

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ПОРОД ШИЛОССКОЙ СТРУКТУРЫ ЮЖНО-ВЫГОЗЕРСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА, ВОСТОЧНАЯ КАРЕЛИЯ

> 2000 г. Н. А. Арестова¹, Е. Г. Гуськова², А. Ф. Краснова

¹ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн РАН

Поступила в редакцию 16.06.98 г.

Проведено палеомагнитное изучение базальтов и габбро Шилосской зеленокаменной структуры Восточной Карелии, включающее измерение физических свойств образцов, размагничивание образцов переменным магнитным полем, компонентный анализ результатов по диаграммам Зий-дервельда и термомагнитный анализ. По средним направлениям групп стабильных компонент вычислены координаты палеополюсов, которые сравниваются с траекторией кажущейся миграции палеополюса для Балтийского щита в докембрии. Выделено два положения древних палеополюсов, вычисленных по компоненте В. Палеополюс Ш_{В1} расположен в древней части траектории и соответствует метаморфизму пород ~2800 млн. лет. Палеополюс Ш_{В2} по положению на траектории датирован 2500 млн. лет и может быть обусловлен подъемом мощного Балтийского плюма, с которым связывают активное проявление магматизма Балтийского щита. Полученное положение древнего палеополюса для пород Шилосской структуры близко к положению палеополюсов древних даек и гнейсов Водлозерского блока, метаморфизм которых оценивается также ~2850 млн. лет. Очевидно, компонента 2800-2850 млн. лет является наиболее древней выделенной компонентой как для древних пород Водлозерского блока, так и для пород зеленокаменных поясов, обрамляющих блок.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач палеомагнитных исследований является построение и уточнение траектории кажущейся миграции палеомагнитного полюса для Балтийского щита на ранних стадиях развития Земли для последующих тектонических реконструкций. В последнее время в печати появилось несколько сводных работ, посвященных итогам палеомагнитных исследований докембрийских пород Восточной части Балтийского щита [Damm et al., 1997; Храмов и др., 1997; Храмов, 1997]. Одним из наиболее важных результатов этих работ является вывод о необходимости пополнения банка палеомагнитных данных для построения модели, корректно описывающей кинематику блоков Балтийского щита в раннем докембрии [Храмов, 1997]. Особенно мало палеомагнитных данных имеется для наиболее раннего, архейского этапа, что связано со сложностью палеомагнитного изучения пород древних полиметаморфических комплексов.

В связи с этим особый интерес может представлять проведенное палеомагнитное изучение геологически хорошо изученных и надежно датированных архейских пород Шилосской зеленокаменной структуры Восточной Карелии.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ОБЪЕКТА И ОТБОР ОБРАЗЦОВ

Породы Шилосской структуры (рис. 1) обрамляют с северо-запада образования древнего Водлозерского блока, сложенные в основном тоналитами и мигматитами. Их U-Pb возраст по циркону оценивается в 3200-3100 млн. лет. Породы Шилосской структуры представлены метабазами, Sm-Nd возраст которых по породе в целом составляет 2913 ± 30 млн. лет. Метабазальты прорваны небольшими интрузиями и дайками габброидов, интрузией тоналитов Шилосского массива (2859 ± 24 млн. лет, U-Pb возраст по циркону) и дайками риолитов (2807 ± 12 млн. лет, U-Pb возраст по циркону) [Сочеванов и др., 1991; Лобач-Жученко и др., 1999]. Установлена синхронность магматизма и метаморфических процессов в пределах Водлозерского блока и обрамляющих его поясов. Анализ первичных структур вулканитов, взаимоотношений потоков, а также анализ минеральных ассоциаций и составов минералов, слагающих базиты, показал, что породы сложно деформированы и метаморфизованы. Метаморфизм пород достигал условий эпидот-амфиболитовой фации умеренных давлений, что соответствует интервалу температур 500-520°C и превышает температуры точки Кюри ряда ферромагнитных минералов. Метаморфизм и дефор-

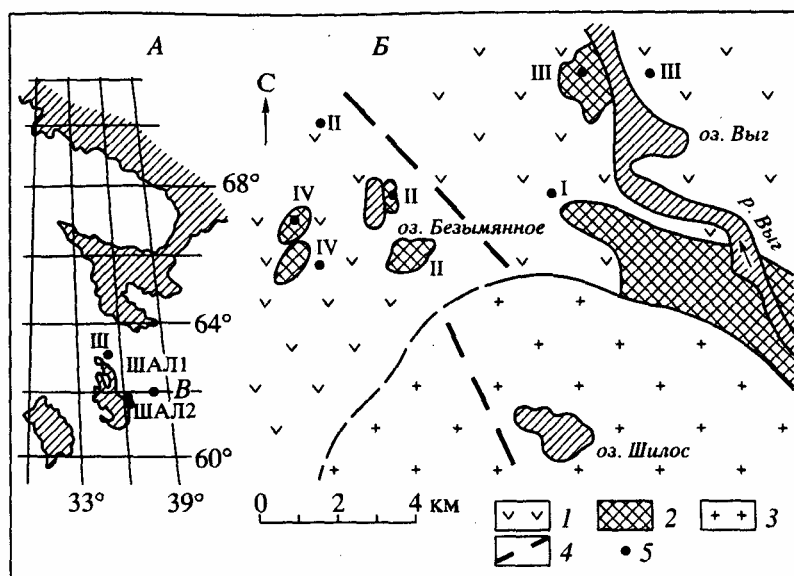


Рис. 1. А: Схема расположения Шилосской структуры (Ш) и пород древнего Водлозерского блока (В – гнейсы среднего течения р. Водла; Шал 1 – габбро-амфиболиты ранней дайки; Шал 2 – гнейсы р-на пос. Шальский) на территории Карелии. Б.: Схема геологического строения Шилосской структуры (по [Любач-Жученко и др., 1999]): 1 – базальты, 2 – габбро, 3 – тоналиты Шилосского массива, 4 – разлом, 5 – точки отбора образцов для палеомагнитных исследований. I, II, III, IV – номера обнажений базальтов и габбро.

мации первичных структур базальтов отвечали этапу внедрения интрузии Шилосских тоналитов, и, возможно, даек кислых вулканитов.

Основные вулканиты в настоящее время представляют собой мелкозернистые породы, сложенные кислым плагиоклазом, эпидотом, хлоритом и

зеленой или бледно-зеленой роговой обманкой, ферримагнитным минералом и лейкоксенном. Габбро сходны с базальтами по составу; они представляют собой более крупнозернистые породы, сохраняют реликты диабазовой и габбро-диабазовой структуры, сложены роговой обманкой с

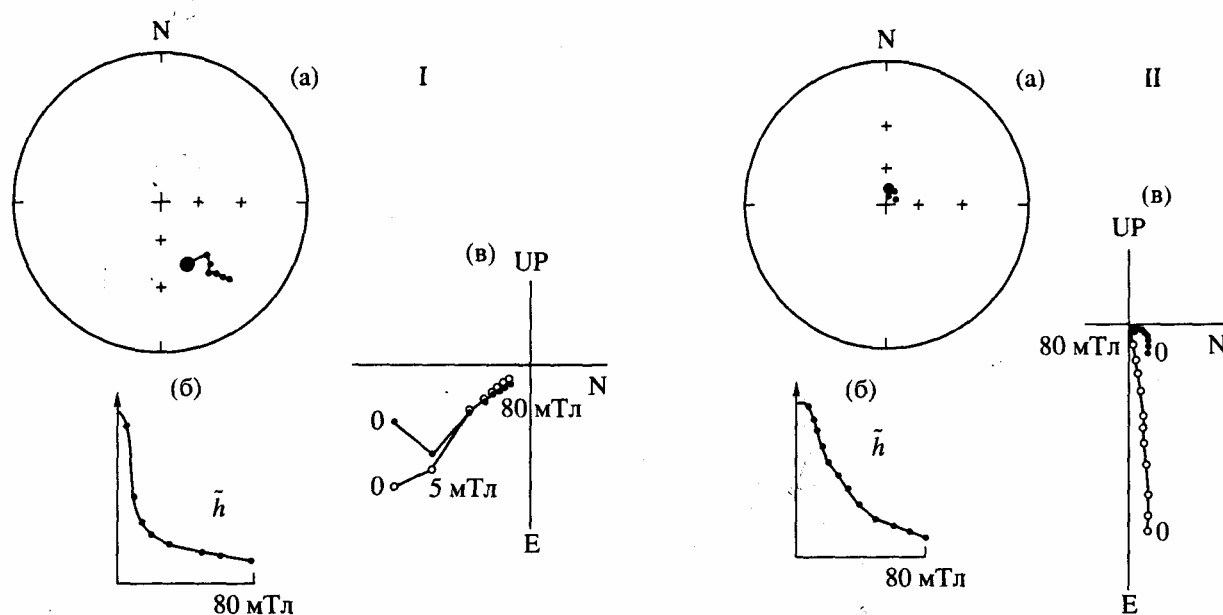


Рис. 2. Пример компонентного анализа естественной остаточной намагниченности J_n базальта (I) и габбро (II). Изменения J_n в процессе размагничивания представлены в виде стереопроекции (а), графика изменения величины J_n (б) и диаграммы Зийдervельда (в); полые и зачерненные кружки – проекции вектора J_n на горизонтальную и вертикальную плоскости соответственно.

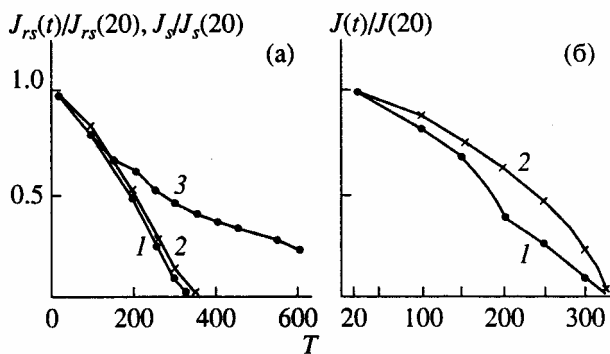


Рис. 3. Термомагнитный анализ образца габбро: (а) 1 – остаточная намагниченность насыщения J_{rs} после первого нагрева, 2 – то же после второго нагрева, 3 – намагниченность насыщения J_s ; (б) 1 – естественная остаточная намагниченность, 2 – термоостаточная намагниченность в локальном геомагнитном поле.

реликтами пироксена, эпидотом, содержат фер-римангнитный минерал и лейкоксен.

Отбор образцов для палеомагнитных исследований проводился на большой площади распространения базитов (рис. 1). Места отбора проб определялись условиями обнаженности. Из четырех обнажений отобрано сорок девять ориентированных штучков базальтов, из двух обнажений – двадцать восемь ориентированных штучков габбро.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Палеомагнитные исследования проводились по общепринятой методике [Палеомагнитология, 1982] и включали в себя измерение магнитной восприимчивости, естественной остаточной намагниченности, размагничивание образцов переменным магнитным полем и компонентный анализ полученных результатов по диаграммам Зий-дервельда [Zijderveld, 1967]. Как можно видеть на диаграммах (рис. 2), естественная остаточная намагниченность исследованных образцов состоит, как правило, из двух компонент.

Для диагностики ферримангнитных минералов -возможных носителей естественной остаточной намагниченности в образцах базальтов и габбро -проводился термомагнитный анализ, результаты которого представлены на рис. 3. Как видно из рис. 3а, температура Кюри ферромагнитного минерала оценивается в 350°C . Сравнение хода кривых изменения остаточной намагниченности насыщения J_{rs} после первого и второго нагревов свидетельствует о незначительном изменении ферримангнитного минерала в процессе нагрева до 350°C . Сравнение хода кривых изменения естественной остаточной намагниченности (кривая 1) и термоостаточной намагниченности в магнитном поле 0.05 мТл созданной на этом же образце

габбро (кривая 2), представленных на рис. 3б, дает возможность предположить термическую природу остаточной намагниченности для исследованного образца габбро. Для суждения о природе носителя намагниченности приведем цитату из работы [Храмов и др., 1997]: "Термомагнитный и микронзондовый (в незначительном объеме) анализы показали, что в базитах и ультрабазитах Карело-Кольского региона довольно широко представлен сингенетический и синхронный образованию этих пород ферромагнетик - минерал группы магнетита. Для ультрабазитов - это чаще всего магноалюмохроммагнетит, а для диабазов -титаномангнетит с заметными примесями прежде всего магния и алюминия. Этот минерал чаще всего находится в состоянии распада, но на основании ряда данных, полученных при термомагнитном анализе, можно предполагать наличие реликтов исходного материала, несущих информацию об условиях образования, а также значимую палеомагнитную информацию". В соответствии с этим выводом результаты термомагнитного анализа образца габбро свидетельствуют о первичности носителя намагниченности и о синхронности остаточной намагниченности метаморфизму базитов. Первичный ферримангнитный минерал в базальтах по всей вероятности перемагничен при метаморфизме пород, который достигал температур 520°C , и по времени соответствовал кристаллизации Шилосских тоналитов ($\sim 2850\text{ млн. лет}$) или даек дацитов ($\sim 2800\text{ млн. лет}$).

Размагничиванию переменным магнитным полем подвергалось сорок пять образцов. Распределение направлений стабильной компоненты естественной остаточной намагниченности U_n , представлено на рис. 4. Этот рисунок позволяет оценить степень однородности распределения направлений J_n , поскольку исследованные образцы из различных обнажений удалены друг от друга на расстояние до 10 км (рис. 1). Образцы габбро из обнажения Ш оказались слабомагнитными и в обсуждении не участвуют.

Направления стабильных компонент на стереопроекции распределяются таким образом, что образуют отдельные группы, которые, соответственно их положению в различных сегментах стереопроекции, обозначаются как группы Б и В. Соответственно проведенным нами ранее исследованиям в Юго-Восточной и Северной Карелии [Краснова, Гуськова, 1990; Краснова, Гуськова, 1997; Krasnova, Gooskova, 1995], а также данным по расслоенным интрузиям Северной Финляндии [Mertanen et al., 1989], компонента В является самой древней компонентой (2800 млн. лет), направления группы Б связаны с более поздним этапом перемагничивания пород. Направления группы А, характерные для Северной Карелии и Северной Финляндии и связанные с перемагничиванием пород во время свекофенской тектоно-

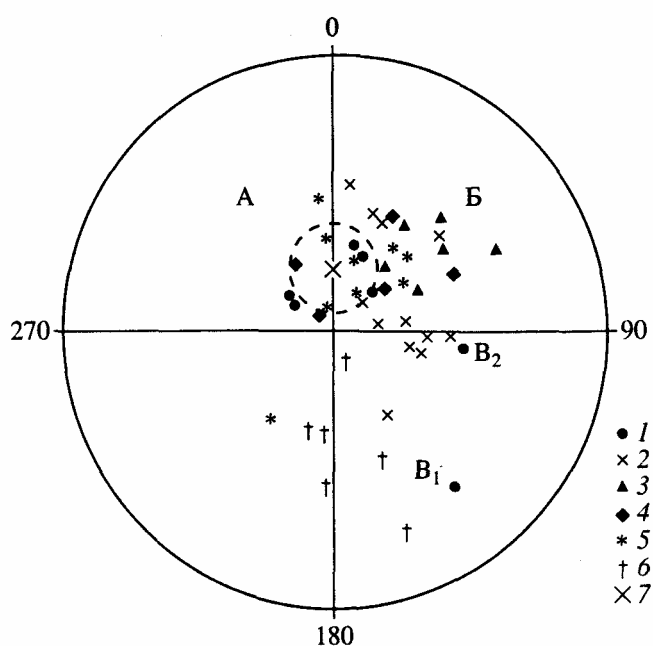


Рис. 4. Распределение направлений стабильной компоненты естественной остаточной намагниченности образцов базальтов и габбро Шилосской структуры. 1, 2, 3, 4 – направления для базальтов обнажений I, II, III, IV рис. 1, соответственно; 5, 6 – то же для габбро обнажений II, IV; 7 – направление современного перемангничивания.

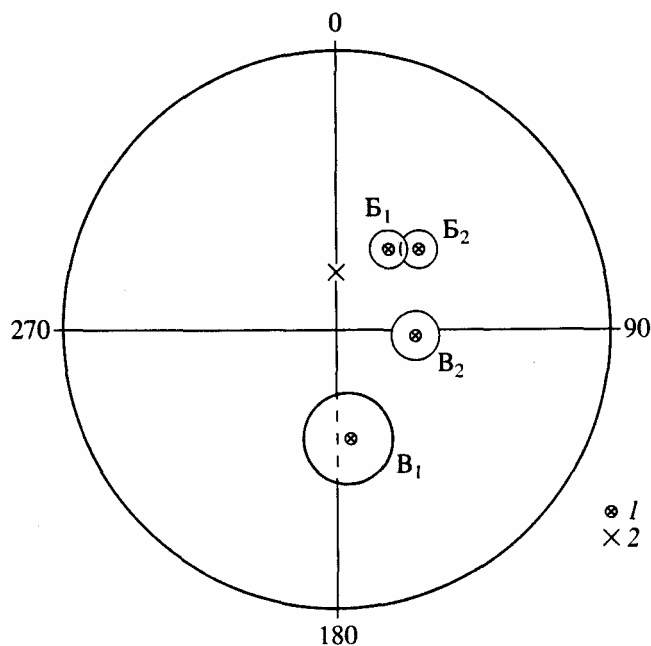


Рис. 5. Средние направления стабильной компоненты естественной остаточной намагниченности для выделенных групп образцов с кругами доверия: 1 – средние направления, 2 – направление современного перемангничивания.

магматической активизации, в базитах Шилосской структуры не выделяются.

Из рис. 4 видно, что направления J_n группы Б для двенадцати образцов базальтов и габбро, для которых выделена компонента, попадают в зону действия направления перемангничивания. Какие-либо существенные отличия этих образцов не установлены: распределение характеристик физических свойств – естественной остаточной намагниченности J_n , магнитной восприимчивости, величины $Q = J_n/J_i$ и медианного значения переменного размагничивающего поля h_m , уменьшающего вдвое начальную величину J_{no} – очень однородное. Оценки средних значений направления стабильной компоненты J_n для всей группы Б и с учетом двенадцати “перемангниченных” образцов почти не различаются (рис. 5). Опыт предыдущих исследований докембрийских пород Карелии позволяет выделить две подгруппы направлений В: B_1 и B_2 (рис. 5). По средним направлениям выделенных групп вычислены положения палеополюсов, которые сравниваются с кривой кажущейся миграции палеополюса для Балтийского щита в докембрии, построенной на основе пересмотренной и обновленной базы данных для Фенноскандии [Elming et al., 1993]. Как можно видеть из рис. 6 и таблицы, палеополюс $Ш_{B1}$ (Шилос) располагается на кривой в ее древней части, и для компонентов B_1 следует предположить возраст

~2800 млн. лет, что не противоречит геологическим данным. В соответствии с положением палеополюса $Ш_{B2}$, компоненту B_2 следует датировать ≤ 2500 млн. лет. Этот возраст соответствует времени подъема мощного Балтийского плюма, с которым связано формирование Бураковской интрузии (2449 млн. лет [Amelin, Semenov, 1996]) и ряда габбро-норитовых даек и интрузий в пределах как Водлозерского блока, так и всего Балтийского щита. Этот вопрос в настоящее время широко обсуждается в геологической литературе. Палеополюсы, вычисленные по направлению B_1 или B_2 уходят в северные широты и для компоненты Б следует предположить более молодой фанерозойский возраст, предположительно мезозойский.

Поскольку Шилосская структура расположена в обрамлении Водлозерского блока, представляется интересным сравнить полученные данные с результатами, опубликованными нами ранее для древних пород блока [Краснова, Гуськова, 1990]. Изучались гнейсы в районе среднего течения реки Водла, возраст метаморфизма которых оценивается в ~2800 млн. лет [Левченков и др., 1987], габбро-амфиболиты мощной ранней дайки и вмещающие ее гнейсы в районе поселка Шальский [Гуськова, Краснова, 1989] (таблица). Положения палеополюсов, вычисленные по компоненте В естественной остаточной намагниченности этих

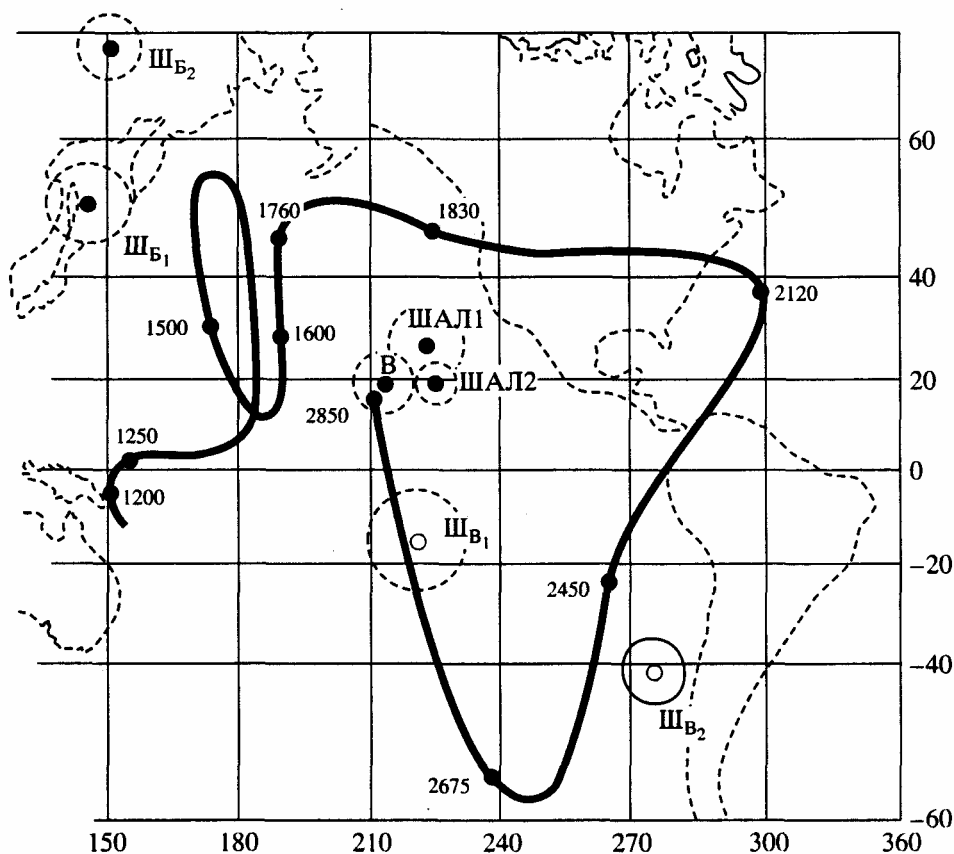


Рис. 6. Траектория кажущейся миграции палеомагнитного полюса для Балтийского щита (по [Elming et al., 1993]) и новые палеомагнитные полюсы для базальтов и габбро Шилосской структуры (ШБ₁, ШБ₂, ШБ₁, ШБ₂) в сравнении с палеополюсами для древних пород Водлозерского блока (по [Краснова, Гуськова, 1990]).

пород, также представлены на рис. 6. Наиболее древние палеополюсы пород Водлозерского блока и пород обрамляющего его зеленокаменного пояса занимают близкое положение на кривой

кажущейся миграции палеомагнитного полюса, соответствующее возрасту 2850 и 2800 млн. лет. Очевидно, для древних пород Водлозерского блока и обрамляющих его поясов наиболее древняя

Палеомагнитные направления, параметры точности определения их координаты палеомагнитных полюсов для базальтов и габбро Шилосской структуры и для образцов группы В древних пород Водлозерского блока

Объект	Компонента	M/n	D_c°	I_c°	Полярность	K	α_{95}°	Палеополюс		
								Φ° с.ш.	Λ° в.д.	A_{95}°
Базальты и габбро Шилосской структуры	Б	5/28	31	64	N	19	6	66	155	9
	Б ₁	5/16	44	56	N	37	6	52	149	7
	В ₁	3/9	171	59	R	17	11	-13	222	15
	В ₂	2/8	94	67	R	45	7	-41	275	12
Гнейсы среднего течения р. Водла	В	34	186	22	R	14	9	18	212	7
Габбро-амфиболит дайки пос.Шальский	В	22	175	6	R	24	25	26	222	18
Гнейсы пос.Шальский	В	6	172	14	R	217	6	21	225	4

Примечание. M – число обнажений, n – число определений направления компоненты, D_c° , I_c° – среднее направление стабильной компоненты J_n ; K – кучность векторов; α_{95}° – радиус круга доверия; Φ° , Λ° – широта и долгота палеополюса; A_{95}° – радиус круга доверия для палеополюса.

компонента намагниченности синхронна метаморфизму 2850-2800 млн. лет тому назад.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основе изучения естественной остаточной намагниченности архейских базальтов и габбро Шилосской структуры можно заключить следующее:

1. Изученные породы претерпели воздействие наложенных процессов и испытали последний наиболее интенсивный прогрев 2800 млн. лет тому назад, что синхронно внедрению даек кислых вулканитов, более древней компоненты намагниченности в базитах Шилосской структуры не обнаружено.

2. Породы Водлозерского блока испытали интенсивный прогрев 2850-2800 млн. лет тому назад. Наиболее древняя компонента намагниченности пород синхронна метаморфизму этого времени.

3. В архейских базитах Шилосской структуры выделенная компонента намагниченности < 2500 млн. лет может быть связана с подъемом мощного Балтийского плюма, с которым в последнее время связывают формирование Бураковской интрузии (2449 млн. лет [Amelin, Semenov, 1996]) и ряда габбро-норитовых даек и интрузий в пределах как Водлозерского блока, так и всего Балтийского щита.

Авторы выражают признательность А.Н. Храмову и С.Б. Лобач-Жученко за полезные дискуссии в процессе выполнения работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, проекты 97-05-64113 и 96-05-64657.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гуськова Е.Г., Краснова А.Ф. Контактный тест в изучении палеомагнетизма базитовых даек докембрия // Магнетизм горных пород. М.: ИЗМИРАН, 1989. С. 118-123.
- Краснова А.Ф., Гуськова Е.Г. О геодинамическом развитии Водлозерского блока Карелии в свете палеомагнитных данных // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1990. >fe 1.С. 103-110.
- Краснова А.Ф., Гуськова Е.Г. Палеомагнетизм ранне-протерозойских интрузий базитов северо-западного
- Беломорья: 1 - интрузия габбро-норитов п-ова Тол-стик // Физика Земли. 1997. № 8. С. 31-37.
- Левченко О. А., Сергеев С.А., Яковлева С.З. и др. Изотопная геохронология пород среднего течения реки Водлы (Водлозерский блок, Карелия). Магматизм, метаморфизм и геохронология докембрия Восточно-Европейской платформы в связи с крупномасштабным картированием // Тез. Докладов IV Регион, совещ. по Европ. Части СССР. Петрозаводск, 1987. С. 172.
- Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А., Чекулаев В.П. и др. Эволюция Южно-выгозерского зеленокаменно-го пояса Карелии // Петрология. 1999. (в печати).
- Палеомагнитология / Отв. ред. Храмов А.Н. Л.: Недра, 1982.312с.
- Сочеванов Н.Н., Арестова Н.А., Матреничев В.А. и др. Первые данные о Sm-Nd возрасте архейских базальтов Карельской гранит-зеленокаменной области // Докл. АН СССР. 1991. Т. 318. №1. с. 175-180.
- Храмов А.Н., Федотова М.А., Писакин Б.Н., Прияткин А. А. Палеомагнетизм нижнепротерозойских интрузий и ассоциированных пород Карелии и Кольского полуострова: вклад в разработку модели докембрийской эволюции Русско-Балтийского кратона // Физика Земли. 1997. № 6. С. 24-41.
- Храмов А.Н. Палеомагнетизм нижнего протерозоя востока Балтийского щита: новые данные. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 79-80.
- Amelin Yu.V., Semenov V.S. Nd and Sm isotopic geochemistry of mafic layered intrusions in the eastern Baltic Shield: Implications for the evolution of Paleoproterozoic continental mafic magmas // Contrib. Mineral. Petrol. 1996. V. 124. P. 255-272.
- Damm V., Gendler T.S., Gooskova E.G., Khramov A.N., Levandowski M., Nozharov P., Pavlov V.I., Petrova G.N., Pisarevski S.A., Sokolov S.J. Paleomagnetic and magnetic studies of proterozoic rocks from the Onega Lake region, Southeast Fennoscandian Shield // Geophys. J. Int. 1997. V. 129. P. 518-530.
- Elming S.-A., Pesonen L.J., Leino M., Khramov A.N., Mikhailova N.P., Krasnova A.F., Mertanen S., Bylund G., Terho M. The continental drift of Fennoscandia and Ukraine during the Precambrian // Tectonophysics. 1993. V. 223. P. 177-198.
- Krasnova A.F., Gooskova E.G. Palaeomagnetism of Precambrian intrusion and dykes of Northern Karelia // Precambrian Research. 1995. V. 74. P. 245-252.
- Mertanen S., Pesonen L.J., Huhma H., Leino M.A.N. Palaeomagnetism of Early Proterozoic layered intrusions, northern Finland // Geol. Surv. Finland Bull. 1989. № 347. P.
- Zijderveld J.D.A. AC-demagnetization of rocks: analysis of results / Eds. Collinson D. W., Creer K.M. Methods in palaeomagnetism. Amsterdam: Elsevier, 1967. P. 254-286.

Статья рекомендована к печати членом редколлегии д-ром физ.-мат. наук А.Н. Храмовым.