

Обзор результатов исследований палеомагнитной информативности докембрийских кристаллических пород Украинского щита

© М. И. Орлюк, М. И. Орлова, 2013

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 15 марта 2013 г.

Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым

Подано огляд даних багаторічного вивчення лабораторними методами стабільності й походження природної залишкової намагніченості (ПЗН) докембрійських кристалічних порід Українського щита (УЩ). Узагальнення даних дає змогу вважати докембрійські породи щита перспективними об'єктами для палеомагнітних досліджень. Виконано статистичний аналіз напрямків ПЗН у відслоненнях різноманітних за віком, складом і походженням кристалічних породах щита. Установлено, що всюди в межах щита у відслоненнях з магнітно-стабільною однокомпонентною намагніченістю термозалишкового походження (за лабораторними і мінералогічними критеріями) напрямки ПЗН у сучасній системі координат розподілені нерівномірно і характеризуються значною дисперсією. Найімовірнішим джерелом дисперсії векторів ПЗН у межах розглянутих відслонень кристалічних порід щита є локальна тектоніка, що зумовила переорієнтацію у просторі поверхні первинного намагнічування порід.

A review of the data has been conducted of the long-term laboratory methods of studies of stability and origin of natural remanent magnetization (NRM) of Precambrian crystalline rocks of the Ukrainian Shield (USh). Generalization of the data gives weighty arguments for considering the Precambrian rocks of the Ukrainian Shield as promising objects for paleomagnetic studies. Statistical analysis has been made as to directions of NRM in exposures different by their age, composition and origin of crystalline rocks of the USh. It has been found that everywhere within the limits of the Ukrainian Shield in the exposures with magnetically stable single-component magnetization of thermoremanent origin (according to laboratory and mineralogical criteria) NRM directions in contemporary coordinate system are distributed heterogeneously and are characterized by considerable dispersion. The most probable source of dispersion of NRM vectors within the limits of considered exposures of crystalline rocks of the USh is local tectonics, which produced reorientation within the area of the surface of initial magnetization of rocks.

Введение. При составлении обзора авторы ставили перед собой задачу, которая состояла в обобщении и анализе результатов многолетнего изучения лабораторными методами пригодности докембрийских кристаллических пород Украинского щита для палеомагнитных исследований и возможности приложения этих результатов к изучению истории геомагнитного поля в докембрии, а также формирования тектонической структуры УЩ.

Краткий обзор результатов изучения магнитных свойств и палеомагнитных направлений докембрийских основных и ультраосновных пород Украинского щита (УЩ), опубликованных с 1955 г., приведен в работе [Михайлова, Глевасская, 1965]. Кроме изучения магнитных параметров (J_n , χ , Q_n) и осо-

бенностей их распределения в исследованных породах значительное внимание в этой работе сосредотачивалось на направлениях векторов естественной остаточной намагниченности (ЕОН). Впервые был выполнен комплекс лабораторных исследований и выявлены породы со стабильной однокомпонентной намагниченностью. Для обоснования происхождения и времени формирования древней намагниченности докембрийских кристаллических пород [Михайлова, Глевасская, 1965; Минибаев и др., 1966] применялся комплексный магнитоминералогический подход. «Это была одна из первых в мире попыток связать стабильность естественной остаточной намагниченности со структурным состоянием ферромагнетика. В дальнейшем этот вывод послужил своего рода

трамплином для разработки магнитоминералогического подхода к изучению древней намагниченности, который стал характерной чертой украинской палеомагнитной школы и был подхвачен исследователями многих палеомагнитных центров» [Храмов, 2001, с. 126].

Координаты виртуальных геомагнитных полюсов, вычисленные по направлению древней намагниченности пироксенитов Октябрьского щелочного массива ($\Phi=32^\circ$ с.ш.; $\Lambda=186^\circ$ в.д.), габбро-диабазов Западного Приазовья ($\Phi=30^\circ$ с.ш.; $\Lambda=183^\circ$ в.д.), а также анортозитов и габбро-анортозитов Коростенского плутона ($\Phi=30^\circ$ с.ш.; $\Lambda=171^\circ$ в.д.) неожиданно оказались близкими к полюсам раннего палеозоя Восточно-Европейской платформы (ВЕП).

В работах [Михайлова, 1982; Михайлова, Кравченко, 1986] отмечалось, что важнейшей особенностью расположения виртуальных геомагнитных полюсов, определенных для возрастных интервалов, наиболее обеспеченных палеомагнитными и изотопными данными, является их концентрация в северной части Тихого океана — в области, перекрывающейся с ареалом распространения палеозойских полюсов Евразии. Проблема заключалась в том, что предположению о перемагниченности докембрийских пород УЩ палеозойским геомагнитным полем противоречил весь экспериментальный материал. Положение виртуальных геомагнитных полюсов анортозитов и габбро-анортозитов Коростенского плутона было подтверждено более тщательными исследованиями [Кравченко, Михайлова, 1978; Михайлова и др., 1994а,б; Kravchenko, 2005]. Все эти данные убедительно свидетельствовали о высокой магнитной стабильности намагниченности и ее синхронности породам, что позволяло авторам рассматривать полученные полюсы как характеризующие магнитное поле докембрия. Были получены доказательства того, что геомагнитное поле на протяжении раннего и позднего докембрия неоднократно меняло свою полярность.

Магнитные свойства и палеомагнитная пригодность гранитоидов в рассматриваемом регионе изучались [Михайлова, 1955; Круглякова, 1961а; Михайлова, Глевасская, 1962; Михайлова, 1963; Савенко, 1969]. По результатам размагничивания переменными магнитными полями и температурами, а также данным изучения температуры кристаллизации ферромагнетиков в гранитоидах некоторых массивов УЩ была установлена стабильная однокомпонентная намагниченность термоостаточного происхо-

ждения [Савенко, 1969; Глевасская и др., 1970]. Были вычислены виртуальные геомагнитные полюсы: $\Phi=11^\circ$ с.ш., $\Lambda=180^\circ$ в.д. (по гранитам с. Куцеволовка и с. Мишурич Рог) и $\Phi=48^\circ$ с.ш., $\Lambda=160^\circ$ в.д. (по гранитам рапакиви с. Поповка).

Начиная с 1976 г., исследования магнитных параметров и палеомагнитной пригодности докембрийских кристаллических пород проводились в основном по породам дайкового комплекса [Крутиховская и др., 1976; Михайлова, 1976; Михайлова, Карзанова, 1977; Михайлова, 1979, 1982, 1989; Михайлова и др., 1985, 1989]. Опробовано более 300 даек разного состава (от оливиновых диабазов и габбро-диабазов до кварцевых порфиров и монзонитов) возрастом от 2300 до 650 млн лет. Среди изученных пород были установлены пригодные для палеомагнитных исследований с однокомпонентной намагниченностью высокой магнитной стабильности, а также породы с метастабильной намагниченностью.

Изучению палеомагнитной характеристики протерозойских базальтов волинской трапповой формации посвящены работы [Круглякова, 1961б; Михайлова, Глевасская, 1965; Глевасская, Кравченко, 1993; Глевасская и др., 2000]. Характер метакронной намагниченности некоторых гнейсов и мигматитов на УЩ исследовался [Михайлова, Карзанова, 1975; Михайлова и др., 1980].

На основе ряда докембрийских виртуальных геомагнитных полюсов Украинского и Феноскандского щитов [Михайлова, Кравченко, 1986; Mikhailova, Kravchenko, 1987] была предложена модель их взаимного размещения в протерозое. В дальнейшем данные по УЩ оценивались [Elming et al., 1993; 2001], согласно критериям достоверности, приведенным в работе [Trench et al., 1990]. В результате 5 докембрийских полюсов из 60 были классифицированы как А и 10 полюсов — как В. Для отобранных полюсов была построена кривая кажущейся миграции геомагнитного полюса для УЩ и предложен новый вариант соотношения Украинского и Феноскандского щитов во временном интервале 2,1—1,2 млрд лет.

Новые результаты получены в последнее время [Лубнина, 2009] по образцам из субпараллельных даек основного состава возрастом $1770 \pm 9,5$ млн лет ($\Phi=6,4^\circ$ с.ш.; $\Lambda=164,2^\circ$ в.д.; $\alpha_{95}=5^\circ$), расположенных вдоль Субботско-Мошоринской зоны разломов (рис. 2, обн. Л). В том же карьере с. Субботцы [Бахмутов, Иосифиди, 2010] получили подобный результат ($\Phi=1^\circ$ с.ш.; $\Lambda=162^\circ$ в.д.; $\alpha_{95}=6^\circ$). В процессе ана-

лиза опубликованных данных авторы настоящей статьи не рассматривали примеры тектонических реконструкций для УЩ в докембрии.

Пространственное расположение мест отбора ориентированных образцов для палеомагнитных исследований показано на геологической карте масштаба 1:1 000 000 [Геологическая..., 1984] в пределах мегаблоков УЩ: Волинского, Ингульского, Среднеприднепровского, Приазовского (рис. 1—4).

Сводки определений виртуальных геомагнитных полюсов, полученные ранее по докембрийским породам УЩ [Михайлова, Глевасская, 1965; Савенко, 1969; Михайлова, 1982; Михайлова и др., 1989, 1994а], приведены в таблице. В таблицу также включены средние направления ЕОН, вычисленные на основе первичных материалов, приведенных в отчетах [Михайлова, Глевасская, 1962; Михайлова, Карзанова, 1977] и диссертации [Савенко, 1969].

Волинский мегаблок. В пределах Коростенского плутона [Михайлова, Глевасская, 1965, Михайлова и др., 1994б] из 92 обнажений отобрано 972 образца анортозитов, габбро-анортозитов, габбро и монцонитов. Обнажения расположены (см. рис. 1): вдоль правого берега р. Очеретянка на протяжении 1,5 км (обн. 104—109, 15—19/1, 21, 22); в бассейне р. Ирша на расстоянии 80 м (обн. 19, 20, 28, 31—34, 36, 70—74, 93); 45 образцов гранитоидов взяты из обн. 92, 97, 98, 99, 100—103; 127 образцов гранитоидов исследованы [Савенко, 1969] в районе г. Коростень (обн. 3), с. Игнатполь (обн. 2), с. Шершневецкая Рудня (обн. 4), с. Млыны (обн. 1), с. Бехи (обн. 15). В пределах Букинского плутона [Elming et al., 1998] были изучены габбро-монцониты (обн. М).

Кроме того, на территории Волинского мегаблока изучались:

- базальтовые траппы (149 образцов), отобранные в нескольких карьерах (в п. Берестовец (обн. 345, 346, 348) и п. Базальтовый (обн. 347, 1541));
- дайки диабазовых порфиритов (25 образцов из обн. 128, 129, 130);
- гранитоиды из обн. 5 [Савенко, 1969].

Ингульский мегаблок. В пределах Городыщенского массива Корсунь-Новомиргородского плутона (см. рис. 2) по результатам, приведенным в работе [Михайлова, Глевасская, 1965, Михайлова и др., 1994б] отобрано: 47 образцов анортозитов и габбро-анортозитов (обн. 64, 66, 67, 372); 35 образцов габбро (обн. 69); 18 образцов монцонитов (обн. 373).

В пределах Новомиргородского массива было отобрано 18 образцов анортозитов (обн. 61, 369, 370).

Гранитоиды Корсунь-Новомиргородского плутона изучены [Савенко, 1969]. Было отобрано 20 образцов в районе с. Поповка (обн. 7) и 65 образцов в районе г. Корсунь-Шевченковский из двух обнажений (обн. 8 и 8а в карьере Сивач).

В пределах Новоукраинского массива [Савенко, 1969] отобрано 22 образца (обн. 14) в районе г. Новоукраинка и 46 образцов в районе с. Сабово (обн. 23). Кроме того, на территории Ингульского мегаблока [Савенко, 1969] было изучено 108 ориентированных образцов гранитоидов (обн. 25—21).

В бассейне р. Ингул [Михайлова, Карзанова, 1977] образцы отбирались из даек диабазов (обн. 12, 13, 15(46)) и лампрофиров (обн. 14).

Среднеприднепровский мегаблок. На рис. 3 показано расположение объектов палеомагнитного опробования в пределах Среднеприднепровского мегаблока УЩ. Образцы для палеомагнитных исследований отбирались из дайковых пород, представленных диабазами [Михайлова, Карзанова, 1977], а также из пород гранитоидного комплекса [Савенко, 1969]. Объекты исследований расположены: в бассейне р. Базавлук (304 образца из 22 обнажений диабазов (обн. 22—45)); вдоль правого берега р. Днепр (141 образец из шести обнажений гранитоидов (обн. 42—47)) в районе с. Мишуриин Рог — г. Запорожье. Граниты Токовского массива (124 образца) отбирались из двух обнажений, первое расположено в ст. Ток (обн. 16), второе — в районе ст. Подстепная (обн. 17). 28 образцов мигматитов взято из двух обнажений в районе с. Александрийская Звенигородка (обн. 27) и с. Дериевка (обн. 38).

На рис. 3 также показаны изученные обнажения даек диабазов Криворожско-Кременчужской зоны разломов. Здесь [Михайлова, Карзанова, 1977] отобран 221 образец из 27 обнажений (обн. 60—87).

Приазовский мегаблок. На Приазовском мегаблоке УЩ в период с 1964 по 1987 г. для палеомагнитных исследований было отобрано 1869 ориентированных образцов из 184 обнажений (рис. 4).

В пределах Антон-Тарамского дайкового пояса ориентированные образцы отбирались из даек, расположенных на правом берегу р. Кальмиус, южнее с. Староласпы и частично по балке Стара-Тарама, а также на излучине р. Кальмиус вблизи с. Красный Октябрь.

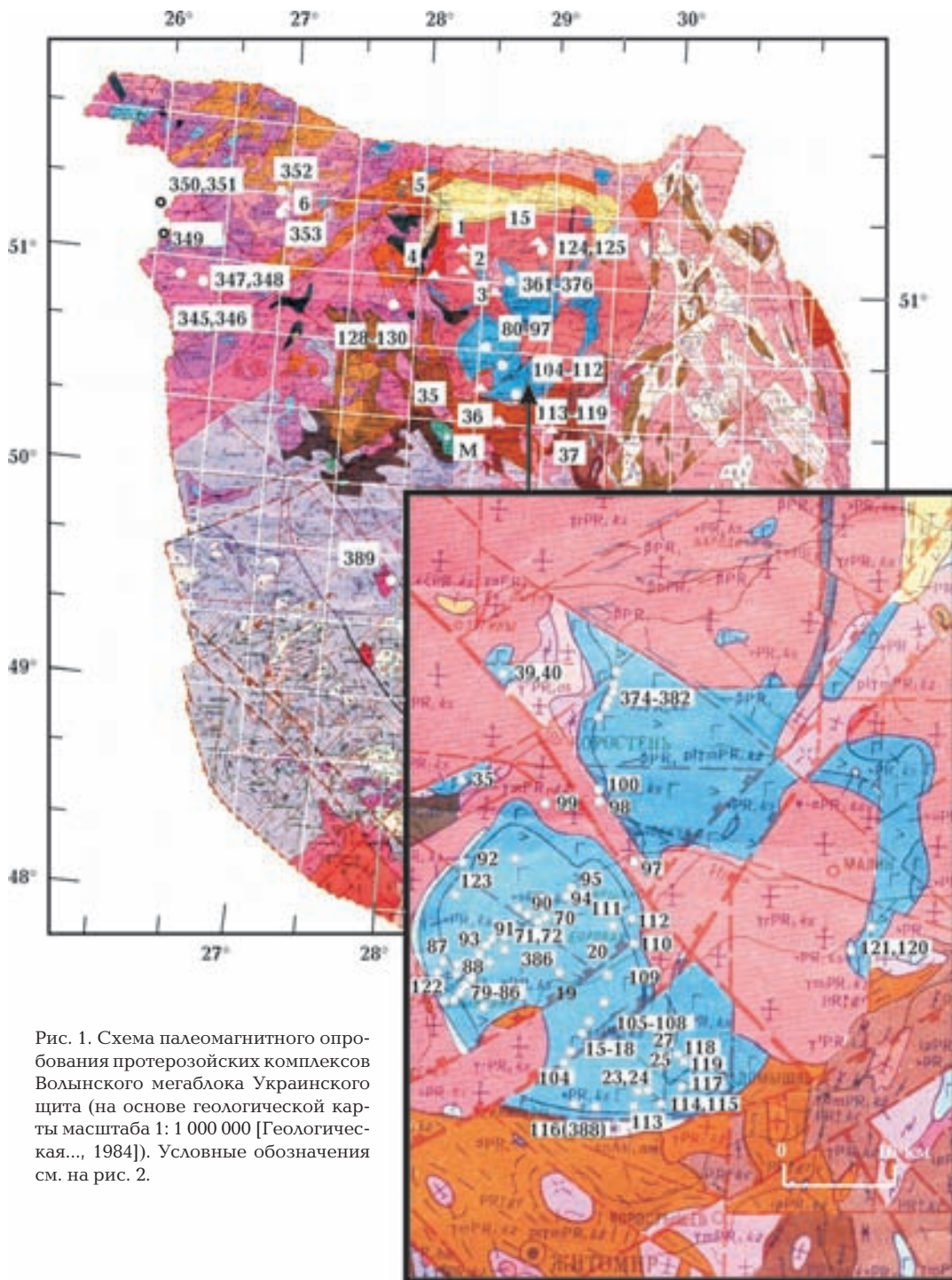


Рис. 1. Схема палеомагнитного опробования протерозойских комплексов Волынского мегаблока Украинского щита (на основе геологической карты масштаба 1: 1 000 000 [Геологическая..., 1984]). Условные обозначения см. на рис. 2.

Были изучены: диабазы (обн. 95, 97—100, 103, 105, 136); габбро-диабазы (обн. 114, 137); конгадиабазы (обн. 133); диабазовые порфиристы (обн. 93, 94, 96, 101—106, 119); лампрофиры (обн. 92, 138).

Дайки *Малоянисольского дайкового пояса* изучались по р. Кальчик южнее с. Екатериновка и с. Куйбышево (бывшее с. Малая Яни-

соль), балкам Грузская и Полковая, в карьере вблизи с. Кремлевка (бывшее с. Чердаклы). Здесь отобраны образцы: позднепротерозойских гранитов Екатерининского массива (обн. 326); даек лампрофириров (обн. 285); диабазов (обн. 124—126, 130—142); диабазовых порфиритов (обн. 122, 123, 127, 128, 275, 305, 307); кварцевых порфиритов (обн. 273, 274, 277, 306).

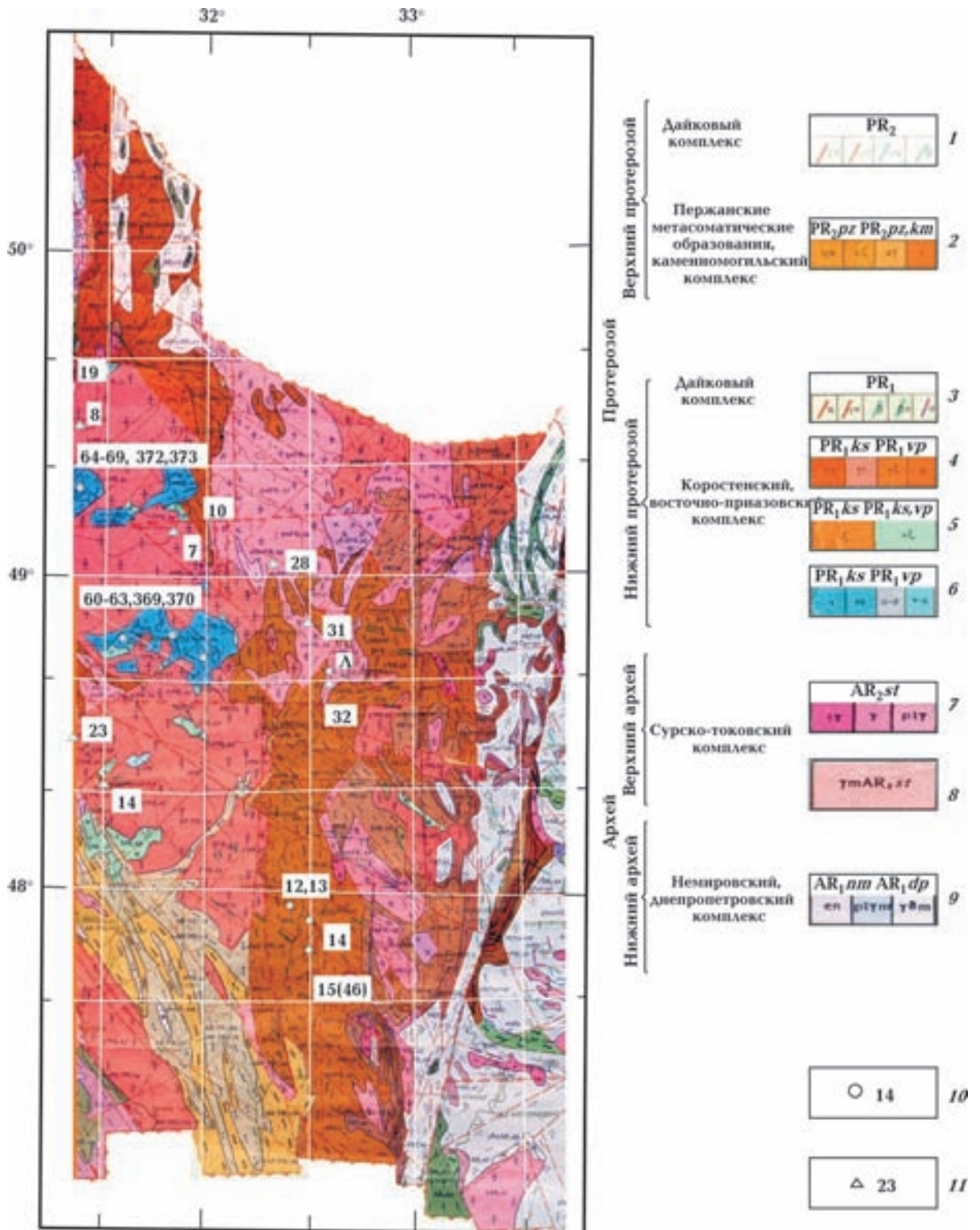


Рис. 2. Схема палеомагнитного опробования протерозойских комплексов Ингульского мегаблока Украинского щита (на основе геологической карты масштаба 1:1 000 000 [Геологическая..., 1984]): 1 — гранит-порфиры ($\gamma\tau$), кварцевые порфиры ($q\tau$), трахиандезиты ($\tau\alpha$), диабазы и габбро-диабазы (β) дайкового комплекса верхнего протерозоя; 2 — грейзены и вторичные кварциты ($q\omega$), щелочные сиениты, граносиениты ($e\xi$), щелочные метасоматиты, апограниты ($a\gamma$), граниты субщелочные мусковитовые, биотитовые и биотит амфиболовые каменноугольские, хочинские, сырницкие, львовские (γ) — пержанские метасоматические образования каменноугольского комплекса верхнего протерозоя; 3, 4 — щелочные сиениты ($e\xi$), граниты субщелочные лезниковские и дубовские (γ), пегматиты (p), гранит-порфиры дивлинские ($\gamma\tau$), граниты рапакиви и рапакививидные, граниты контаминированные ($\gamma\tau$), граносиениты ($\gamma\xi$), фойяиты, мариуполиты, нефелиновые сиениты (ω) коростенского и восточно-приазовского комплексов нижнего протерозоя; 5 —

88 Геофизический журнал № 4, Т. 35, 2013

гибридные породы: граносиениты (ξ), сиениты, габбро-монциты, монциты, кварцевые монциты ($v\xi$); 6 — габбро, габбро-нориты, троктолиты (v), габбро-анортозиты, анортозиты (vu), ультраосновные породы нерасчлененные, основные и ультраосновные породы нерасчлененные ($v-\sigma$), перидотиты, верлиты, оливковое габбро, габбро-нориты ($v-u$); 7 — граниты аплито-пегматоидные ($i\gamma$), граниты микроклиновые, микроклин-плагноклазовые токовские, вишневецкие, щербаковские, мокромосковские (γ), плаггиограниты и тоналиты ($pl\gamma$) сурско-токовского комплекса верхнего архея; 8 — граниты и мигматиты микроклин-плагноклазовые; 9 — эндербиты (en), плаггиограниты, плаггиомигматиты ($pl\gamma m$), мигматиты гранодиоритового и диоритового состава (γsm), тоналиты немировского и днепропетровского комплексов нижнего архея; 10, 11 — пункты отбора образцов для палеомагнитных исследований (10 — из обнажений основных и ультраосновных пород, 11 — из обнажений пород гранитоидного комплекса).

В пределах *Каменномогильского гайкового пояса* для палеомагнитных исследований были отобраны образцы: позднепротерозойских гранитов из массива Каменные Могилы (обн. 327); кварцевых порфиров, обнажающихся на южной окраине массива гранитов, вблизи с. Украинка (обн. 264—272) и по балке Водяная (обн. 331).

За пределами *Елисеевского гайкового пояса* исследовались преимущественно позднепротерозойские дайки диабазов и диабазовых порфиров (обн. 145—158), обнажения которых в виде спорадических тел наблюдаются по рр. Обиточная, Берда и их притокам (обн. 342, 155, 156).

В северной прибортовой части Приазовского мегаблока объектом исследований были палеозойские дайки габбро-диабазов, лампрофиров и ортофиров, обнажающихся по рр. Сухие Ялы, Мокрая и Сухая Конка (обн. 360—365).

Обобщение результатов изучения лабораторными методами пригодности докембрийских кристаллических пород УЩ для палеомагнитных исследований. В данном разделе обобщены результаты многолетних (1962—2004) исследований кристаллических пород УЩ, проводившихся под руководством Н. П. Михайловой в лаборатории магнетизма горных пород и минералов Института геофизики НАН Украины.

В лаборатории использовалась следующая методика отбора и измерения образцов. Образцы отбирались вручную, плоскость маркировки была произвольной, ориентировка производилась с помощью горного компаса с точностью 1—2°. Образцы из даек (где это было возможно) отбирались вкрест простираения дайки, по простираению из ее центральной части и из зоны контакта с вмещающими породами. В среднем из обнажения отбиралось 6—10, реже 15—20 штучков.

В plutonic породах участки отбора образцов выбирались с учетом особенностей исследуемых массивов, при этом каждый из них опробовался равномерно. Количество штучков из одного обнажения определялось

петрографической однородностью пород и колебалось от 5 до 15.

Измерение образцов (штучки) проводилось с помощью аstaticческих магнитометров МА-21, ЛАМ-24 (г. Брно). Кубики (с ребром 24 мм) измерялись на аstaticческом магнитометре МГ-2. При измерении слабомагнитных образцов использовались рок-генераторы ИОН-1 и JR-4. Магнитная восприимчивость слабомагнитных пород измерялась с помощью прибора KLY-1 (г. Брно). Методика измерений, вычисления направлений естественной остаточной намагниченности и ее характерных компонент, а также магнитных параметров в целом соответствовала общепринятой, описанной в инструкциях и монографиях [Храмов, Шолпо, 1967; Палеомагнитология..., 1982].

Магнитная стабильность и происхождение естественной остаточной намагниченности изучалась с помощью установок и согласно методикам, подробно изложенным в работах [Михайлова, Глеваская, 1965; Михайлова и др., 1989]. Комплекс лабораторных методов включал: размагничивание постоянным магнитным полем [Михайлова, Глеваская, 1962, 1965]; ступенчатое размагничивание температурой до 600 °С в нулевом поле. При терморазмагничивании образцов использовалась немагнитная печь, помещенная в трехкомпонентные кольца Гельмгольца, практически обеспечивающие компенсацию лабораторного магнитного поля на уровне 50 нТл. Для слабомагнитных образцов использовалась печь с пермалловым экраном, уровень компенсации лабораторного магнитного поля в которой составляет 5 нТл. Ступенчатое размагничивание переменным магнитным полем до 100 мТл.

Происхождение ЕОН определялось комплексом лабораторных методов: нагревом по методике Телье; методом сравнения характеристик стабильности [Петрова, 1961]; методом сравнения спектров нормального намагничивания из нулевого и естественного состояния [Шолпо, 1979]. Также в лаборатории получали кривые нормального намагничивания для монофракций минералов, намагниченности насыщения;

применяли термомагнитный критерий доменности магнитных минералов [Большаков, Щербакова, 1979]; термомагнитную сепарацию магнитной фракции [Глевасская, 1983]; термомагнитный анализ; дифференциальный термомагнитный анализ [Буров, Ясонов, 1979]; химические анализы. Описание шлифов и аншлифов было выполнено сотрудниками лаборатории А. М. Глевасской и А. Я. Карзановой.

Магнитная стабильность ЕОН оценивалась по результатам размагничивания образцов переменными магнитными полями и температурой по форме нормализованных графиков изменения полного модуля J_n в зависимости от температуры или напряженности поля, а также по изменению направлений D и I на стереографических проекциях, вычисленных в системе координат образца или в современной системе координат. Средние направления векторов (D , I), параметры точности (K) и доверительные интервалы (α_{95}) вычислялись с помощью статистики Фишера [Fisher, 1953]. В последующие годы [Михайлова и др., 1989, 1994б] для анализа и изображения некоторых результатов размагничивания образцов переменным магнитным полем и температурой использовались ортогональные векторные диаграммы [Zijderveld, 1967]. В работе [Савенко, 1969] проводился анализ картин распределений направлений ЕОН гранитоидов с точки зрения их соответствия распределению Фишера [Палеомагнитология..., 1982].

В результате изучения магнитной стабильности и происхождения ЕОН докембрийских кристаллических пород УЩ на основании ряда критериев впервые были выявлены породы с хорошо сохранившейся магнитностабильной однокомпонентной намагниченностью термоостаточного происхождения. Эти критерии обобщены следующим образом.

- Величина $Q_n > 1$. Согласно установленной [Михайлова, Глевасская, 1962] корреляционной зависимости фактора Q_n от величины разрушающего поля (H^1_c) для всех исследованных пород (базальтов и пироксенитов Приазовья, гранитов и перидотитов Приднепровья), свидетельствующей о росте магнитной стабильности с увеличением значений Q_n .
- «Коленообразные кривые» $J_n(T)$, показывающие, что 70 % ЕОН разрушается в диапазоне 500—580 °С.
- Совпадение максимума градиента dJ_n/dt °С (диапазон блокирующих температур) с максимумом спектра термосепарации.

- Неизменность вектора J_n на стереографической проекции и хорошая согласованность по направлению во всех диапазонах размагничивания переменными магнитными полями и температурой (при этом в процессе t - и h -размагничивания векторы образцов сохраняют начальное направление).

- Неизменность магнитной восприимчивости в процессе размагничивания температурой (при контроле с микроскопическими исследованиями).

- Доказательство термообратной природы J_n .

Авторы предыдущих исследований придерживались мнения, что намагниченность, соответствующая перечисленным признакам, могла быть отождествлена с древней (первичной) намагниченностью, ее направление вычислялось относительно плоскости горизонта в современной (географической) системе координат.

Синхронность древней намагниченности породе обосновывалась с помощью ряда минералогических критериев [Глевасская и др., 1992].

1. Присутствием в аншлифах длиннопризматических игольчатых ферритмагнитных включений (по данным магнитной порошкографии), установленных в:

- плагиоклазах анортозитов Коростенского и Корсунь-Новомиргородского плутонов;
- клино- и ортопироксенах основных габброидов, а также пироксенитах Октябрьского щелочного массива;
- пироксенах и плагиоклазах диабазов Базавлукского дайкового пояса и некоторых габбро-диабазов северо-западной части УЩ.

2. Присутствием в аншлифах титаномагнетитов с признаками высокотемпературного окисления, установленных у многих габбро-диабазов северо-западной части УЩ и лампрофиров Ингульского мегаблока УЩ.

3. Содержанием в составе рудной фракции акцессорного магнетита, овальные зерна которого наблюдались в сростках с ильменитом. Последний обрастал магнетитом. Согласно работе [Глевасская и др., 1992], такая парагенетическая ассоциация минералов, установленная у гранитов-рапакиви с. Поповка, темно-серых гранитов с. Сабово и с. Мишуриин Рог — г. Запорожье, свидетельствует о высокой температуре кристаллизации породы.

4. Присутствием в траптовых базальтах

Волюни слабоокисленных титаномагнетитов с точкой Кюри от 200 до 400 °С.

Кроме того, в пределах УЩ были установлены породы с магнитностабильной двухкомпонентной (биполярной) намагниченностью термоостаточной природы (некоторые габбро-анортозиты и габбро Коростенского и Корсунь-Новомиргородского плутонов), породы с метастабильной намагниченностью, содержащей вторичную намагниченность,

направленную по современному магнитному полю (большинство даек Приазовья), и нестабильной намагниченностью вязкой природы (подавляющее большинство гранитоидов УЩ).

Проведенное обобщение данных лабораторного изучения пригодности докембрийских пород УЩ для палеомагнитных исследований показало, что многие породы обладают однокомпонентной стабильной к определенным лабораторным воздействиям намагниченно-

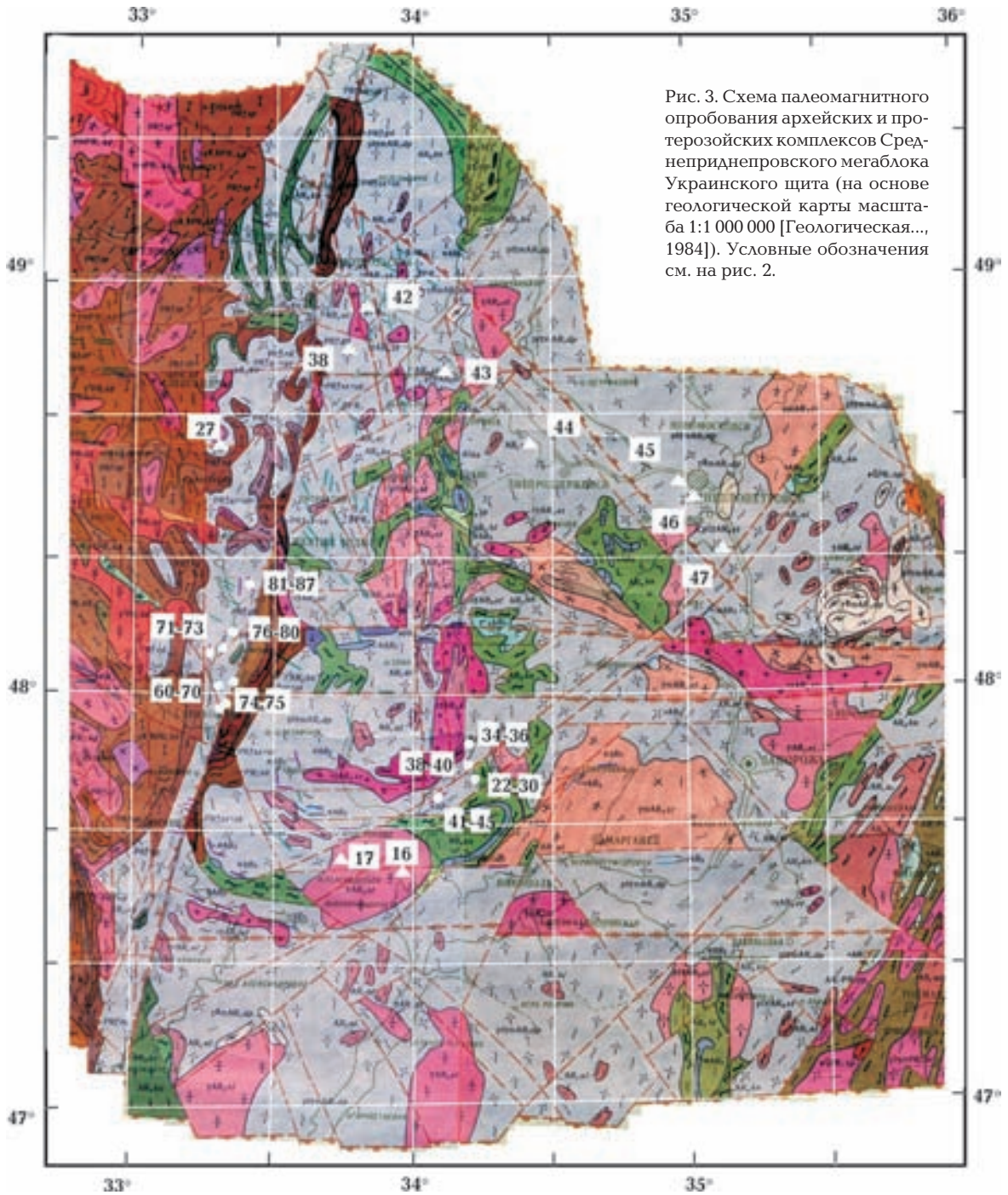


Рис. 3. Схема палеомагнитного опробования архейских и протерозойских комплексов Среднеприднепровского мегаблока Украинского щита (на основе геологической карты масштаба 1:1 000 000 [Геологическая..., 1984]). Условные обозначения см. на рис. 2.

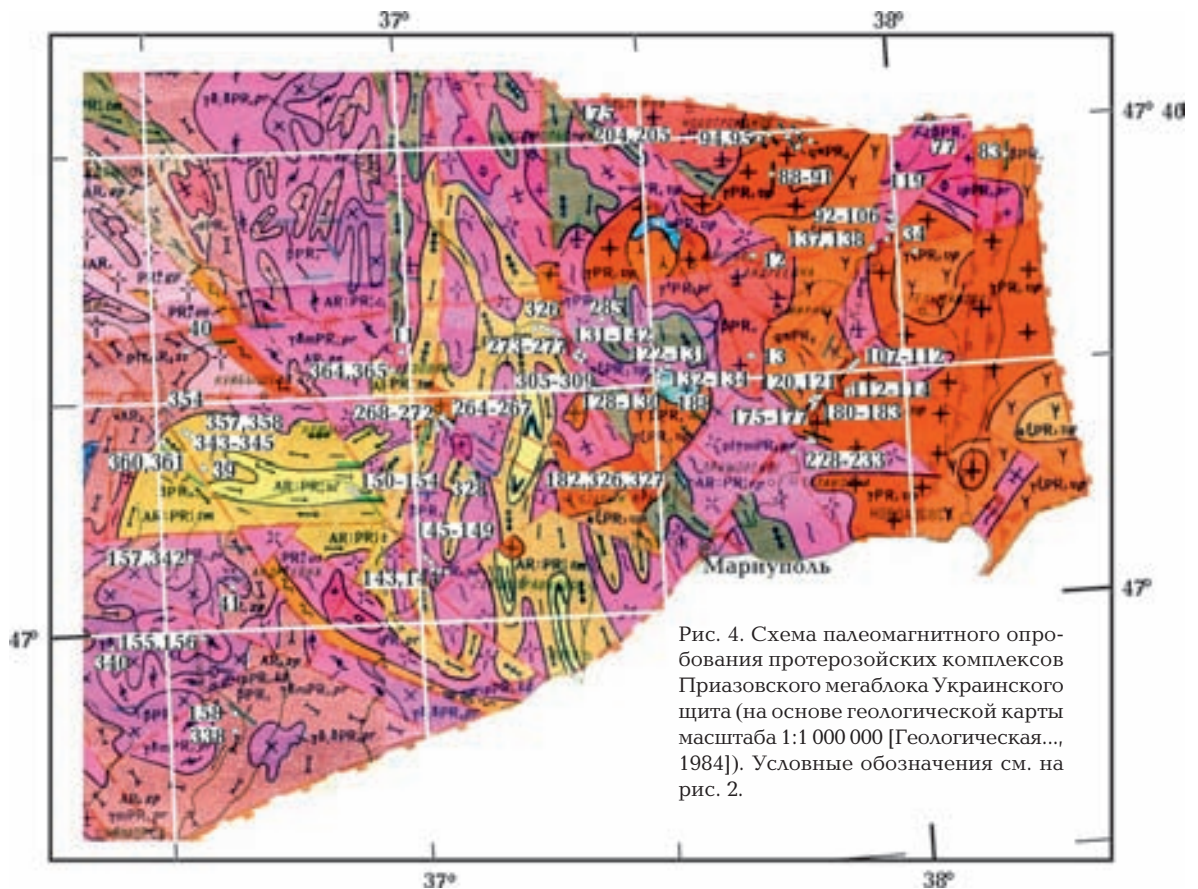


Рис. 4. Схема палеомагнитного опробования протерозойских комплексов Приазовского мегаблока Украинского щита (на основе геологической карты масштаба 1:1 000 000 [Геологическая..., 1984]). Условные обозначения см. на рис. 2.

стью термоостаточного происхождения. Этот факт дает веские основания считать их перспективными объектами для палеомагнитных исследований.

Вместе с тем, особенно в ранних публикациях [Михайлова, Глевасская, 1962, 1965; Михайлова, 1982], неоднократно подчеркивалось, что в пределах изученных обнажений пород (с однокомпонентной магнитностабильной намагниченностью) наблюдается сильное рассеяние направлений векторов на стереографической проекции. В связи с этим предпочтение отдавалось выборочным группам направлений из единичных обнажений. «Наиболее однородными по направлению вектора J_n среди изученных пород оказались анортозиты и габбро-анортозиты. Векторы этих пород группируются, главным образом, вокруг двух направлений: северо-восточном ($D_{cp}=24^\circ$, $I_{cp}\leq 30^\circ$) и противоположном ему: юго-западном ($D_{cp}=220^\circ$, $I_{cp}=30^\circ$). Это направление связывалось с направлением древнего магнитного поля в эпоху образования породы» [Михайлова, Глевасская, 1962]. «У диабазов обн. 15(46) выявлены две группы направлений образцов, в первой средний вектор J_n имеет координаты $D_{cp}=21^\circ$,

$I_{cp}=-59^\circ$, во второй $D_{cp}=100\div 120^\circ$, $I_{cp}=-40^\circ$. Лабораторные испытания подтвердили высокую стабильность направлений J_n образцов обеих групп к t - и h -размагничиванию. Полевыми обследованиями установлено, что монолит из которого взяты образцы со склонением $D_{cp}=100\div 120^\circ$ смещен в результате промышленного взрыва. Следовательно, древнее геомагнитное поле связывается, по-видимому, с образцами у которых $D_{cp}=21^\circ$, $I_{cp}=-59^\circ$ » [Михайлова, 1982].

Анализ полученных ранее результатов палеомагнитного изучения докембрийских кристаллических пород УЩ. Общие положения. Анализ и интерпретация палеомагнитных данных, а также вычисление координат палеомагнитных полюсов основываются на гипотезе центрального осевого диполя [Храмов, Шолпо, 1967].

В процессе проведения каждого палеомагнитного исследования прежде всего решается задача о сохранности в породе в геологическом масштабе времени направления первичной намагниченности и возможности ее выделения из суммарной многокомпонентной ЕОН породы. «Лабораторные (косвенные) методы

решения этой задачи основаны на закономерностях магнетизма горных пород. В общем случае они позволяют произвести разделение естественной остаточной намагниченности на компоненты различной природы, т. е. соответствующим различным условиям (но не времени) образования» [Шолпо, 1977, с. 76].

Проблема состоит в физическом и геохронологическом смысле тех компонентов ЕОН горных пород, которые выделяются в процессе лабораторных исследований и разных приемов интерпретации. Прямое, а не косвенное решение задачи о разделении ЕОН пород на компоненты не по способу, а по времени их образования доступно только так называемым «полевым» (геометрическим и статистическим) методам [Храмов, Шолпо, 1967; Палеомагнетизм..., 1974; Палеомагнитология..., 1982].

Прямые «полевые» методы основаны на гипотезе однородности первичной намагниченности по отношению к плоскости бывшей горизонтальной в момент образования породы. Время приобретения намагниченности оценивается с помощью анализа направлений J_n в двух системах координат: современной и древней. В современной системе координат ось X ориентирована на север, ось Y — на восток, Z — вертикально вниз. Эта система едина для современного положения пород. В древней системе за плоскость XOY принимается поверхность напластования пород, а ось OZ направлена по нормали к пласту. Оси древней системы координат были ориентированы так же, как и оси современной, до начала деформаций, затем эта система повернулась вместе с породами. Поэтому при проведении палеомагнитных исследований все методы разделения компонент, а также оценка их палеомагнитной стабильности базируются на применении разных систем координат: современной (географической) и древней (стратиграфической).

Если совокупность подчиняется нормальному распределению, она исчерпывающе описывается параметрами распределения — средним и стандартным отклонением.

Для статистического анализа палеомагнитных направлений функция плотности вероятности $P(\psi) = [K/4\pi \operatorname{sh} K] \exp(K \cos \psi)$ была выведена в 1953 г. и известна как распределение Фишера. В случае распределения Фишера наилучшей оценкой направления палеомагнитного поля будет направление геометрической суммы R нормализованных векторов J_n . Дисперсия выборки описывается параметром кучности K [Храмов, Шолпо, 1967; Палеомагнитология..., 1982; Молоствовский, Храмов, 1997].

тология..., 1982; Молоствовский, Храмов, 1997].

В предыдущем разделе было показано, что по результатам лабораторных и минералогических исследований остаточная намагниченность ранее изученных кристаллических пород УЩ была приобретена в момент их образования и осталась постоянной и неизменной. Поэтому естественно предположить, что у совокупности векторов в пределах каждого исследованного участка (обнажения) распределения направлений ЕОН однородны относительно современной плоскости горизонта как плоскости первоначального намагничивания.

Анализ данных заключался в проверке соответствия распределения направлений ЕОН образцов в обнажениях горных пород распределению Фишера и выполнялся согласно методике [Храмов, Шолпо, 1967].

Пусть имеется n векторов J_n рассматриваемой совокупности с кучностью K . Пусть далее поверхность единичной сферы, описанной вокруг общего начала всех векторов, разбита на l областей так, что в случае строгого соответствия анализируемого распределения распределению Фишера вероятность оказаться внутри любой из этих областей равна p . Тогда в каждой из областей теоретически должно быть pn векторов. Пусть в действительности в этих областях расположено $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_l$ векторов.

В качестве меры расхождения реального распределения с теоретическим рассматривалась величина

$$\chi^2 = \frac{\sum^l (m_i)^2}{pn} - n.$$

Значение вероятности p_f того события, что изучаемое распределение соответствует распределению Фишера, снимались с графиков [Храмов, Шолпо, 1967, рис. 69], на которых представлены зависимости p_f от величины χ^2 для разных чисел интервалов l . Проверка проводилась отдельно для радиального распределения точек J_n на проекции сферы и для распределения точек по азимутам. При анализе сфера разбивалась на пять кольцевых интервалов (в каждом интервале $p_f=0,200$) и на восемь равных шаровых секторов (в каждом секторе $p_a=0,125$).

В процессе анализа использовались все имеющиеся данные о направлениях ЕОН образцов пород (как опубликованные, так и приведенные в отчетах и диссертации), в которых была установлена стабильная однокомпонентная намагниченность с термоостаточным происхождением.

Т а б л и ц а . Виртуальные геомагнитные полюсы и магнитные параметры докембрийских кристаллических пород УЩ

Изотопный возраст, млн лет	Объект изучения	Количество образцов/обнажений	Направление остаточной намагниченности, град D/I	α_{95} , град	K	Геомагнитный полюс		Лабораторный способ выделение древней намагниченности	$I_n \cdot 10^{-3}$, А/м	$\chi \cdot 10^{-5}$, ед. СИ	Q_n	Публикации				
						Φ с.ш., град	Λ в.д., град									
Волынский мегаблок																
1760±8,1* U-Pb, по циркону	Анортозит (Коростенский плутон, Володарск-Вольский массив)	6	38/-18	6	102	22	168	ТЧ ₆₀₀ °С, НЧ ₇₀₋₇₄ мТл	611	275	8,22	[Михайлова и др., 1994б]				
		3	23/5	12	48	38	179		243	452	1,44					
		14	211/13	4	82	27	174		162	203	1,67					
1987±5,8* U-Pb, по циркону	Габбро (Коростенский плутон, Володарск-Вольский массив)	12	204/8	5	68	32	180	ЕОН	20	144	0,44	[Elming et al., 1998]				
		3	32/-12	9	23	27	172						ТЧ ₄₀₀ °С	128	582	0,51
		3	55/4	5	60	23	146									
1200—1700	Монцит (Коростенский плутон) Габбро-монцит (Букинский плутон) Граниты биотит-амфиболовые, (г. Коростень, обн. 3) Граниты рогообманково-биотитовые (с. Игнатполь, обн. 2) Граниты ралакиви (с. Шершневская Рудня, обн. 4) Граниты (с. Перга, обн. 5) Граниты габриитные (с. Виры, обн. 6) Базальт (п. Берестовец, обн. 345) Базальт (п. Берестовец, обн. 346) Базальт (п. Берестовец, обн. 348) Базальт (п. Базальтовое, обн. 347) Базальт (п. Базальтовое, обн. 1541)	2	214/13	4	66	26	171	ЕОН	205	885	0,5	[Савенко, 1969]				
		—	35/32,5	9,8	—	47	155						ЕОН	106	1200	0,5
		1/12	26/46	10,	24,	67	163									
1200—1700	Базальт (п. Берестовец, обн. 345) Базальт (п. Берестовец, обн. 346) Базальт (п. Берестовец, обн. 348) Базальт (п. Базальтовое, обн. 347) Базальт (п. Базальтовое, обн. 1541)	20	—	—	—	—	—	ЕОН	3280	2200	2,98	[Глевасская и др., 2000]				
		25	63/83	25,1	4,3	—	—						ТЧ _{350,400} °С	2300	3950	1,16
		25	20/71	25,8	3,8	—	—									
540—560	Базальт (п. Берестовец, обн. 345) Базальт (п. Берестовец, обн. 346) Базальт (п. Берестовец, обн. 348) Базальт (п. Базальтовое, обн. 347) Базальт (п. Базальтовое, обн. 1541)	21	102/59	13,8	3,1	—	—	ЕОН	3290	2265	2,91	[Глевасская и др., 2000]				
		1/29	51/46	7,3	14,3	45	128						ТЧ _{350,400} °С	2300	3950	1,16
		1/14	59/62	15,4	7,6	50	103									
540—560	Базальт (п. Берестовец, обн. 345) Базальт (п. Берестовец, обн. 346) Базальт (п. Берестовец, обн. 348) Базальт (п. Базальтовое, обн. 347) Базальт (п. Базальтовое, обн. 1541)	1/18	69/51	11,0	12,0	37	109	ЕОН	3290	2265	2,91	[Глевасская и др., 2000]				
		1/22	61/53	8,7	13,4	43	113						ТЧ _{350,400} °С	2300	3950	1,16
		1/9	74/48	17,8	9,3	52	108									
540—560	Базальт (п. Берестовец, обн. 345) Базальт (п. Берестовец, обн. 346) Базальт (п. Берестовец, обн. 348) Базальт (п. Базальтовое, обн. 347) Базальт (п. Базальтовое, обн. 1541)	5/91	62/52	7,7	101,1	42	114	ЕОН	3290	2265	2,91	[Глевасская и др., 2000]				

Ингульский мегаблок																				
1600—1800	Оливиновые диабазы (Бобринский дайковый пояс р. Сугоклея, обн. 12, 13)	2	18/21	5	34	50	184	1076	1399	1,65	[Михайлова, 1976, 1979, 1982]									
												1/8	23/49	10	34	65	160	1129	3227	0,76
												2/6	21/-59	11	117	0	196	4729	3460	3,36
1900	Гранит (с. Сабово, обн. 23)	14	350/35	7	32	32	60	21,	3,65	11,5										
1610	Граниты рапакиви (с. Поповка, обн. 7)	10	36/34	11	21	48	160	470	1000	1,03										
1749,5—1760,2 U-Pb, по циркону	Граниты рапакиви (с. Поповка, обн. 7)	20	33/22	11,3	19,3	—	—	470	1000	1,03										
1200—1700	Граниты рапакиви (г. Корсунь-Шевченковский, обн. 8)	65	—	—	—	—	—	23	55	0,42	[Савенко, 1969]									
1752±12* U-Pb, по циркону	Граниты рапакиви (г. Корсунь-Шевченковский, к-р Сивач, обн. 8)	30	38/52	10,8	12,6	—	—	26	86	0,77										
1200—1700	Граниты рапакиви (с. Лебедовка, обн. 9)	20	—	—	—	—	—	10	67	0,41										
1700—2000	Граниты серые биотитовые (с. Березовка, обн. 19)	14	—	—	—	—	—	21	455	0,11										
1725±12* U-Pb, по циркону	Анортозит, габбро- анортозит, (Ново-Мир- городский массив)	обн. 61	219/33	6	112	15	173													
		обн. 369	208/30	8	96	21	183	65	37	3,43										
		обн. 370	22/-28	9	63	24	188													
	Анортозит, габбро-анортозит (Городыщенский массив)	обн. 64	45/-12	6	46	23	162													
		обн. 66	51/-15	7	44	18	157	374	631	1,16										
		обн. 372	40/-4	10	35	29	164													

Продолжение табл.													
Изотопный возраст, МАН лет	Объект изучения	Количество образцов/обнажений	Направление остаточной намагниченности, град D/I	α_{95} , град	K	Геомагнитный полюс		Лабораторный способ выведения магнитности	$I_n \cdot 10^{-3}$, А/м	$\chi \cdot 10^{-5}$, ед. СИ	Q_n	Публикации	
						Ф с.п., град	Λ в.д., град						
Среднеприднепровский мегаблок													
1550	Диабазовые дайки	1/6	40/9	10	—	34,7	160,8	ТЧ ₆₅₀ °С	852	1350	1,46	[Михайлова, 1982]	
													р. Базавлук, обн. 30
													р. Базавлук, обн. 24, 34, 35
													р. Базавлук, обн. 22, 23, 25, 26, 29
													р. Базавлук, обн. 28а
1870	р. Базавлук, обн. 24, 34, 35	3/9	50/-9	16	—	30	158	ТЧ ₆₅₀ °С	6	77	0,06	[Михайлова, 1982]	
													р. Базавлук, обн. 28а
2090	р. Базавлук, обн. 22, 23, 25, 26, 29	5/67	224/54	10	56	-2	179	ТЧ ₆₀₀ °С, НЧ ₇₀ мТл	1700	800	4,5	[Михайлова, 1982]	
2320	р. Базавлук, обн. 28а	1/4	314/67	12	57	60	324	ТЧ ₆₀₀ °С, НЧ ₇₀ мТл	1400	2450	1,14	[Михайлова, 1982]	
—	р. Базавлук, обн. 44, 45, 28	3/27	23/72	7	113	74	83	ТЧ ₆₀₀ °С, НЧ ₇₀ мТл	2	90	0,04	[Михайлова, 1982]	
1700—2000	Мигматиты серовато-розовые (с. Александрійская Звенигородка, обн. 27)	21	—	—	—	—	—	ЕОН	37	710	0,15	[Савенко, 1969]	
													Плаггиомигматиты темносерые (с. Дериевка, обн. 38)
2857±20**	Граниты красные и серые (ст. Ток, обн. 16)	93	95/65	43,2	2,0	—	—	ТЧ ₃₀₀ °С	62	941	0,17	[Савенко, 1969]	
1700—2000	Граниты розовато-серые (с. Подстепное, обн. 17)	31	75/58	18,3	3,5	—	—	ЕОН	47	194	0,39	[Савенко, 1969]	
													Плаггиограниты (с. Кудеволовка (обн. 42), с. Мишурип Рог (обн. 43))
2976-3120±10**	Плаггиограниты (ст. Кайдаки, обн. 46)	1/11	216/57	7	43,5	-1	187	ТЧ ₆₀₀ °С, НЧ ₁₀₀ мТл	700	2020	0,9	[Савенко, 1969]	
													Граниты розовато-серые (с. Бородаевка, обн. 44)
2976-3120±10**	Плаггиограниты серые (с. Гаромское, обн. 45)	25	358/80	10,9	9,1	—	—	ЕОН	355	1660	0,57	[Савенко, 1969]	
													Мигматиты розовато-серые (с. Волосское, обн. 47)
2976-3120±10**	Граниты розовато-серые (с. Бородаевка, обн. 44)	18	137/56	16,8	5,2	—	—	ЕОН	48	303	0,21	[Савенко, 1969]	
													Мигматиты розовато-серые (с. Волосское, обн. 47)
2976-3120±10**	Плаггиограниты серые (с. Гаромское, обн. 45)	19	133/73	13,7	7,8	—	—	ЕОН	390	1590	0,47	[Савенко, 1969]	
													Мигматиты розовато-серые (с. Волосское, обн. 47)

495, 870?	Диабаз (р. Кальмиус, обн. 95)	1/4	242-3	9	18	24	145	T _Ч ^{600°С} , НЧ _{10мТл}	212	515	1,02	[Михайлова и АР., 1989]
580	Диабаз (р. Кальмиус, обн. 53, 57)	2/7	206/-1	19	10	44	171		—	—	—	
580	Диабазовый порфирит (р. Кальмиус, с. Гранитное, обн. 119)	1/7	246/28	31	2	4	154	T _Ч ^{600°С} , НЧ _{10мТл}	2010	4040	1,26	[Михайлова и АР., 1989]
550—600	Диабазовый порфирит (р. Кальмиус, с. Ст. Ласпа, обн. 94)	1/4	246/38	16	13	9	159		75	175	0,96	
495	Диабаз, р. Кальмиус (б. Кашурка, обн. 91)	1/7	242/-13	9	18	-24	325		1280	3385	0,76	
1010—1050	Лампрофир (р. Кальчик б. Грузская, обн. 285)	2/8	18/5	9	35	42	194	T _Ч ^{600°С} , НЧ _{70мТл}	1660	4000	1,24	[Михайлова, 1982]
1000—1080	Диабазовый порфирит (р. Кальчик, обн. 122, 123)	1/7	25/21	10	22	48	179		29	77	0,46	
1050	Лампрофир (р. Кальчик, обн. 114)	2/4	17/33	5	82	57	189	T _Ч ^{600°С} , НЧ _{12мТл}	80	310	0,58	
1125	Диабазовый порфирит (обн. 46)	1/1	189/-8	12	36	47	203		—	—	—	[Михайлова и АР., 1989]
	Кварцевый порфир (р. Каратыш, обн. 265—267)	1/4	320/32	10	14	44	277		—	—	—	
	Кварцевый порфир (р. Каратыш, с. Украинка, обн. 271, 272)	2/13	27/4	6	53	38	182		9	50	0,37	[Михайлова, 1982]
	Кварцевый порфир (р. Каратыш, с. Екатеринаовка, обн. 273)	2/8	27/21	12	23	47	178		2	45	0,27	
1200—1220	Кварцевый порфир (р. Кальчик, с. Екатеринаовка, обн. 277, 331)	1/10	207/16	15	12	-29	7	T _Ч ^{600°С} , НЧ _{10мТл}	2	45	0,27	
	Кварцевый порфир (р. Кальчик, с. Малая Янисоль, обн. 306)	2/3	186/-12	10	41	48	209		8	50	0,35	[Михайлова и АР., 1989]
	Кварцевый порфир (р. Кальчик, с. Малая Янисоль, обн. 305)	1/2	353/16	9	81	51	228		8	50	0,35	
	Кварцевый порфир (р. Кальчик, с. Малая Янисоль, обн. 305)	1/3	55/-11	12	6	19	158		—	—	—	

Окончание табл.

Изотопный возраст, млн лет	Объект изучения	Количество образцов/обнажений	Направление остаточной намагниченности, град D/I	α_{95} , град	K	Геомагнитный полюс		Лабораторный способ выделения ислоннея арвенейк ламитни-чепноннея	$I_n \cdot 10^{-3}$, А/м	$\chi \cdot 10^{-5}$, ед. СИ	Q_n	Публикации
						Ф с.п., град	Л в.д., град					
1200—1220	Кварцевый порфир (р. Кальчик, с. Малая Янисоль, обн. 307)	1/1	11/9	3	168	47	203	ТЧ _{600°С} , НЧ _{10мТл}	80	310	0,58	[Михайлова, 1982]
		1/13 1/4	18/15 53/-33	3 6	156 48	47 9	194 167					
1235—1250	Диабаз (р. Обиточная, х. Козы, обн. 155, 156)	1/5	320/-24	15,6	8	28	95	ТЧ _{600°С} , НЧ _{10мТл}	732	1820	0,66	
		2/23	25/-5	6	33	40	185					
1335	Диабаз (р. Каратыш, с. Малая Янисоль, обн. 138, 140)	1/4	38/19	19	24	41	165	ТЧ _{600°С} , НЧ _{10мТл}	40	155	0,84	
		1/2	225/-6	20	10	31	163					
1340—1350	Диабаз (р. Каратыш, с. Стародубовка, обн. 145)	1/2	50/37	4	131	39	146	ТЧ _{600°С} , НЧ _{10мТл}	12	125	0,25	[Михайлова и др., 1989]
		1/4	23/42	8	26	57	177					
1340—1350	Диабаз (р. Каратыш, с. Стародубовка, обн. 147)	1/8	41/2	8	9	33	168	ТЧ _{600°С} , НЧ _{10мТл}	530	1180	1,25	
		1/3	20/-37	10	9	23	197					
1340—1350	Диабаз (р. Каратыш, с. Белоцерковка, обн. 150)	1/2	44/28	8	32	41	154	ТЧ _{600°С} , НЧ _{10мТл}				
		1/4	215/-37	10	11	50	161					

1750	Гранит (Каменные Могила, обн. 182, 326, 327)	3/	208/-4	4	41	48	175	ТЧ _{400°С} НЧ _{10МПа}	—	—	—	Михайлова и др., 1989]
	Пироксениты (Октябрьский щелочной массив, р. Кальчик)	/46	201/13	9	10	32	186		1500	3000	1,0	[Михайлова, Глевасская, 1965]
2000	Монцитовый порфирит, (х. Драгунский, обн. 367)	1/15	222/-55	10	14	53	146	ТЧ _{400°С} НЧ _{10МПа}	21,9	35,6	1,2	[Михайлова и др., 1989]
	Габбро-диабаз (обн. 357)	1/6	222/46	23	6	50	152		27,5	2,7	11,61	
	Метаультрабазит (обн. 358)	5	290/67	15	5	36	319		422	6206	0,15	
	Метаультрабазит (обн. 354)	3	316/56	7	65	52	301		3506	27539,	0,27	
	Метаультрабазит (обн. 340)	4	329/6	8	37	38	257		422	6206	0,15	
2000—2300	Габбро-диабаз (р. Обиточная, обн. 357)	1	148/47	6	72	15	247	ТЧ _{400°С}	30	—	—	[Савенко, 1969]
	Диабаз Граниты с. Гранитное, (р. Обиточная с. Гранитное, обн. 342)											
2000—2300	Граниты серые, биогитовые, г. Салтычья Могила, обн. 39)	1/34	257/74	3,4	—	—	—	ЕОН	90	—	—	
	Граниты серовато-розовые г. Токмак Могила, обн. 40)	1/24	45/71	5,2	—	—	—					

Примечание: D/I — склонение и наклонение вектора естественной остаточной намагниченности в современной системе координат; J_n — естественная остаточная намагниченность (ЕОН); χ — магнитная восприимчивость; Q_n — отношение Кенигсбергера ($Q=J_n(\chi H_n)$); K — кучность, определяющая степень ориентации векторов; α_{95} — радиус круга доверия при вероятности $p=0,95$; * — из работы [Щербак и др., 2008]; ** — из работы [Щербак и др., 2005].

Эти направления и их статистические характеристики приведены на рис. 5—10.

Волынский мегаблок. По лабораторным, а также минералогическим критериям анортозиты, габбро-анортозиты и габбро Коростенского плутона пригодны для изучения палеомагнитным методом [Михайлова, Глевасская, 1965]. В этих породах преобладает магнитно-образная однокомпонентная, в некоторых образцах биполярная, намагниченность термоостаточного происхождения.

Статистический анализ распределения направлений ЕОН образцов анортозитов, габбро-анортозитов и габбро в 39 обнажениях Володарск-Волынского массива (данные о направлениях векторов J_n взяты из отчета [Ми-

хайлова, Глевасская, 1962]) показал, что средние величины параметров $K_{cp}=6,14$ и $\alpha_{95cp}=31^\circ$ не соответствуют приемлемым, допустимым для палеомагнитных направлений в пределах обнажений горных пород. Минимально приемлемыми для палеомагнитных направлений в пределах одного обнажения принято рассматривать $K>30$ (степень разброса единичных направлений по отношению к среднему) и $\alpha_{95}<15^\circ$ (доверительный интервал) [Храмов, Шолпо, 1967; Палеомагнитология..., 1982; Butler, 1992].

Среднее значение дисперсии векторов ЕОН в рассмотренных нами обнажениях анортозитов и габбро составляет $\psi_{63cp}=32,7^\circ$.

Подавляющее большинство образцов из этих обнажений были повторно измерены через 15

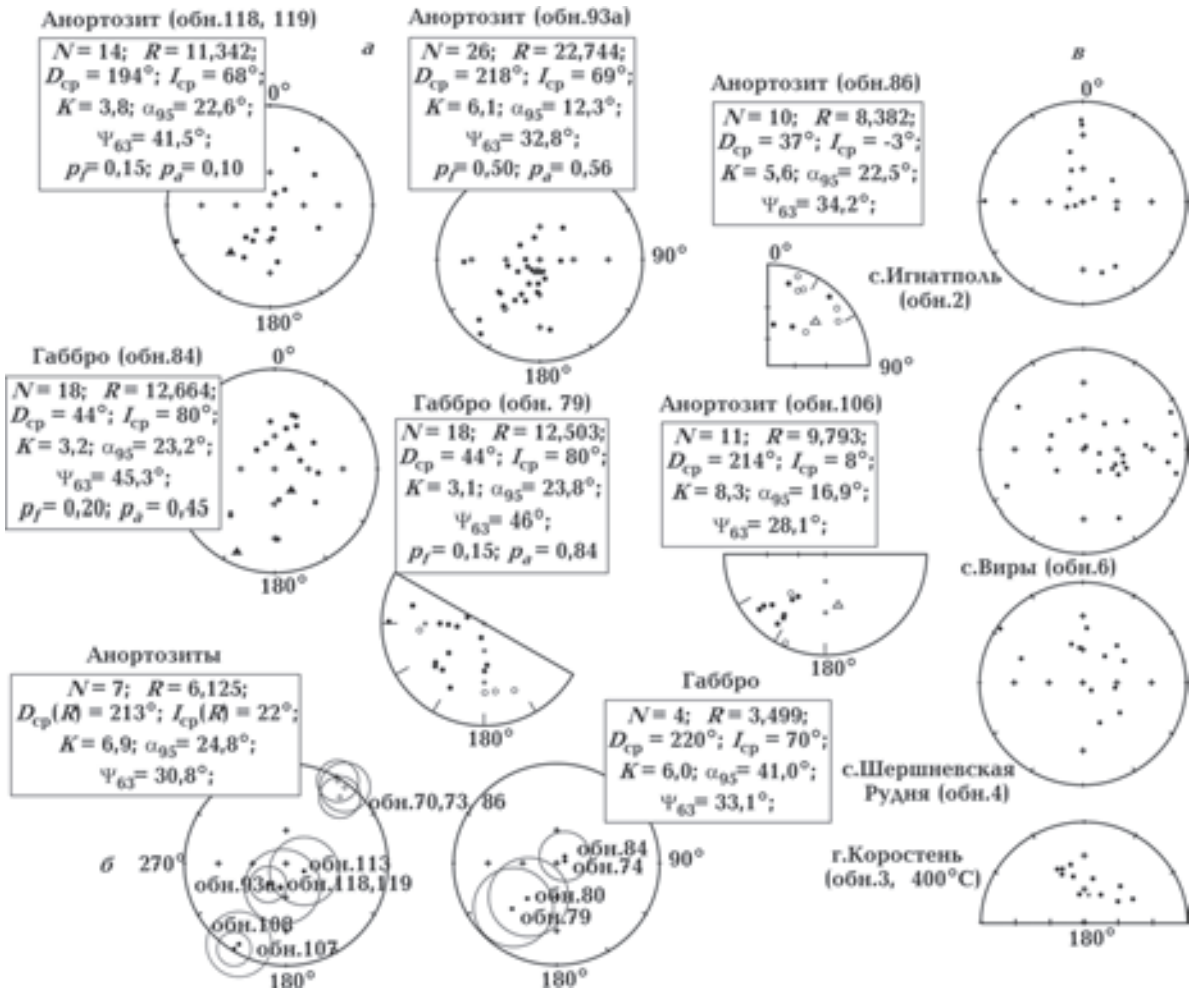


Рис. 5. Проекция направлений ЕОН в современной системе координат образцов анортозитов и габбро в пределах изученных обнажений Володарск-Волынского массива (а). Залитые кружки — проекции векторов J_n на нижнюю полусферу, полые — на верхнюю. Направления характерных компонент отмечены треугольниками; б — средние направления в обнажениях анортозитов и габбро (с α_{95}); в — распределение направлений ЕОН гранитоидов. В таблицах приведены статистические параметры, а также оценки уровней значимости p_f и p_a соответствия распределения векторов распределению Фишера.

лет и показали хорошую согласованность векторов J_n по направлению [Михайлова и др., 1994б].

На рис. 5, а приведены распределения векторов ЕОН и их статистические характеристики из обнажений Володарск-Волынского массива, в единичных образцах которых по результатам комплексных лабораторных исследований [Михайлова и др., 1994б] была установлена магнитностабильная однокомпонентная намагниченность с термоостаточным происхождением.

В пределах обнажений значения p_f и p_a указывают на то, что распределения ветров J_n не соответствуют фишеровскому.

Дисперсия направлений ЕОН между обнажениями анортозитов составляет $\psi_{63cp}=30,8^\circ$ и габбро — $\psi_{63cp}=33,1^\circ$, что превышает допустимый уровень дисперсии палеомагнитных направлений между обнажениями (диапазон дисперсии $10^\circ < S < 25^\circ$ является «нормальным» для ряда обнажений), который полноценно охватывает вековую вариацию [Кокс, Долл, 1963; Butler, 1992].

Аналогичные распределения направлений ЕОН наблюдаются и в обнажениях гранитоидов Коростенского плутона (рис. 5, в), изученных [Савенко, 1969] и признанных пригодны-

ми для изучения палеомагнитным методом.

Дайки диабазовых порфиритов Коростенского плутона, по данным [Михайлова и др., 1994б], имеют сложную намагниченность и нами не анализировались.

Также не соответствуют условию однородности и распределения направлений ЕОН в обнажениях вулканитов рифейско-вендской трапповой формации (540—560 млн лет) $p_f=0,35$ и $p_a=0,60$ (рис. 6, а). Средние значения параметров распределения векторов следующие: $K=12,6$; $\alpha_{95}=5,8^\circ$; $\psi_{63}=22,9$. Согласно результатам лабораторных исследований [Глевасская и др., 2000], ЕОН базальтов однокомпонентна и имеет термоостаточную природу. Дисперсия средних направлений ЕОН между обнажениями $\psi_{63}=22,1^\circ$ (рис. 6, б).

Ингульский мегаблок. В пределах Корсунь-Новомиргородского плутона исследования магнитной стабильности и происхождения дали картину, типичную для основных пород Коростенского плутона: анортозиты характеризуются однокомпонентной намагниченностью термоостаточного происхождения, иногда с небольшой долей вязкой компоненты [Михайлова, Глевасская, 1965, Михайлова и др., 1994б]. Естественная остаточная намагничен-

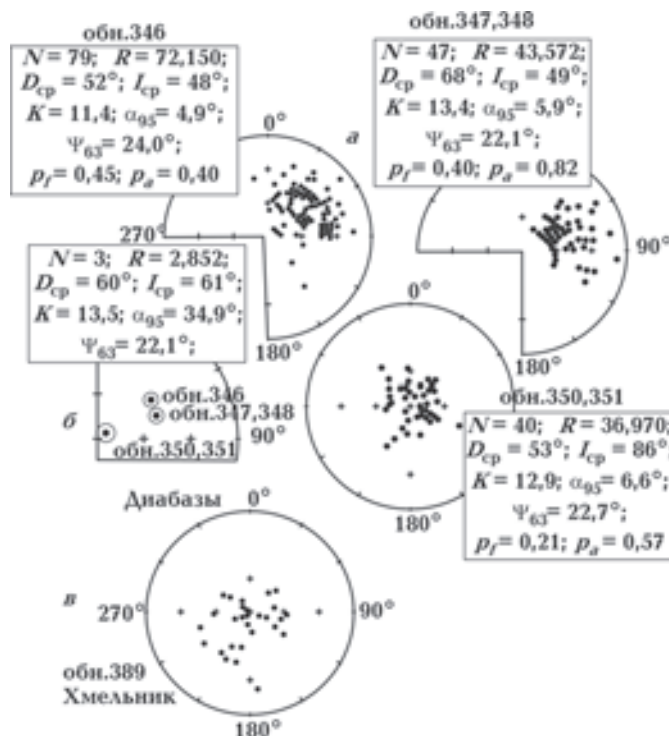


Рис. 6. Стереографические проекции распределений направлений ЕОН в современной системе координат образцов в обнажениях базальтов Вольно-Полесского вулcano-плутонического пояса (а); средние направления между обнажениями базальтов (б); распределения направлений ЕОН диабазов г. Хмельника (в).

ность габброидов также имеет термоостаточное происхождение и, как правило, двойную полярность (N и R).

Статистический анализ распределения направлений ЕОН образцов анортозитов и габбро в пределах обнажений показал, что параметры $K_{cp}=8,45$, $\alpha_{95cp}=13,45^\circ$ и $\psi_{63cp}=32,4^\circ$ пород различного петрографического состава близки к установленным в обнажениях Коростенского плутона. Оценки уровней значимости $p_{fcp}=0,35$ и $p_{accp}=0,60$ не соответствуют распределению Фишера (рис. 7, а, б). Значительная дисперсия внутри обнажений ($\psi_{63}=41,1^\circ$) характерна также и для направлений стабильных компонент намагниченности, выделенных нами по результатам t- и h-размагничиваний с помощью программы IAPD [Torsvik, 1986] (рис. 7, в, г). Средние направления ЕОН в обнажениях анортозитов и габбро (рис. 7, д) имеют дисперсию $\psi_{63}=44,0^\circ$.

В пределах Ингульского мегаблока [Михайлова, Карзанова, 1977; Михайлова, 1979] исследовались дайковые породы, развитые в бассейне р. Ингул. Эти породы синхронны образованиям коростенского комплекса [Савченко и др., 1984]. Направления намагниченности ЕОН образцов в пределах обнажений диабазов (обн. 12, 13, 15 (46)) и лампрофиров (обн. 14) также довольно сильно рассеяны, хотя лабораторные исследования указывают на высокую магнитную стабильность этих пород. На рис. 8, а показано, что векторы стабильных компонент единичных образцов сохраняют начальное направление ЕОН, но в пределах обнажений и между обнажениями эти направления не согласуются. Средние значения параметров рассеяния векторов для даек различного петрографического состава: $K_{cp}=16,2$; $\alpha_{95cp}=12,0^\circ$; $\psi_{63cp}=26,2^\circ$. Оценки уровней значимости в пределах обнажений $p_{fcp}=0,62$ и

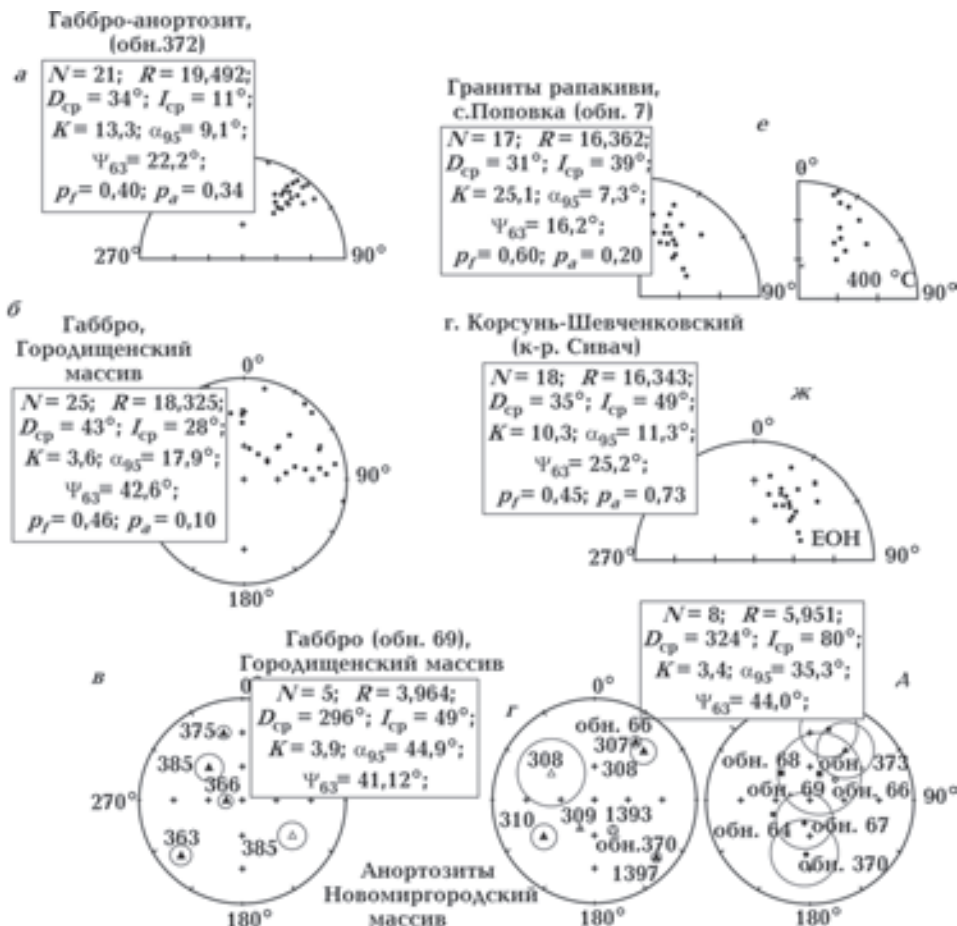


Рис. 7. Распределения направлений ЕОН образцов анортозитов (а) и габбро (б) в пределах обнажений Корсунь-Новомиргородского плутона в современной системе координат. Направления стабильных компонент намагниченности по результатам t- и h-размагничиваний анортозитов (в) и габбро (г). Средние направления ЕОН из обнажений анортозитов и габбро (д). Распределения направлений ЕОН гранитоидов (рис. 7, е, ж).

$p_{a\text{ ср}}=0,63$ свидетельствуют о не соответствии распределению Фишера.

Граниты с. Сабово (обн. 23) обладают однокомпонентной намагниченностью термоостаточного происхождения [Савенко, 1969]. Результаты статистического анализа направлений следующие: $K=9,5$; $\alpha_{95}=9,7^\circ$; $\psi_{63\text{ ср}}=26,3^\circ$, оценки уровней значимости ($p_f=0,67$; $p_a=0,88$) свидетельствуют о неоднородности распределений векторов J_n гранитов с. Сабово.

Среднеприднепровский мегаблок. По результатам комплексных лабораторных и минералогических исследований были получены убедительные доказательства однокомпонентности и термоостаточной природы ЕОН в образцах из даек диабазов р. Базавлук (обн. 22, 25, 26, 28, 28а, 29, 31, 31а) с абсолютным возрастом 2090 млн лет [Михайлова, Карзанова, 1977; Михайлова, 1979].

«Наиболее информативны магнитные диабазы, первичная остаточная намагниченность которых большей частью однокомпонентна и образовалась при температуре выше 500°C . Это магнитостабильные породы. Их минералогический признак: присутствие в аншлифах высокотемпературно окисленного титаномаг-

нетита с продуктами высокотемпературного окисления — титаномагнетитом, гематитом, рутилом. Время окисления синхронно этапу охлаждения диабаз из магматического расплава, магнитный признак — высокие Q_n , направление вектора I_n существенно отличается от направления современного геомагнитного поля. У пород с такими признаками для палеореконовструкций на основе палеомагнитных данных в большинстве случаев может использоваться направление естественной остаточной намагниченности» [Михайлова, 1979, с. 83].

Несмотря на то что лабораторные данные указали на синхронность намагниченности породе, по результатам статистического анализа распределение ЕОН всех образцов в пределах дайки (обн. 22) не соответствует условию однородности ($p_f=0,25$; $p_a=0,11$) и характеризуются значительной дисперсией ($K=6,3$, $\alpha_{95}=10,0^\circ$ и $\psi_{63}=32,3^\circ$) (рис. 9, а). Дисперсия средних направлений векторов ЕОН между обнажениями (обн. 22, 25, 26, 28, 28а, 29, 31, 31а) диабазов реки Базавлук также значительна — $\psi_{63}=37,3^\circ$ (рис. 9, б).

Аналогичные оценки параметров распределения направлений ЕОН и уровней зна-

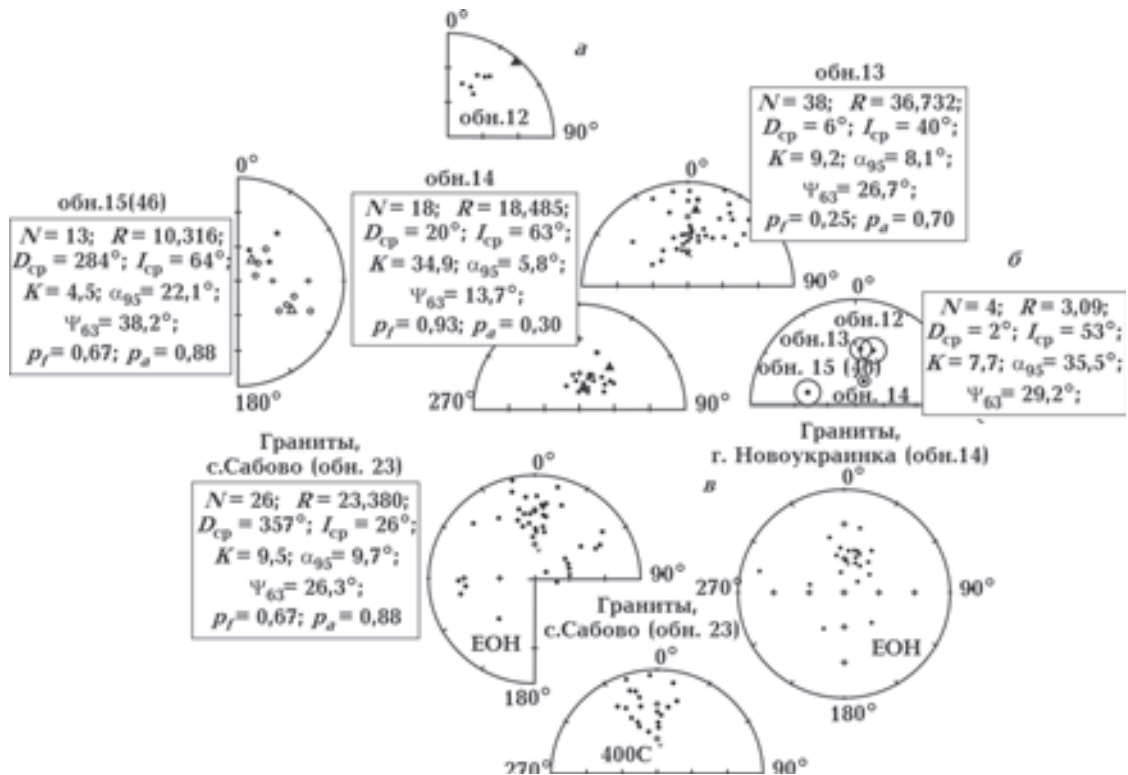


Рис. 8. Распределения направлений ЕОН образцов в пределах даек диабазов и лампрофиров реки Ингул (а), (направления стабильных компонент намагниченности по результатам t- и h-размагничиваний на стереограммах отмечены треугольниками); средние направления между обнажениями диабазов и лампрофиров (б); распределения направлений ЕОН образцов гранитоидов (в).

чимости p_f и p_a (несоответствующие условию однородности) получены нами в пределах даек диабазов, расположенных в Криворожско-Кременчугской зоне разломов и признанных пригодными для палеомагнитных исследований (обн. 62, $p_f=0,40$ и $p_a=0,05$ и обн. 84, $p_f=0,05$ и $p_a=0,05$; рис. 9, а).

Подобная картина наблюдается и в интрузивных породах (гранитах), изученных [Савенко, 1969] в обнажениях, расположенных на значительном расстоянии друг от друга вдоль правого берега р. Днепр от с. Мишуриин Рог до г. Запорожье (обн. 42—47) (рис. 9, в). Граниты в окрестностях с. Куцеволовка (обн. 42,

$K=8,8$; $\alpha_{95}=10,8^\circ$; $\psi_{63}=27,3^\circ$), с. Мишуриин Рог (обн. 43, $K=8,6$; $\alpha_{95}=16,5^\circ$; $\psi_{63}=27,6^\circ$), а также часть коллекции образцов Токовского массива, в намагниченности которых преобладает магнитностабильная однокомпонентная составляющая, признаны пригодными объектами для палеомагнитных исследований [Савенко, 1969; Глевасская и др., 1970].

Остаточная намагниченность мигматитов (обн. 27, 28), по данным [Савенко, 1969], определяется в основном индуктивной составляющей и не пригодна для палеомагнитного изучения.

Приазовский мегаблок. На территории Приазовского мегаблока УЩ по результатам

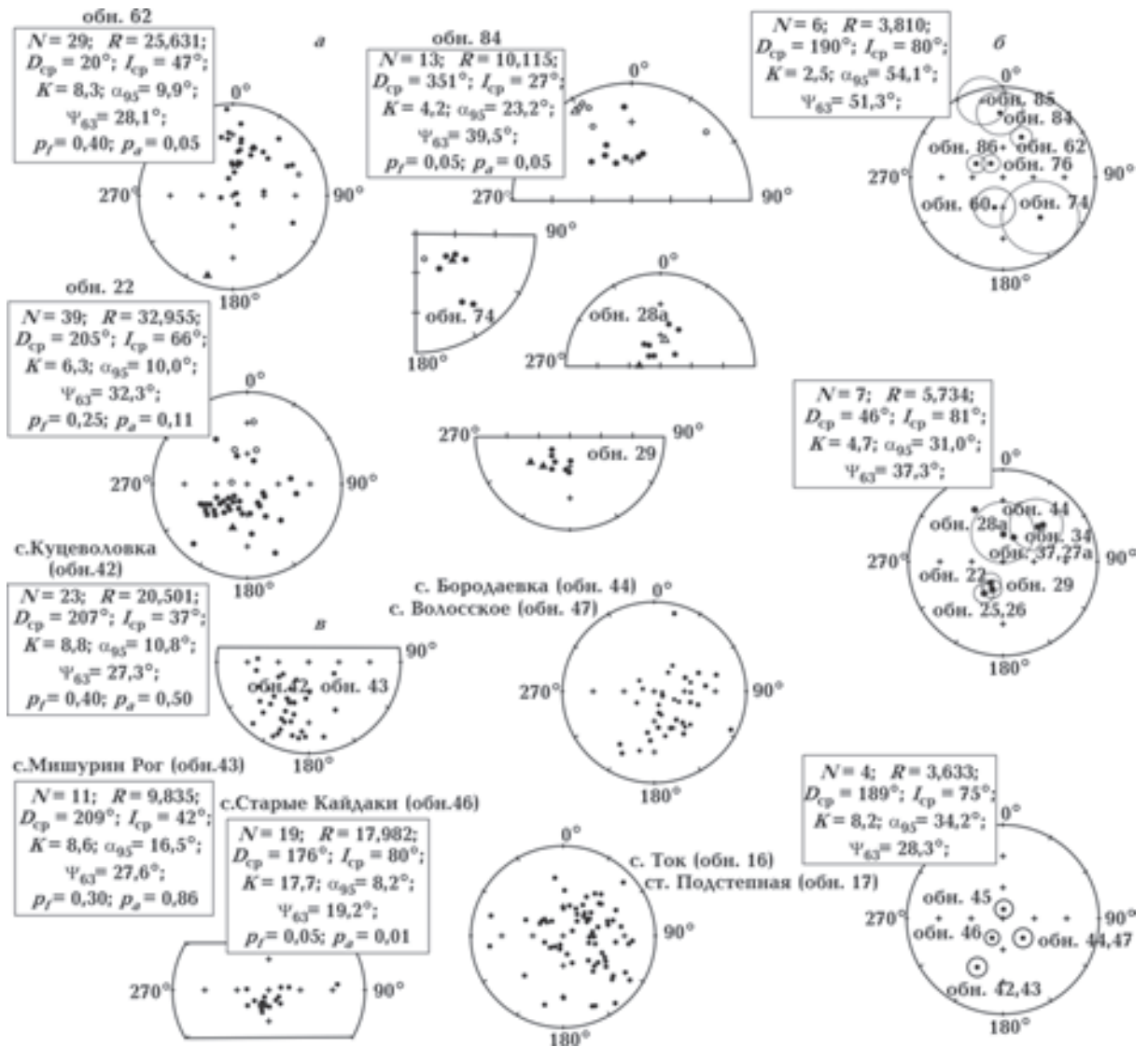


Рис. 9. Стереографические проекции векторов ЕОН образцов в пределах обнажений (даек) диабазов р. Базавлук (обн. 22, 25, 26, 28, 28а, 29, 31, 31а) и Криворожско-Кременчугской зоны разломов (обн. 62,74,84) в современной системе координат (а); распределение средних направлений (α_{95}) в изученных обнажениях (б); распределения направлений ЕОН образцов гранитоидов районов Мишуриин Рог — Запорожье (обн. 42—47), а также ст. Подстепная и Ток (обн. 16, 17) (в).

лабораторных исследований [Михайлова, Глевасская, 1965; Михайлова, 1965] магнитостабильная однокомпонентная намагниченность термоостаточного происхождения была установлена в габбро-диабазовых (обн. 357, 361), пироксенитах Октябрьского щелочного массива и монцитонитовых порфиритах (обн. 367).

Результаты статистического анализа показали, что распределение векторов ЕОН внутри обнажений пироксенитов, монцитонитов и габбро-диабазов не соответствует условию однородности и характеризуется значительной дисперсией. Статистические параметры распределения направлений индивидуальных

образцов из этих групп пород приведены в таблице на рис. 10, а.

Значительное место среди исследованных в пределах Приазовского мегаблока УЩ пород занимают метастабильные (преимущественно с двухкомпонентной намагниченностью), одна из компонент которых направлена по современному магнитному полю.

На рис. 10, б показаны распределения средних направлений характерных компонент (с доверительным интервалом α_{95}), выделенных в результате размагничивания ЕОН пород переменными магнитными полями и температурами. Дисперсия средних направлений характер-

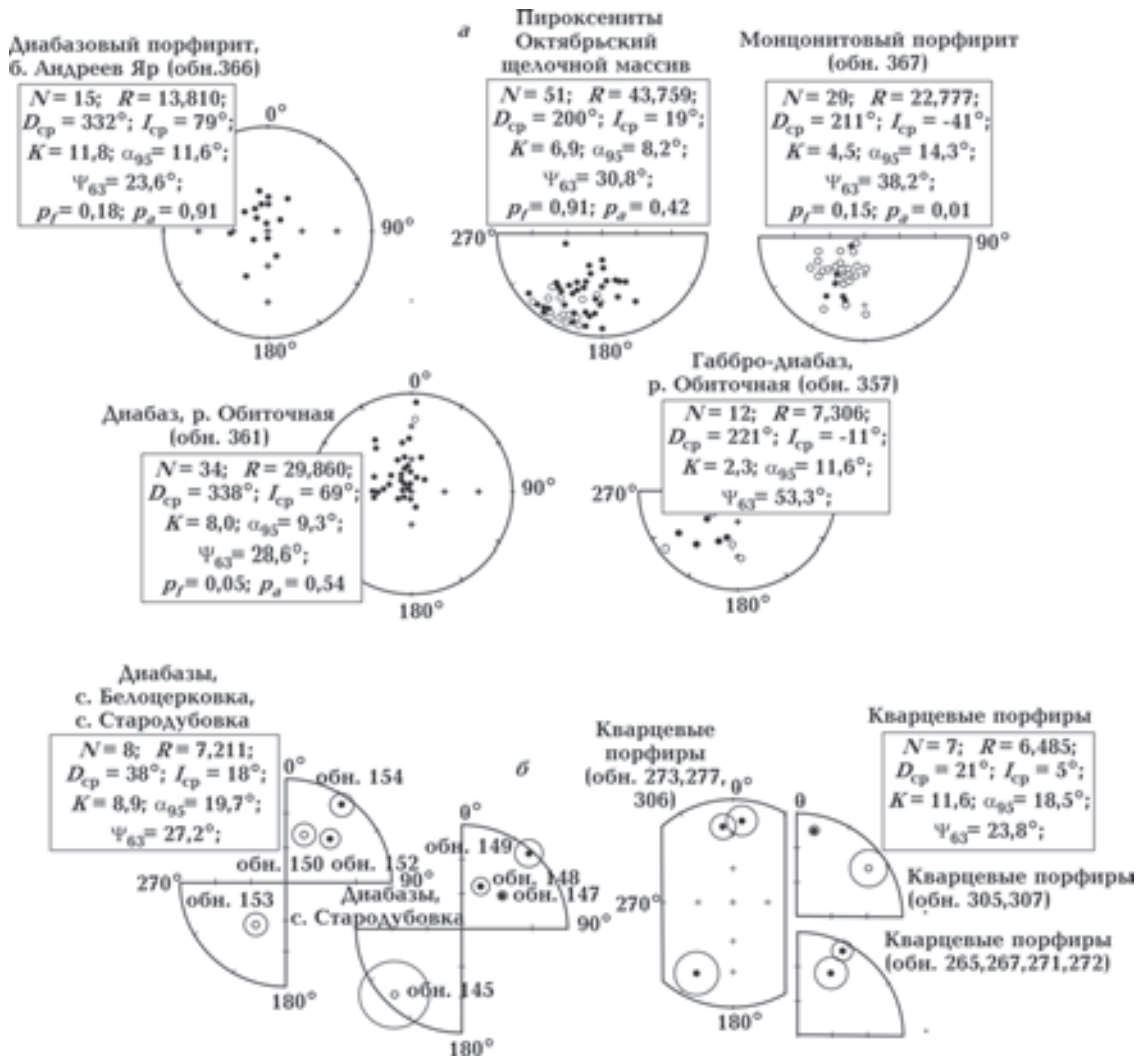


Рис. 10. Распределения направлений ЕОН образцов в современной системе координат, изученных на территории Приазовского мегаблока УЩ (а); распределения средних направлений характерных компонент (с α_{95}), выделенных в результате размагничивания ЕОН пород переменными магнитными полями и температурами (б).

ных компонент образцов из даек кварцевых порфиров, изученных [Михайлова, 1982; Михайлова и др., 1989] в обнажениях по р. Кальчик (обн. 273, 277, 331, 305—307) и р. Каратыш (обн. 265—267, 271, 272) абсолютный возраст которых 1200—1220 млн лет в среднем составляет $\psi_{63}=23,8^\circ$. Также значительно рассеяны ($\psi_{63}=27,2^\circ$) средние векторы в обнажениях диабазов, расположенных в районе с. Стародубовка (обн. 145—149) и с. Белоцерковка (обн. 150—153) (абсолютный возраст 1340—1350 млн лет).

Выводы. Проведенный статистический анализ распределения направлений ЕОН в пределах и между обнажениями разнообразных по возрасту, составу и происхождению кристаллических пород УЩ показал, что:

- повсеместно в пределах обнажений пород с синхронной (по лабораторным и минералогическим критериям) намагниченностью векторы J_n распределены не однородно по отношению к современной плоскости горизонта;
- практически во всех изученных обнажениях кристаллических пород УЩ величина дисперсии векторов J_n в среднем $\psi_{63}=31,5^\circ$, что превышает уровень, допу-

- стимый для палеомагнитных данных;
- дисперсия направлений ЕОН между обнажениями габбро и анортозитов Коростенского и Корсунь-Новомиргородского плутонов в среднем $\psi_{63}=37,3^\circ$, что значительно превышает допустимый уровень дисперсии между обнажениями пород, период охлаждения которых выше, чем период вековой вариации ($\leq 10^5$ лет).

Известно, что на любом участке земной поверхности все изменения палеомагнитного поля, кроме тех, которые обусловлены изменениями и обращениями магнитного поля Земли (инверсии поля и колебания его напряженности), являются следствием только поворотов и перемещений этого участка [Храмов, Шолпо, 1967]. Не исключая возможного влияния древних локальных магнитных аномалий, с нашей точки зрения, наиболее вероятным генератором регулярной и значительной дисперсии векторов ЕОН в пределах рассмотренных обнажений докембрийских кристаллических пород УЩ является локальная тектоника, вызвавшая переориентацию в пространстве положения поверхности первоначального намагничивания пород.

Список литературы

- Бахмутов В. Г., Иосифиди А. Г. Палеомагнетизм палеопротерозойских магматических пород Украинского щита: Тез. докл. междунар. научн.-практ. конф. «Стратиграфия, геохронология и корреляция нижнедокембрийских породных комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы». — Киев: УкрГГРИ, 2010. — С. 25—27.
- Большаков А. С., Щербакова В. В. Терромагнитный критерий определения доменной структуры ферромагнетиков // Изв. АН СССР. Физика Земли. — 1979. — № 2. — С. 38—47.
- Буров Б. В., Ясонов П. Г. Введение в дифференциальный терромагнитный анализ горных пород. — Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 1979. — 160 с.
- Геологическая карта докембрийских образований Украинского щита. — 1:1000 000 / Под ред. Н. П. Щербака, Д. Ф. Володина. Составили: В. М. Клочков, Ю. К. Пийяр, А. Г. Ролик, Д. А. Сидорова, В. Н. Соловицкий. Карта подготовлена по материалам организаций Мингео УССР; ПГО «Кировгеология», АН УССР. Мин. геол. Укр. ССР Центральная тематическая экспедиция. — 1984.
- Глевасская А. М. Магнитные минералы и магнетизм вулканитов. — Киев: Наук.думка, 1983. — 208 с.
- Глевасская А. М., Кравченко С. Н. Трапповая форма-ция Вольно-Подоллии: палеомагнитные данные / ИГН АН Украины; 93-1. — Препр. — Киев, 1993. — 37 с.
- Глевасская А. М., Карзанова А. Я., Кравченко С. Н. Магнитно-минералогические критерии палеомагнитной информативности докембрийских пород: Сб. науч. тр. Палеомагнетизм докембрия и раннего палеозоя. — Киев: Наук. думка, 1992. — С. 16—26.
- Глевасская А. М., Михайлова Н. П., Кравченко С. Н. Палеомагнетизм вольнской и могилев-подольской серий венда юго-западной части Восточно-Европейской платформы // Геофиз. журн. — 2000. — 22, № 2. — С. 3—18.
- Глевасская А. М., Михайлова Н. П., Савенко Б. Я. Использование магнитных методов для решения частных вопросов геологии изверженных пород // Петрография докембрия Русской платформы: Тр. первого регион. петрограф. совещания по европейской части СССР. — Киев: Наук. думка, 1970. — С. 427—432.
- Кокс А., Долл Р. Обзор явлений палеомагнетизма // Проблемы перемещения материков. — Москва: Изд-во иностр. лит., 1963. — С. 226—317.
- Кравченко С. Н., Михайлова Н. П. Происхождение

- естественной остаточной намагниченности пород габбро-анортозитового комплекса Коростенского плутона (Украинский щит) // Геофиз. сб. АН УССР. — 1978. — **85**. — С. 83—89.
- Круглякова Г. И. Результаты палеомагнитных исследований на Украине // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. — 1961б. — № 11. — С. 1674—1678.
- Круглякова Г. И. Результаты палеомагнитных исследований по Украинскому кристаллическому массиву и прилегающим районам // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. — 1961а. — № 2. — С. 238—244.
- Крутиховская З. А., Пашкевич И. К., Подолянко С. М., Силина И. М., Стебновская Ю. М., Шевченко Т. П. Закономерности распространения дайковых комплексов Украинского щита // Геофиз. сб. АН УССР. — 1976. — **74**. — С. 61—74.
- Лубнина Н. В. Восточно-Европейский кратон от неогархея до палеозоя по палеомагнитным данным: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. — Москва, 2009. — 42 с.
- Минибаев Р. А., Михайлова Н. П., Петрова Г. Н. О происхождении намагниченности диалоговых пироксенитов // Изв. АН СССР. Физика Земли. — 1966. — № 6. — С. 88—92.
- Михайлова Н. П. До питання про магнітність токівських гранітів // Доп. АН УРСР. — 1955. — № 6. — С. 362—365.
- Михайлова Н. П. О магнитной стабильности некоторых изверженных пород Украинского кристаллического щита // Магнетизм горных пород и палеомагнетизм. — Красноярск: Изд-во СО АН СССР, 1963. — С. 135—145.
- Михайлова Н. П. Палеомагнетизм дайкового комплекса центральной части Украинского щита и некоторые вопросы изучения геомагнитного поля докембрия // Геофиз. сб. АН УССР. — 1976. — **73**. — С. 74—87.
- Михайлова Н. П. Палеомагнетизм дайковых образований северо-запада Украины. // Геология Советских Карпат. — Киев: Наук. думка, 1989. — С. 118—127.
- Михайлова Н. П. Палеомагнетизм диабазовых даек и его значение при реконструкции докембрийского вулканизма (на примере Украинского щита) // Глобальные палеовулканологические реконструкции. — Новосибирск: Наука, 1979. — С. 80—86.
- Михайлова Н. П. Параметры магнитной стабильности основных и ультраосновных пород и их связь с минералогическим составом // Настоящее и прошлое магнитного поля Земли. — Москва: Наука, 1965. — С. 176—182.
- Михайлова Н. П. Проблемы палеомагнетизма докембрия (на примере гипабиссального комплекса Украинского щита). — Киев: Наук. думка, 1982. — 203 с.
- Михайлова Н. П., Глевасская А. М. Магнитная характеристика пород основного и ультраосновного комплексов Украинского кристаллического щита (Вольнь): Промежут. отчет. — Киев: Ин-т геофизики АН УССР, 1962. — 96 с.
- Михайлова Н. П., Глевасская А. М. Намагниченность основных и ультраосновных пород Украинского щита. — Киев: Наук. думка, 1965. — 150 с.
- Михайлова Н. П., Карзанова А. Я. О характере метакристаллической намагниченности некоторых докембрийских пород Украинского щита // Геофиз. сб. АН УССР. — 1975. — **64**. — С. 35—42.
- Михайлова Н. П., Карзанова А. Я. Палеомагнитные исследования диабазов Украинского щита (Бассейны рек Ингул, Ингулец, Базавлук): Этапный отчет. — Киев: ИГФ АН УССР, 1977. — 90 с.
- Михайлова Н. П., Кравченко С. Н. Положение Украинского щита в позднем протерозое по палеомагнитным данным // Докл. АН УССР. — 1986. — № 9. — С. 19—22.
- Михайлова Н. П., Глевасская А. М., Цыкора В. Н. Палеомагнетизм вулканогенных пород и реконструкция геомагнитного поля неогена. — Киев: Наук. думка, 1989. — 196 с.
- Михайлова Н. П., Карзанова А. Я., Зубаль Д. А. Магнитные свойства пирротина из докембрийских пород Украинского щита // Докл. АН УССР. — 1980. — № 12. — С. 12—16.
- Михайлова Н. П., Кравченко С. Н., Глевасская А. М. Анортозиты Украинского щита: палеомагнитный аспект // Геофиз. журн. — 1994а. — **16**, № 6. — С. 18—27.
- Михайлова Н. П., Кравченко С. Н., Глевасская А. М. Палеомагнетизм анортозитов. — Киев: Наук. думка, 1994б. — 210 с.
- Михайлова Н. П., Карзанова А. Я., Котловская Ф. И., Шаталов Н. Н. Возможности расчленения и корреляции дайковых образований Украинского щита в свете палеомагнитных и радиоизотопных данных // Геол. журн. — 1985. — **45**, № 6. — С. 38—45.
- 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.
- Молостовский Э. А., Храмов А. Н. Магнитостратиграфия и ее значение в геологии. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1997. — 180 с.

- Палеомагнетизм палеозоя* / Под ред. А. Н. Храмова. — Ленинград: Недра, 1974. — 236 с.
- Палеомагнитология* / Под ред. А. Н. Храмова. — Ленинград: Недра, 1982. — 312 с.
- Петрова Г. Н.* Лабораторная оценка стабильности остаточной намагниченности горных пород. — Москва: Изд-во АН СССР, 1961. — 103 с.
- Савенко Б. Я.* Намагниченность гранитоидов Украинского щита: Рукопись дис. ... канд. геол.-мин. наук / Институт геофизики НАН Украины. — Киев, 1969. — 163 с.
- Савченко Н. А., Бернагская Л. Г., Долгова В. И., Бутурлинов Н. В., Бугаенко В. Н., Семка В. А., Бонгаренко В. Г., Плахотный Л. Г.* Палеовулканизм Украины. — Киев: Наук. думка, 1984. — 252 с.
- Храмов А. Н.* Палеомагнитные исследования на Украине: результаты и перспективы // Геофиз. журн. — 2001. — **23**, № 5. — С. 124—128.
- Храмов А. Н., Шолло Л. Е.* Палеомагнетизм. Принципы, методы и геологические приложения палеомагнитологии. — Ленинград: Недра, 1967. — 251 с.
- Шолло Л. Е.* Использование магнетизма горных пород для решения геологических задач. — Ленинград: Недра, 1977. — 182 с.
- Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М., Пономаренко А. Н.* Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. — Киев: Наук. думка, 2005. — 243 с.
- Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М., Пономаренко А. Н., Шумлянский Л. В.* Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. — Киев: Наук. думка, 2008. — 239 с.
- Butler R. F.* Paleomagnetism. — London: Blackwell Sci. Publ., 1992. — P. 269—291.
- Elming S. A., Mikhailova N. P., Kravchenko S. N.* Palaeomagnetism of Proterozoic rocks from the Ukrainian Shield: new tectonic reconstruction of the Ukrainian and Fennoscandian shields // Tectonophysics. — 2001. — **339**. — P. 19—38.
- Elming S. A., Mikhailova N.P., Kravchenko S. N.* The Consolidation of the East-European Craton: a Palaeomagnetic Analysis of Proterozoic Rocks from the Ukrainian Shield and Tectonic Reconstructions Versus Fennoscandia // Геофиз. журн. — 1998. — **20**, № 4. — С. 71—74.
- Elming S. A., Pesonen L. J., Leino M. A. H., Khramov A. N., Mikhailova N. P., Krasnova A. F., Mertanen S., Bylund G. Terho M.* The drift of the Fennoscandian and Ukrainian shields during the Precambrian: a palaeomagnetic analysis // Tectonophysics. — 1993. — **223**. — P. 177—198.
- Fisher R. A.* Dispersion on a sphere // Proc. Roy. Soc. London. — 1953. — A217. — P. 295—305.
- Kravchenko S. N.* First estimate for the age of a mesoproterozoic palaeomagnetic pole from the Volodarsk-Volynsky massif, the Ukrainian Shield // Stud. Geophys. Geod. — 2005. — **49**. — P. 177—190.
- Mikhailova N. P., Kravchenko S. N.* The late proterozoic position of the Ukrainian Shield from paleomagnetic data // J. Geodynam. — 1987. — **7**, № 1/2. — P. 69—77.
- Torsvik K. T. H.* Interactive analysis of paleomagnetic data. IBM-PC compatible software package. — Bergen: Univ. Bergen, 1986. — P. 6—10.
- Trench A., Torsvik T. H., Walderhaug H., Bluck B. J.* Palaeomagnetic and rock magnetic reliability criteria in ophiolitic rocks: a case study from the Palaeozoic Ballantrae Ophiolite, Scotland // Tectonophysics. — 1990. — **184**. — P. 55—72.
- Zijderveld J. D. A.* A. c. demagnetization of rocks: analysis of results // Methods in paleomagnetism. — Amsterdam: Elsevier publ., 1967. — P. 254—286.