^\circ$, $67 \pm 3^\circ$, $75 \pm 3^\circ$, $345 \pm 3^\circ$, $330 \pm 3^\circ$, $316 \pm 3^\circ$, $300 \pm 5^\circ$.

Сопоставив результаты анализа гистограмм, можно сделать вывод о том, что все выделенные направления простирания даек проявляются разными по мощности максимумами на гистограммах штрихов аномального поля и его локальной компоненты. Эти

направления северо-восточного простирания соответствуют выборочно дайкам Конкского, Октябрьского, Антон-Тарамского и Кузнецово-Михайловского роев. На гистограмме региональной компоненты магнитного поля отмечено северо-западное направление $300\text{—}320^\circ$, которое согласуется с простиранием Каменномогильского и частично Малоянисольского дайковых роев, и северо-восточное направление $50\text{—}70^\circ$, соответствующее дайкам ортофиоров Октябрьского роя.

Геохимическая характеристика даек и их связь с намагниченностью. Формирование разновозрастных и пестрых по составу дайковых образований обусловлено различными физико-химическими условиями зарождения магм, их транспортировкой и кристаллизацией. Сильномагнитные дайки характеризуются повышенным содержанием двуоксида титана (TiO_2), железа (Fe_2O_3) и пониженным содержанием кремнезема (SiO_2). В работах [Физические..., 1976; Михайлова и др., 1989] проанализирован характер изменения содержания титана и железа в породах и их распределение в близких по составу ультраосновных, основных, средних, кислых и щелочных дайковых породах, локализованных в разных структурно-тектонических зонах Восточного Приазовья. Прослеживается закономерность уменьшения содержаний титана и железа в направлении ультрабазиты → лампрофиры → диабазы → андезиты → ортофиры → кварцевые порфиры → грорудиты. В этом же направлении уменьшается магнитная восприимчивость дайковых пород.

Магнитные дайки лампрофиров, выделенных вблизи Октябрьского щелочного массива (возраст 1,5 млрд лет, $\alpha = 3309 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), характеризуются пониженным содержанием SiO_2 и повышенной концентрацией MgO , Ti , Cr и др. Позднедевонские лампрофиры Октябрьского дайкового роя также характеризуются повышенной намагниченностью ($\alpha = 2797 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ). По сравнению с более древними дайками лампрофиров этого роя отличаются повышенным содержанием TiO_2 , что, возможно, может быть связано с различным уровнем генерации магм.

Позднепротерозойские лампрофиры Малоянисольского роя развиты в долинах рек и относятся к слабомагнитным ($\alpha = 132 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), характеризуются повышенным содержанием SiO_2 .

Палеозойские дайки лампрофиров Антон-Тарамского роя отличаются самой высокой намагниченностью ($\alpha = 4141 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), обусловленной титаномagnetитом.

Самыми распространенными в Восточном Приазовье являются сильномагнитные, преимущественно палеозойского возраста дайки диабазов и диабазовых порфиритов ($\alpha = (3617—4179) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), обнаженные по р. Кальмиус и входящие в состав Октябрьского и Антон-Тарамского роев.

Слабомагнитные позднепротерозойские кварцевые порфиры каменноугольного комплекса близки по химическому составу к

гранитам интрузивных массивов, рядом с которыми они развиты. Позднедевонские кварцевые порфиры зоны сочленения Донбасса с породами кристаллического массива Восточного Приазовья более обогащены SiO_2 , TiO_2 , MgO и менее Al_2O_3 , Na_2O и т. д. При этом они более магнитные, чем дайки Малоянисольского роя, но менее магнитны, чем дайки Каменноугольного.

Разные магнитные и химические свойства кварцевых порфиров, хотя и несущественные, свидетельствуют о разных этапах тектономагматической активизации в описываемых дайковых роях.

Для даек грорудитов и некоторых ортофиров по сравнению с кварцевыми порфирами характерно повышенное содержание элементов примесей группы железа. Ортофиры зоны сочленения Донбасса и Восточно-Приазовского блока являются относительно магнитными ($\alpha = 753 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), более магнитные ортофиры в бассейне р. Конка. Ортофиры Октябрьского роя относятся к слабомагнитным ($\alpha = 18,9 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ).

Магнитная восприимчивость даек андезитов и андезитовых порфиров, изученных в зоне сочленения Донбасса и Восточно-Приазовского блока, находится в пределах $(80—887) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Породы с повышенными значениями α характеризуются высокими концентрациями в них элементов-примесей группы железа. Метасоматически и гидротермально измененные дайковые породы андезитов, локализованные в разных геологических зонах Восточного Приазовья, отличаются пониженными магнитными параметрами и повышенным содержанием в них сидерофильных и рудных элементов.

Следовательно, самыми магнитными являются дайки лампрофиров и диабазов Октябрьского и Антон-Тарамского роев, менее магнитными — диабазы Малоянисольского роя, остальные дайки относятся к средне- и слабомагнитным.

Магнитные модели Каменноугольного и Малоянисольского дайковых роев. Каменноугольный дайковый рой приурочен к одной зоне разломов северо-западного простирания с азимутом $310—320^\circ$. Выходы даек наблюдаются по р. Каратыш и балке Водяной (см. рис. 3). Дайкообразующие породы представлены в основном кварцевыми порфирами, а также диабазами и диабазовыми порфиритами.

Мощность даек кварцевых порфиров достигает 20—25 м с падением $80—90^\circ$. Дайки

характеризуются значительной протяжностью до 10—12 км. Вмещающими породами являются неразделенные архейские и палеопротерозойские гнейсы и гранитоиды центрально-приазовской серии. Дайки кварцевых порфиров сформировались в условиях геодинамического режима растяжения земной коры. Они локализованы в разломных зонах и испытывают, вследствие вторичных процессов (серитизации, пелитизации и др.), неоднократные тектонические подвижки. Возраст пород определяется как 1200—1250 млн лет [Шаталов, 1986].

На рис. 9 показаны результаты наземной детальной магнитной съемки и фрагмент геолого-геофизического разреза Каменноугольного дайкового роя [Шаталов, 1986]. Про-

филь имеет северо-восточное простирание (см. рис. 2) вкрест простирания даек. Аномальное магнитное поле представлено в виде графика его Z-составляющей. Для получения эффекта даек в чистом виде по профилю из наблюдаемого поля были исключены аномалии, связанные с вмещающими породами и глубинными источниками. Здесь же представлено аномальное магнитное поле с карты м-ба 1:200 000, свидетельствующее о практическом отсутствии даек, зарегистрированных по наземным данным.

Учитывая геолого-геофизических данные, характер магнитного поля Z-составляющей, результаты палеомагнитных исследований, с помощью программно-алгоритмического комплекса для решения прямой задачи магнитоме-

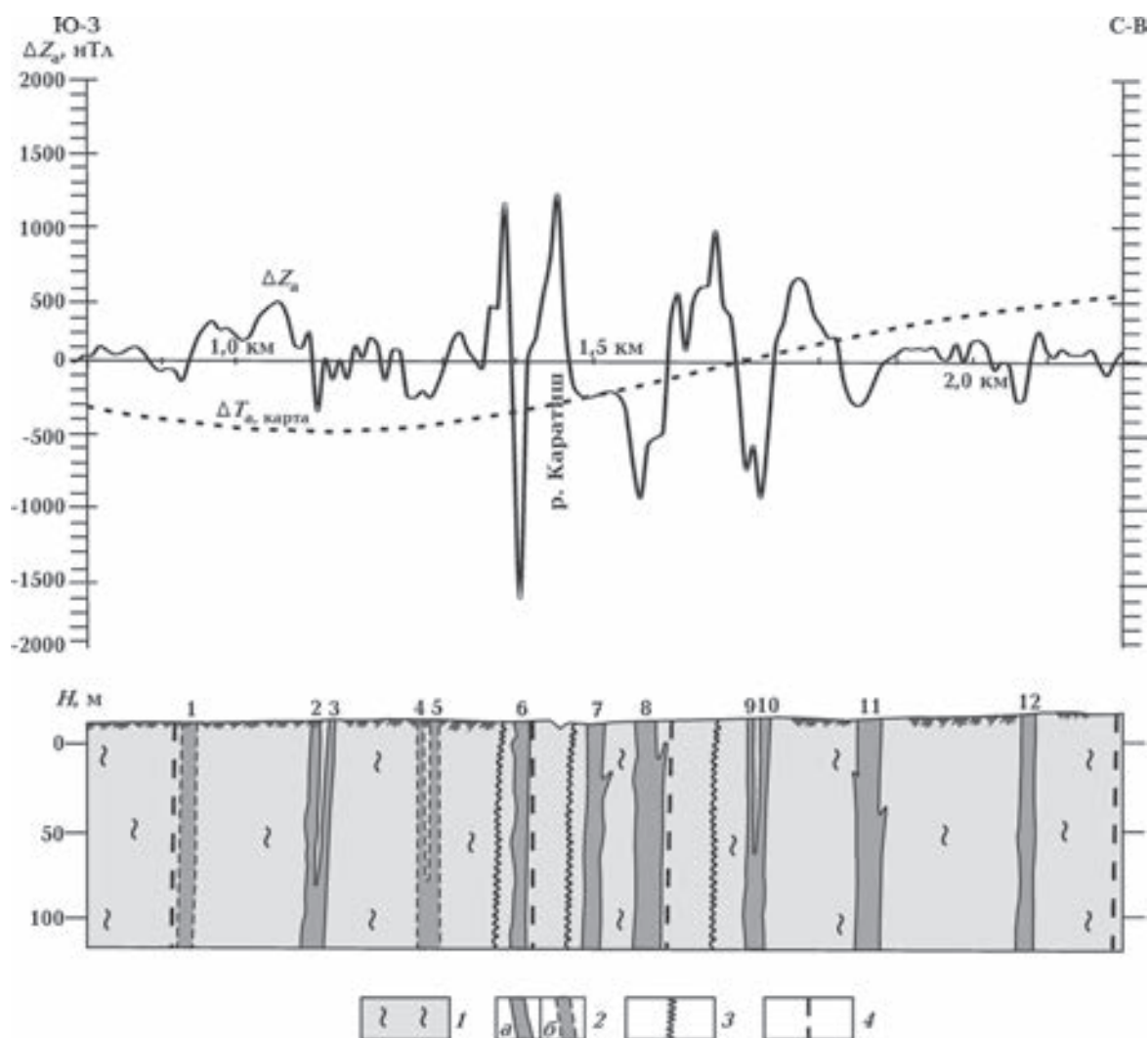


Рис. 9. Фрагмент геолого-геофизического разреза Каменноугольного роя: 1 — вмещающие породы, 2 — дайки кварцевых порфиров (а — установленные, б — предполагаемые по геофизическим данным), 3 — кварцевые жилы, 4 — разрывные нарушения.

трии [Коваленко-Завойский, Иващенко, 2006] была построена магнитная модель даек кварцевых порфиров вдоль профиля.

Из результатов палеомагнитных работ [Михайлова и др., 1989] следует, что векторы намагниченности даек имеют юго-западное направление со склонением от 180 до 215° , что было учтено при задании первого приближения модели. Дайки в магнитном поле выделяются минимумами, что позволяет предположить их обратную намагниченность. Наличие на графике максимумов, сопряженных с минимумами и местами соизмеримыми между собой по модулю, свидетельствует о малом угле наклона вектора намагниченности, не превышающем по своей величине 30° , а для некоторых источников — 10° .

Магнитная модель состоит из 12 источников, которые на разрезе представлены дайками с субвертикальным падением. Глубина верхней кромки источников изменяется от 1 м (3, 6—12) до 10 м (1, 2, 4, 5), глубина нижней кромки 100 м для всех тел. Магнитная восприимчивость, установленная по результатам моделирования, изменяется от $1250 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (источник 7) до $10000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (источник 6). Тела 2—5 имеют магнитную восприимчивость $4500 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, источник 8—10 — $6500 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, источники 11, 12 — $6200 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (см. рис. 9).

Установленные по результатам магнитного моделирования источники даек кварцевых порфиров относятся к магнитным, а источник 6, как исключение, — к сильномагнитным. Направление вектора намагниченности источников даек не противоречит данным палеомагнитных исследований [Михайлова и др., 1989].

Малоянисольский дайковый рой имеет северо-западное простирание (320 — 325°) и приурочен к Малоянисольскому разлому (время заложения 2 млрд лет назад). Выходы даек наблюдаются по рр. Кальчик, Калец и их притокам. В пределах роя развиты диабазы, диабазовые порфириты, кварцевые порфиры и лампрофиры позднепротерозойского возраста (см. рис. 3).

Для лучшего понимания, как отображаются дайковые образования в аномальном магнитном поле, был разработан целый ряд теоретических моделей их источников с разными геометрическими параметрами, значениями намагниченности даек и вмещающих их пород [Орлюк и др., 2013; Орлюк, Гадяцкая, 2014]. Было выяснено, что на геометрию графиков аномального магнитного поля влияют не только форма и геометрические размеры

аномалиеобразующих объектов, но и условия их пространственной ориентации. На примере теоретических моделей было доказано, что одна и та же дайка в магнитном поле может проявляться как положительной, так и отрицательной аномалией в зависимости от намагниченности вмещающей среды. Дифференциация магнитного поля в юго-западной части разреза Малоянисольского роя вызвана достаточно большой концентрацией дайковых пород. Следует отметить хорошую идентификацию в магнитном поле мощных даек диабазов (~ 17 м), интенсивность которых достигает 1200 нТл. Маломощные дайки лампрофиров и кварцевых порфиров в магнитном поле выделяются слабо, их интенсивность колеблется в интервале от 100 до 350 нТл. Слабая дифференциация магнитного поля в северо-восточной части разреза Малоянисольского роя вызвана близкими значениями намагниченности даек с вмещающей средой.

Магнитная модель Малоянисольского роя включает в себя комплекс из четырех тел даек

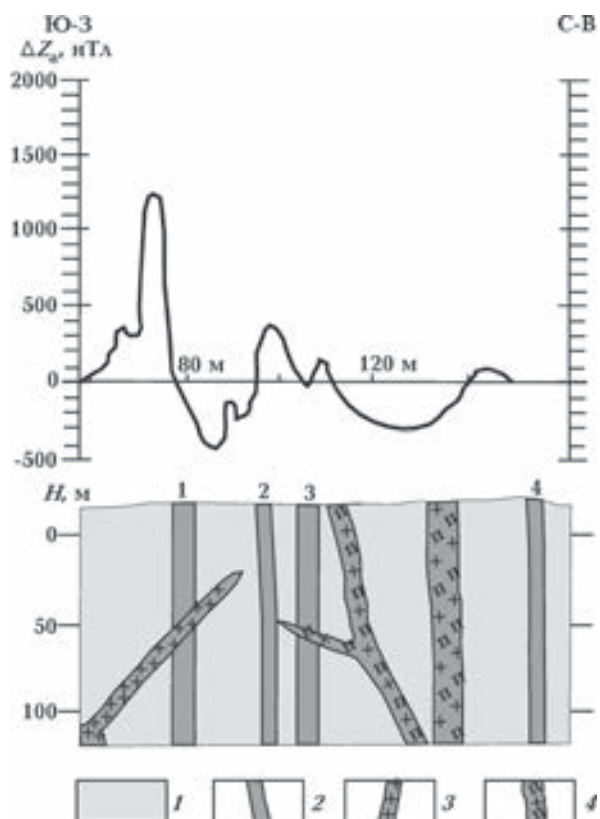


Рис. 10. Фрагмент геолого-геофизического разреза Малоянисольского роя: 1 — мигматиты, 2 — крупноблочные пегматиты I генерации, 3 — дайки ультрабазитов, 4 — пегматиты II генерации.

ультрабазитов (рис. 10). Их протяжность, а также величина нижней и верхней кромок одинаковы, разница состоит только в мощности и значениях магнитной восприимчивости. Дайка 1 представляет собой вертикальный пласт глубиной 200 м, мощностью 5 м и протяжностью 100 м по латерали, магнитная восприимчивость достигает $5000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Магнитная восприимчивость дайки 2 составляет $2000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, мощность — 2,5 м. Мощность дайки 3 порядка 5 м, $\alpha = 4000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Мощность дайки 4 достигает 3,75 м, $\alpha = 3000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. В пределах роя повышенными магнитными свойствами обладают ультрабазиты, над дайками их магнитное поле изменяется в пределах 300—2100 нТл, а пониженными — жилы пегматитов разной генерации.

Обсуждение результатов и выводы. Изложенные в данной статье результаты получены на основании качественного и количественного анализа геомагнитного поля по данным аэромагнитных съемок и наземных профильных наблюдений в комплексе с геологическими данными.

В аномальном магнитном поле выделяются щелочные массивы многофазового становления. Породы поздних фаз внедрения характеризуются магнитными минимумами в центральной части, а породы первой фазы внедрения — локальными линейно вытянутыми положительными аномалиями по контуру массивов.

Из построенной гистограммы направлений дайковых образований Восточно-Приазовского блока следует, что рои даек северо-западного простирания контролируются серией одноименных разломов. В зависимости от характера разломов выделяются две группы даек — дайки регионального значения, приуроченные к крупным разломам, и дайки местного значения, контролируемые мелкими элементами структур.

Для разграничения магнитолинеаментов разных рангов и определения их простираний выполнено разделение аномального магнитного поля на региональную и локальную составляющие. На гистограммах региональной компоненты магнитного поля преобладает северо-западное направление 300—320°, которое совпадает с простиранием Каменноугольного и частично Малоянисольского роев. А на гистограммах аномального поля и его локальной компоненты выделяется северо-восточное простирание, соответствующее выборочно дайкам

Конкского, Октябрьского, Антон-Тарамского и Кузнецово-Михайловского роев.

Сопоставление геохимических свойств и намагниченности даек показало, что самыми магнитными являются лампрофиры и диабазы Октябрьского и Антон-Тарамского роев, менее магнитными — диабазы Малоянисольского роя. По данным моделирования к магнитным относятся дайки кварцевых порфиров Каменноугольного роя, остальные дайки — к средне- и слабomagнитным.

Полученные направления векторов намагниченности источников дайковых образований вписываются в пределы данных палеомагнитных исследований. Аномальный эффект от источников при заданных параметрах намагниченности отображается магнитными минимумами, которые регистрируются при наземных полевых наблюдениях. Сопоставление результатов съемки с аномальным магнитным полем на высоте 150 м (м-б 1:200 000) показало отсутствие магнитного эффекта от источников дайковых образований в последнем, что указывает на необходимость проведения наземных магнитных съемок. Данный факт может свидетельствовать о существенно большей насыщенности верхней части земной коры Восточно-Приазовского блока дайками, чем это следует из анализа геофизических материалов даже более крупных масштабов (1:10 000, 1:25 000).

Наличие даек разного состава (от ультраосновных до кислых и щелочных), различного возраста (от протерозоя до мезозоя) свидетельствует о многофазности их образования, непосредственном влиянии зоны сочленения Восточно-Приазовского блока со структурами складчатого Донбасса, трансрегионального тектонического шва Донецк — Брянск и глубинной кольцевой структуры фундамента, что является отражением неоднородности глубинного строения земной коры.

Северо-западное простирание большинства дайковых роев Восточно-Приазовского блока свидетельствует о действующих на доплатформенном и платформенном этапах развития земной коры геодинамических напряжений режима сжатия-растяжения юго-западно—северо-восточного направления. Возможно, в будущем углубленный анализ состава, возраста, магнитных свойств дайковых образований позволит выйти на более тесную связь с геодинамическими режимами их формирования.

Список литературы

- Бородиня Б. В., Князькова І. Л., Єсипчук К. Ю., Глеваський Є. Б., Чубар Ж. В., Іваненко Т. Я. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Центральноукраїнська серія, аркуш L-37-VII (Бердянськ). Пояснювальна записка. Київ: Державна геологічна служба, КП «Південукргеологія», Приазовська КГП, 2004. 138 с.
- Быстревская С. С., Шаталов Н. Н. Глубинная структура земной коры по космическим изображениям (на примере Восточного Приазовья). *Исследование Земли из космоса*. 1980. № 5. С. 10—16.
- Геологічна карта домезозойських утворень. Масштаб 1:200000. Аркуш L-37-II (Донецьк, південна половина); L-37-III (Іловайськ, південна половина в межах України); L-37-VIII (Маріуполь, за винятком акваторії Азовського моря); L-37-IX (Таганрог в межах України, за винятком акваторії Азовського моря). Відповідь, виконавець Б. В. Бородиня. Київ: Мін. охорони навкол. середовища, держ. геол. служба України, КП «Південукргеологія», Приазовська КГП, 2004.
- Єсипчук К. Ю., Бобров О. Б., Степанюк Л. М. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (пояснювальна записка). Київ: УкрДГРІ, 2004. 30 с.
- Кабанов В. Г., Кушев В. Г. Обнаружение новых массивов гранито-сиенитового комплекса в Приазовье и их значение с точки зрения перспектив металлогении исследуемого района. *Геол. журн.* 1974. Т. 34. № 1. С. 111—115.
- Кейс Д., Довбнич М. М., Солдатенко В. П. Изучение систем разломов фундамента северо-востока Сирии с целью прогноза нефтегазоперспективности: *Сб. научных трудов НГАУ*. 2002. Т. 4. № 3. С. 150—155.
- Коваленко-Завойський В. М., Іващенко І. М. Математичне забезпечення інтерпретації поля ΔV_a регіональних магнітних аномалій. *Геофиз. журн.* 2006. Т. 28. № 5. С. 18—30.
- Кривдик С. Г., Безсмолова Н. В., Дубина А. В. Щелочной магматизм. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2009. № 5. Ч. 2. С. 158—166.
- Кривдик С. Г., Ткачук В. И. Петрология щелочных пород Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1990. 406 с.
- Крутиховская З. А., Пашкевич И. К., Подоляно С. М., Силина И. М., Стебновская Ю. М., Шевченко Т. П. Закономерности распространения дайковых комплексов Украинского щита. *Геофиз. сб.* 1976. Вып. 74. С. 61—74.
- Крутиховская З. А., Пашкевич И. К., Силина И. М. Магнитная модель и структура земной коры Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1982. 216 с.
- Митрохин О. В. Анартозит-рапаківігранітна формація Українського щита (геологія, речовинний склад та умови формування): Дис. ... д-ра геолог. наук. Київ, 2011. 346 с.
- Михайлова Н. П., Карзанова А. Я., Орлова М. И., Глевасская А. М., Шаталов Н. Н. Палеомагнетизм гипабиссального комплекса Приазовья. Киев: Наук. думка, 1989. 196 с.
- Насаг А. Г., Пигулевский П. И., Кичурчак В. М., Рагзилл А. Я. О взаимосвязи поверхностных структур докембрийского фундамента Среднеприднепровского и Приазовского геоблоков Украинского щита с поверхностью Мохоровичича. *Геол. журн.* 1997. № 1/2. С. 131—135.
- Орлюк М. И., Бакаржиева М. И., Марченко А. В., Кравчук Е. П. Магнитные модели даек и дайковых поясов Приазовского мегаблока. *Тез. докл. XII Междунар. конф. «Геоинформатика: теоретические и прикладные аспекты»*, Киев, 13—16 мая 2013 г. Paper 5218. Conference CD-ROM Proceedings. 5 с.
- Орлюк М. И., Гагяцкая Е. П. Теоретические магнитные модели даек и дайковых образований: *Тез. докл. XIII Междунар. конф. «Геоинформатика: теоретические и прикладные аспекты»*, Киев 12—15 мая 2014 г. Paper 6486. Conference CD-ROM Proceedings. 5 p.
- Орлюк М. И., Роменец А. А., Марченко А. В., Орлюк И. М., Иващенко И. Н. Магнитное склонение на территории Украины: результаты наблюдений и вычислений. *Геоф. журн.* 2015. Т. 37. № 2. С. 137—143.
- Розыган Т. В. Линеаменты северо-западной и центральной частей Днепровско-Донецкого авлакогена по геомагнитным данным. *Тез. докл. XIII Междунар. конф. «Геоинформатика: теоретические и прикладные аспекты»*, Киев, 12—15 мая 2014 г. Paper 6624. Conference CD-ROM Proceedings. 4 с.
- Солдатенко В. П. К вопросу вычисления и анализа гравилинеаментов. *Научный вестник НГУ*. 2003. № 6. С. 87—89.
- Соллогуб В. Б., Трипольский А. А. Некоторые данные о глубинном строении земной коры по профилю ГСЗ Таганрог — Кировоград. *Геофиз. сб.* 1969. Вып. 31. С. 5—24.
- Соллогуб В. Б., Чекунов А. В., Павленкова Н. И., Гаркаленко И. А., Червинская М. В., Турчаненко Н. Т., Лоссовский Е. К., Гейко В. С., Демиденко Ю. Б., Ма-

- нюта М. Г., Пилипенко В. Н., Смелянская Т. В., Ка-
люжная Л. Т., Ливанова Л. П., Трипольский А. А.,
Лещук Ф. А., Яриш М. С., Белокуров В. С. Основ-
ные результаты и проблемы изучения глубинно-
го строения земной коры Украины сейсмически
методами. *Геофиз. сб.* 1970. Вып. 38. С. 48—64.
- Физические свойства горных пород и полезных
ископаемых: Петрофизика. *Под ред. Н. Б. Дор-
тман.* Москва: Недра, 1976. 527 с.
- Шаталов Н. Н. Дайки Приазовья. Киев: Наук. думка,
1986. 192 с.
- Шаталов Н. Н., Орлюк М. И., Потапчук И. С.,
Верховцев В. Г., Конаков В. В. Структурное по-
ложение и металлогеническое значение дайко-
вых образований УЩ. В кн.: *Актуальные про-
блемы геологии Украины.* Киев: Наук. думка,
1986. С. 31—35.
- Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М., По-
номаренко А. Н., Шумлянский Л. В. Гео-
хронология раннего докембрия Украинско-
го щита. Протерозой. Киев: Наук. думка, 2008.
239 с.
- Щербаков И. Б. Петрология Украинского щита.
Львов: ЗУКЦ, 2005. 366 с.
- Щербаков И. Б. Эволюция магматизма Украинского
щита. *Минерал. журн.* 2000. Т. 22. № 2/3. С. 36—47.
- Bogdanova S. V., Gintov O. B., Kurlovich D., Lubni-
na N. V., Nilsson M., Orlyuk M. I., Pashkevich I. K.,
Shumlyansky L. V., Starostenko V. I., 2012. Late Pal-
aeoproterozoic mafic dyking in the Ukrainian Shield
of Volgo-Sarmatia caused by rotations during the as-
sembly of supercontinent Columbia (Nuna). *Lithos*
2858. doi: 10.1016/S0024-4937(12)00439-2.

Magnetic field and dike belts of eastern Azov block of the Ukrainian shield

© M. I. Bakarzhyyeva, A. V. Marchenko, T. V. Rozygan, E. P. Gadyatskaya,
V. V. Drukarenko, 2016

The article analyzes the pattern of displaying of the geological structure of multiphase intrusive arrays of the Eastern Azov region introduction in a magnetic field. Features of deep structure are discussed including data from DS seismic profile Taganrog—Kirovograd, relief of Moho discontinuity, regional satellite images and faults of the Eastern Azov area. The main feature of the area studied is high saturation by the dykes of different age and composition. Spatial analysis of dykes swarms concentration of accommodation and its relationship with inhomogeneities of crust deep structure was completed. Geochemical properties of the dyke rocks and their relation to the magnetization were analyzed. The anomalous magnetic field is subdivided into regional and residual components. The quantitative analysis of the anomalous magnetic field and their components was done to allocate magnetic-lineaments for the study area. It is demonstrated, the result of magnetic modeling of the Maloyanisolsky and the Kamennomogilsky dyke swarms of Eastern Azov area.

Key words: Eastern Azov block, magnetic anomalies, magnetic-lineaments, magnetic model, dykes.

References

- Borodynya B. V., Knyaz'kova I. L., Yesypchuk K. Yu.,
Hlevas'kyi Ye. B., Chubar Zh. V., Ivanenko T. Ya.,
2004. State geological map of Ukraine. 1:200 000.
Central series, sheet L-37-VII (Berdiansk). Explana-
tory note. Kyiv: State Geological Service, Treasury
enterprise «Pivdenukrgeologiya», Pryazov's'ka KGP.
138 p. (in Ukrainian).
- Bystrevskaya S. S., Shatalov N. N., 1980. Deep crustal
structure of space images (for the Eastern Azov
area). *Issledovanie Zemli iz kosmosa* (5), 10—16 (in
Russian).
- Geological map to Mesozoic formations, 2004. 1:200000.
Sheets L-37-II (Donetsk, southern half); L-37-III
(Ilovaysk, southern half within Ukraine); L-37-VIII
(Mariupol, except for Azov Sea); L-37-IX (Taganrog
within the Ukraine, except for Azov Sea). Respon-
sible contractor B. V. Borodynya. Kyiv: Ministry of
Environmental Protection, the State Geological Ser-
vice of Ukraine, Treasury enterprise «Pivdenukrge-
ologiya», Pryazov's'ka KGP (in Ukrainian).
- Yesypchuk K. Yu., Bobrov O. B., Stepanyuk L. M., 2004.
Correlated chronostratigraphic scheme of the Early
Precambrian of the Ukrainian Shield (explanatory
note). Kyiv: UkrSIGP Publ., 30 p. (in Ukrainian).
- Kabanov V. G., Kushev V. G., 1974. Finding new arrays
granite-syenite complex in the Azov area and their

- significance for the perspective of metallogenic study area. *Geologicheskii zhurnal* (1), 111—115 (in Russian).
- Keys D., Dovbnich M. M., Soldatenko V. P., 2002. The study of fault systems basement northeastern Siberia for the purpose of forecasting oil and gas. *Sbornik nauchnykh trudov NGAU* 4(3), 150—155 (in Russian).
- Kovalenko-Zavoys'kyy V. M., Ivashchenko I. M., 2006. Mathematical provision for interpretation of B_a field of regional magnetic anomalies. *Geofizicheskii zhurnal* 28(5), 18—30 (in Ukrainian).
- Krivdik S. G., Bezsmolova N. V., Dubina A. V., 2009. Alkaline magmatism. *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy* (5), 158—166 (in Russian).
- Krivdik S. G., Tkachuk V. I., 1990. Petrology of alkaline rocks of the Ukrainian shield. Kiev: Naukova Dumka, 406 p. (in Russian).
- Krutikhovskaya Z. A., Pashkevich I. K., Podolyanko S. M., Silina I. M., Stebnovskaya Yu. M., Shevchenko T. P., 1976. Distribution Regularities of dyke complexes of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskii sbornik* (is. 74), 61—74 (in Russian).
- Krutikhovskaya Z. A., Pashkevich I. K., Silina I. M., 1982. The magnetic model and the structure of the crust of the Ukrainian shield. Kiev: Naukova Dumka, 175 p. (in Russian).
- Mytrokhyn O. V., 2011. Anartzit-rapakivi granite formation of the Ukrainian Shield (geology, material composition and conditions of formation): Dr. geol. sci. dis. Kiev, 346 p. (in Ukrainian).
- Mikhaylova N. P., Karzanova A. Ya., Orlova M. I., Glevasskaya A. M., Shatalov N. N., 1989. Paleomagnetism hypabyssal complex of the Azov area. Kiev: Naukova Dumka, 196 p. (in Russian).
- Nasad A. G., Pigulevskiy P. I., Kichurchak V. M., Radzivil A. Ya., 1997. About interrelation of surface structures of the Precambrian basement Middle Dnieper and Azov geoblocks Ukrainian Shield with the Moho. *Geologicheskii zhurnal* (1/2), 131—135 (in Russian).
- Orlyuk M. I., Bakarzhieva M. I., Marchenko A. V., Kravchuk E. P., 2013. Magnetic models of dykes and dyke swarms of the Azov block. *Abstracts of the XII Int. Conf. «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects»*, Kiev, 13—16 May 2013. Paper 5218. Conference CD-ROM Proceedings, 5 p. (in Russian).
- Orlyuk M. I., Gadyatskaya E. P. *Theoretical models of magnetic dykes and dyke formations XIII Int. Conf. «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects»*, Kiev, 12—15 May 2014. Paper 6486. Conference CD-ROM Proceedings, 5 p. (in Russian).
- Orlyuk M. I., Romenets A. A., Marchenko A. V., Orlyuk I. M., Ivashchenko I. N., 2015. Magnetic declination in the territory of Ukraine: the results of observations and calculations. *Geofizicheskii zhurnal* 37(2), 73—85 (in Russian).
- Rozygan T. V., 2014. Lineaments of north-west and central part of the Dnieper-Donets aulacogene by geomagnetic data. *Abstracts of the XIII Int. Conf. «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects»*, Kiev, 12—15 May 2014. Paper 6624. Conference CD-ROM Proceedings, 4 p. (in Russian).
- Soldatenko V. P., 2003. About of calculation and analysis of the gravity lineaments. *Nauchnyy vestnik Natsional'nogo gornogo universiteta* (6), 87—89 (in Russian).
- Sollogub V. B., Tripol'skiy A. A., 1969. Some data on the deep structure of the crust on the profile of some of the data on the deep structure of the crust on the profile of DSS Taganrog—Kirovograd. *Geofizicheskii sbornik* (is. 31), 5—24 (in Russian).
- Sollogub V. B., Chekunov A. V., Pavlenkova N. I., Garkalenko I. A., Chirvinskaya M. V., Turchanenko N. T., Lossovskiy E. K., Geyko V. S., Demidenko Yu. B., Manyuta M. G., Pilipenko V. N., Smelyanskaya T. V., Kalyuzhnaya L. T., Livanova L. P., Tripol'skiy A. A., Leshchuk F. A., Yarish M. S., Belokurov V. S., 1970. Main results and problems of studying the deep structure of the Earth's crust Ukraine seismic methods. *Geofizicheskii sbornik* (is. 31), 48—64 (in Russian).
- The physical properties of rocks and minerals: Petrophysics*, 1976. Ed. N. B. Dortman. Moskva: Nedra, 572 p. (in Russian).
- Shatalov N. N., 1986. Dikes Priazov'ya. Kiev: Naukova Dumka, 192 p. (in Russian).
- Shatalov N. N., Orlyuk M. I., Potapchuk I. S., Verkhovtsev V. G., Konakov V. V., 1986. The Structural position and metallogenic significance dyke formations of Ukrainian Shield. In: *Actual problems of Ukrainian geology*. Kiev: Naukova Dumka, P. 31—35 (in Russian).
- Shcherbak N. P., Artemenko G. V., Lesnaya I. M., Ponomarenko A. N., Shumlyanskiy L. V., 2008. The Early Pre-Cambrian geochronology of the Ukrainian Shield. The Proterozoic. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
- Shcherbakov I. B., 2005. Petrology of the Ukrainian shield. L'vov: Zapadno-Ukrainskiy Konsalting Tsen-tr, 366 p. (in Russian).
- Shcherbakov I. B., 2000. Evolution of magmatism of the Ukrainian shield. *Mineralogicheskii zhurnal* (2/3), 36—47 (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., 2012. Late Palaeoproterozoic mafic dyking in the Ukrainian Shield of Volgo-Sarmatia caused by rotations during the assembly of supercontinent Columbia (Nuna). *Lithos* 2858. doi: 10.1016/S0024-4937(12)00439-2.