

УДК 550.384 (470.21)

А. В. Матюшкин, В. В. Балаганский

**Первые данные по палеомагнетизму палеопротерозойских пород
Серповидной структуры
(Кольский регион, северо-восток Балтийского щита)**

A. V. Matyushkin, V. V. Balagansky

**The first data on paleomagnetism of Palaeoproterozoic rocks
of the Serpovidny structure
(the Kola region, northeastern Baltic Shield)**

Аннотация. Ориентировка компонент вектора естественной намагниченности в амфиболитах и амфиболовых сланцах (содержание магнетита до 10 %) близка к таковой вектора современного магнитного поля. Другие ориентировки выявлены только в кварцитогнейсе (содержание магнетита $\leq 2\%$) и в регрессивно измененном хлорит-амфиболовом сланце. Определенное по этим породам положение палеополуса отвечает на траектории кажущейся миграции полюса возрастам 1,95 и $\sim 1,80$ млрд лет соответственно.

Abstract. The orientation of natural magnetization vector components in amphibolites and amphibole schists (magnetite up to 10 %) coincides with that of the modern magnetic field vector. Different orientations have been discovered only in quartzitic gneiss (magnetite $\leq 2\%$) and regressively changed chlorite-amphibole schist. The palaeopole position determined for these rocks corresponds on the apparent pole wander path to ages of 1.95 Ga and ~ 1.80 Ga, respectively.

Ключевые слова: палеомагнетизм, палеопротерозой, Кольский регион, Балтийский щит.
Key words: palaeomagnetism, Palaeoproterozoic, the Kola region, the Baltic Shield.

Введение

Палеомагнитный метод занимает особое место среди геофизических методов изучения горных пород, так как он является единственным методом, благодаря которому в сочетании с данными об изотопном возрасте пород можно восстановить траекторию перемещения литосферных плит в геологическом прошлом с ее привязкой к современной системе географических координат. Палеомагнитные работы проводились в ГИ КНЦ РАН в 1960–70-х гг. и показали, что в Кольском регионе пригодными для палеомагнитных исследований являются основные изверженные породы, породы, содержащие жесткие ферромагнетики (тонкодисперсный магнетит и гематит), а также палеопротерозойские магнетитсодержащие метаосадки [1]. После длительного перерыва эти работы были возобновлены в 2006 г., когда началось детальное изучение Серповидной складчатой структуры Кейвского террейна (рис. 1, а). Целью этих работ была попытка определения палеополуса в палеопротерозойских метаморфических породах на примере палеопротерозойских супракрустальных пород, которые слагают ядро Серповидной складки.

Геологическая обстановка

Серповидная складка находится в западном окончании Кейвского парасланцевого пояса (рис. 1, б). По результатам специальных структурных исследований, она представляет собой гигантскую колчановидную синформную складку [2]. Ее ядро сложено породами, сопоставляемыми с отложениями умбинской свиты палеопротерозойского Имандра-Варзугского рифта [3]. Эти палеопротерозойские породы слагают три толщи: карбонатно-сланцевую, metabазальтовую и гнейсо-амфиболито-сланцевую и обрамляются кейвскими парасланцами и парагнейсами (рис. 2). Возраст кейвских метаосадочных пород – архейский или палеопротерозойский – окончательно не определен. Метабазальтовая и гнейсо-амфиболито-сланцевая толщи отличаются частым чередованием практически немагнитных и сильномагнитных магнетитсодержащих metabазальтов и метаосадков (вплоть до железистых кварцитов).

Серповидная складка, кроме необычной колчановидной морфологии, отличается резкой асимметрией ее строения. В палеопротерозойском ядре складки ее верхнее, северное, крыло имеет мощность ~ 1300 м и сложено слабо деформированными породами. Нижнее, южное, крыло сложено расплюснутыми породами, общая мощность которых в центральной части складки составляет всего ~ 300 м (рис. 2). Эта асимметрия вместе с колчановидной морфологией, кинематическими индикаторами и меридиональной минеральной и агрегатной линейностями (рис. 2) указывает на образование Серповидной складки в результате крупномасштабных и направленных к северу надвиговых движениях [2]. Движения происходили 1,97–

1,93 млрд лет назад и предшествовали пику метаморфизма и надвиговых деформаций в лапландских и умбинских гранулитях, достигнутому 1,925 млрд лет назад (см. обзор в работе [4]).

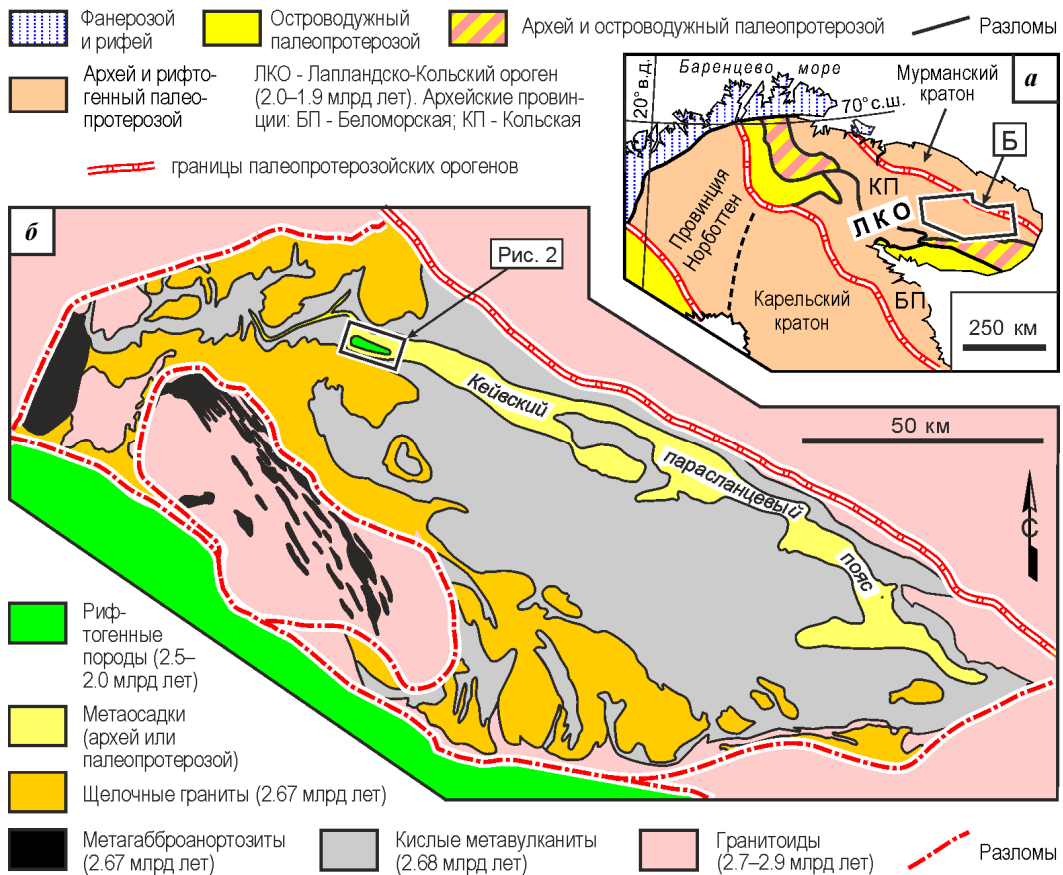


Рис. 2. Схематическая геологическая карта палеопротерозойского ядра Серповидной складки (по работе [2], с упрощениями)

Минеральная линейность в палеопротерозойском ядре Серповидной складки образована удлиненными кристаллами ставролита и амфибола. В облекающих ядро кейвских метаосадках она выражена в предпочтительной ориентировке игольчатых кристаллов кианита пачки Б (по И. В. Белькову [5]), количественно резко преобладающими над ставролитом (кроме парасланцев пачки В). Метаморфизм в западных Кейвах, где находится Серповидная складка, происходил в условиях амфиболитовой фации при температуре до 620 °С [6]. Кейвские парасланцы при этом не мигматизированы, тогда как в отдельных амфиболитах палеопротерозойского ядра Серповидной складки мы наблюдали редкие участки слабой, начальной мигматизации. Минимальная температура, при которой появляются первые локальные мигматиты, определенная, например, по включениям минералообразующих сред в минералах пород Беломорской провинции, метаморфизованных в условиях амфиболитовой фации, равна 620–640 °С [7]. Следовательно, температура метаморфизма палеопротерозойских пород, как и кейвских парасланцев, достигала 620 °С.

Многие датировки, полученные для пород Кейвского террейна, лежат в интервале 1,7–1,8 млрд лет [8–11]. Они отвечают времени образования пегматитов, поздней минерализации в различных кейвских породах и метасоматоза. Наиболее ярко метасоматоз был проявлен в кейвских высокоглиноземистых парасланцах, что отмечалось еще И. В. Бельковым [5]. Ряд авторов прямо связывают метасоматоз с мощным и повсеместным воздействием флюидов на протолит кейвских пород в конце палеопротерозоя [9; 10; 12]. По-видимому, в то же время протекали процессы регрессивного метаморфизма амфиболитовой и более низкотемпературных фаций, описанные в работе [6].

Методика исследований

Для палеомагнитных исследований с помощью алмазной дисковой пилы из обнажений выпиливались ориентированные образцы прямоугольной формы (средний размер примерно 15 × 10 × 8 см). Из образца в лабораторных условиях выпиливались кубики с ребром 2 см. Выпиливание из одного образца нескольких кубиков и их изучение позволяло не только контролировать измерения, но и оценить однородность магнитных и палеомагнитных свойств изучаемых пород.

С целью выделения стабильной компоненты естественной остаточной намагниченности кубики затем подвергались размагничиванию переменным магнитным полем. Процедура размагничивания включала несколько стадий (шагов), число которых обычно варьировало от 10 до 15 (иногда больше). Длительность стадии составляла 12–15 минут. Максимальное размагничивающее поле достигало 50 мТл. После каждой стадии размагничивания проводилось измерение вектора остаточной намагниченности с помощью спин-магнитометра (рок-генератора) JR-4. Последовательность этих векторов отображалась на диаграмме Зийдерверльда [13].

Затем для каждого кубика измерения по методу главных компонент производилась обработка, в результате которой выделялись ориентировки векторов естественной остаточной намагниченности различной устойчивости, называемых компонентами – от начальной (самой неустойчивой, или мягкой, *I*) до последней (самой устойчивой, или жесткой, *II*). Полученные для каждого кубика компоненты отображались на стереографической диаграмме Вульфа, а их ориентировки подверглись стандартной статистической обработке с помощью программного обеспечения для спин-магнитометров JR-4 и JR-6 [14]. В конечном итоге по полученным для каждого образца статистически значимым ориентировкам компонент определялись координаты палеополюса по компьютерной программе Р. Дж. Энкина [15].

Характеристика образцов

В настоящей статье приведены данные для 47 образцов, которые представляют пять типов палеопротерозойских пород, взятых в пяти обнажениях. Четыре из них залегают в северном, слабо деформированном крыле Серповидной складки (рис. 2). Обн. 608-30 сложено среднезернистыми амфиболитами в целом массивной текстуры и реликтовой габбровой текстурой. Они слабо мигматизированы, имеют неявную сланцеватость и слои мелкозернистого сложения. Отмечается слабая меридиональная линейность по амфиболу. Обн. 711-1 сложено крупнозернистым сланцеватыми гранатовыми амфиболитами с хорошо выраженной меридиональной линейностью по амфиболу. Эти породы принадлежат одному протяженному слою амфиболитов мощностью до первых десятков метров. Расстояние между обнажениями равно ~100 м. Обн. 711-2 и 909-2 расположены примерно в 5 м друг от друга и сложены крупнозернистыми амфиболовыми сланцами с тем или иным количеством вторичного биотита и хлорита, а также вторичной сине-зеленой роговой обманки. Последняя, как и хлорит, развивалась по амфиболу. В этих сланцах наблюдается слабо выраженная меридиональная линейность.

Отличительной особенностью всех этих пород является высокое содержание магнетита. Он распределен неравномерно и образует прослои мощностью до 1 см, в которых его содержание достигает ~10 %. Морфология

зерен магнетита очень разнообразная и варьирует от редких идиоморфных кристаллов до зерен с крайне причудливыми контурами. Размер зерен меняется от сотых долей миллиметра до 1,2 мм, при этом наиболее крупные из них локализируются в прослоях с высоким содержанием магнетита. В этих прослоях нередко наблюдаются ленточные обособления магнетита длиной до 2,3 мм, параллельные полосчатости.

Амфиболовые сланцы из обн. 909-2 заметно выделяются среди изученных относительно слабо деформированных пород. Они отличаются пониженным содержанием магнетита и немного более однородным его распределением. Другой важной отличительной чертой этих сланцев является высокое содержание вторичного хлорита, достигающее местами 20 %. Отдельные игольчатые агрегаты хлорита образуют параморфозы по амфиболу, но в целом их ориентировка хаотическая. Это говорит о том, что регрессивный метаморфизм происходил в статистических условиях после окончания деформации пород.

Пятый тип пород был взят из обн. 608-12 в южном, расплюсненном, крыле Серповидной складки (рис. 2). По структуре, текстуре, содержанию магнетита и морфологии его зерен эти породы принципиально отличаются от всех рассмотренных выше пород. Это серые мелкозернистые и тонкозернистые тонкополосчатые и сильно линеализированные эпидот-мусковит-биотитовые кварцитогнейсы с магнетитом и амфиболом. Содержание магнетита не превышает 2 %; зерна в основном мелкие, лишь отдельные из них достигают 0,4 мм в поперечнике.

Полосчатость в кварцитогнейсах представлена тонкими (от первых долей до нескольких миллиметров) слойками с диффузными границами и с повышенным содержанием темноцветных минералов. Параллельно полосчатости расположена сланцеватость по биотиту. Она подчеркнута слегка удлиненными зернами кварца, а также цепочками почти изометричных зерен эпидота, при этом сами зерна не имеют предпочтительной ориентировки. Мусковит образует чуть удлиненные чешуйки, заметно более крупные, чем все остальные минералы (до 0,5 мм), и имеет хаотичную ориентировку.

На плоскостях полосчатости наблюдается меридиональная линейность, образованная тонкими веретенообразными агрегатами как темноцветных, так и бесцветных минералов, а также бороздчатость. Этой линейностью исперщена практически вся поверхность полосчатости, но для ее наблюдения требуется определенный навык (на косых сколах она не видна). В результате кварцитогнейсы текстурно являются милонитами, а структурно представляют собой мелкозернистые гранобластовые породы.

Описанные пять типов пород характеризуют две стадии их метаморфической переработки. Первая стадия отвечает пику деформации, когда породы в южном крыле были расплюснены и линеализированы при перемещении Серповидного тектонического покрова к северу во время лапландско-кольской орогении [2]. Эта пиковая деформация отвечала максимальным условиям метаморфизма, зафиксированным в парагенезисе *гранат+роговая обманка+плаггиоклаз+кварц* (обн. 711-1), а также в появлении мигматитов (обн. 608-30). На второй стадии в статических условиях протекал регрессивный метаморфизм. В милонитизированном и линеализированном кварцитогнейсе (обн. 608-12) этот метаморфизм привел к образованию гранобластовой структуры, отличающейся необычно мелкими размерами зерен. Наиболее ярко перекристаллизация проявилась в амфиболовых сланцах обн. 909-2.

Результаты

В слабо мигматизированных амфиболитах обн. 608-30 выявлены обе компоненты (мягкая *I* и жесткая *II*). Компонента *I* имеет относительно высокую кучность (рис. 3, *a*), а компонента *II* менее кучна (рис. 3, *b*). Линеализированные гранатовые амфиболиты обн. 711-1 обладают высокой коэрцитивной силой, и при размагничивании из-за ограничений установки для размагничивания полностью эти породы размагнитить не удалось. Тем не менее в ряде кубиков была выделена компонента *I*, характеризующаяся высокой кучностью и как прямым, так и обратным направлением вектора намагниченности (рис. 3, *в*).

Амфиболовые сланцы обн. 711-2 обнаруживают слабую палеомагнитную запись. Компонента *I* относительно кучна, причем ряд векторов намагниченности имеют инверсное направление (рис. 3, *г*). Компонента *II* выделяется хуже, имеет низкую кучность и прямую и обратную направленность векторов (рис. 3, *д*). В сильно регрессивно измененных хлорит-амфиболовых сланцах (обн. 909-2) компонента *I* обладает удовлетворительной кучностью, при этом в отдельных кубиках вектор намагниченности имел обратную направленность (рис. 3, *е*). Компонента *II* обладает очень плохой кучностью, а вектор намагниченности имеет только прямую направленность (рис. 3, *ж*).

Из первоначально сильно милонитизированных и затем регрессивно перекристаллизованных кварцитогнейсов обн. 608-12 были выпилены 14 кубиков. В них была установлена только компонента *I*. Векторы намагниченности обнаружили поясное распределение, но при этом половина из них имеет высокую кучность и образует на стереографической диаграмме компактное поле (рис. 3, *з*). На рис. 3, *и* приведена диаграмма Зийдерверльда для одного из кубиков, выпиленных из этих кварцитогнейсов.

Ориентировки всех выявленных компонент были обработаны с использованием статистики Фишера. Рассчитанные по ним координаты палеополюса приведены в табл.

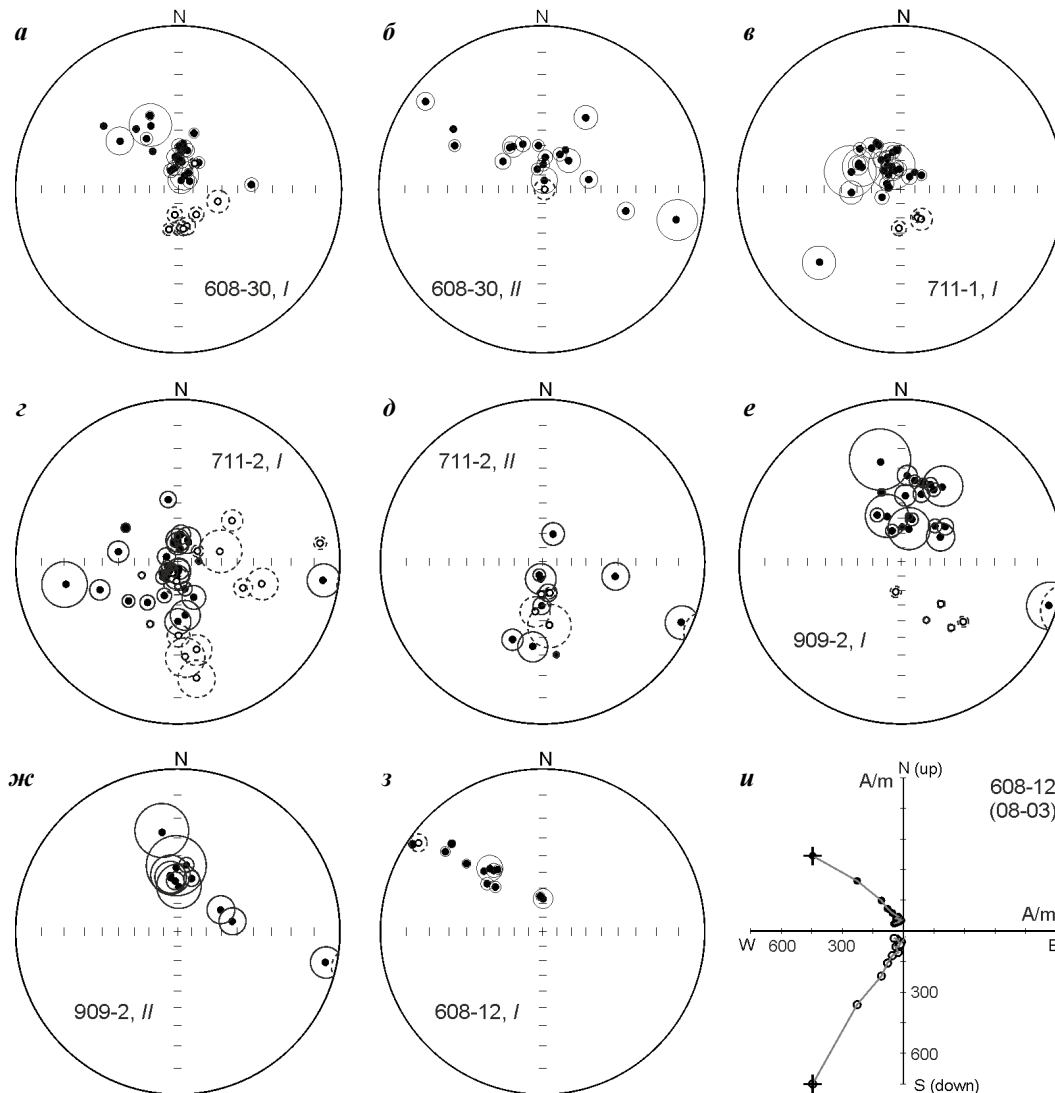


Рис. 3: *a–г* – стереографические диаграммы ориентировки векторов остаточной естественной намагниченности в палеопротерозойских породах ядра Серповидной складки; *h* – диаграмма Зийдервельда для кварцитогнейсов из обн. 608-12. Залитые и незалитые кружки – векторы с прямой и обратной направленностью намагниченности; овалы вокруг кружков – овалы доверия (95 % доверительный интервал); 909-2, *II* – номер обнажения и компоненты (*I* – мягкая, *II* – жесткая); 608-12(08-03) – номера обнажения образца и кубика соответственно

Обсуждение

Ориентировка большинства компонент в изученных амфиболитах и амфиболовых сланцах близка таковой вектора намагниченности современного магнитного поля или совпадает с ней. Поэтому мы предполагаем, что все эти компоненты являются вязкими и образовались в современном магнитном поле (рис. 4, *a*). Ориентировка жесткой компоненты *II*, установленной в амфиболовом сланце 711-2, является очень невыдержанной и мало пригодной для интерпретации. Эти амфиболиты и амфиболовые сланцы содержат относительно большое количество магнетита (до 10 %). По данным В. А. Тюремнова и В. П. Мирошникова [1], в породах с высоким содержанием магнетита наблюдаемая намагниченность скорее всего имеет современную вязкую или динамовязкую природу. Таким образом, наши результаты согласуются с выводом в работе [1], что подобные породы не пригодны для палеомагнитного изучения.

Кварцитогнейсы 608-12 резко отличаются от амфиболитов и амфиболовых сланцев по содержанию магнетита ($\leq 2\%$), характеру его распределения в породе и структурно-метаморфической истории. Палеополюс, определенный по ориентировке компоненты *I* в этих породах, попадает точно на траекторию кажущейся

миграции полюса, которая была построена для восточной части Балтийского щита [16] и находится рядом с возрастной отметкой 1,95 млрд лет (рис. 4, б).

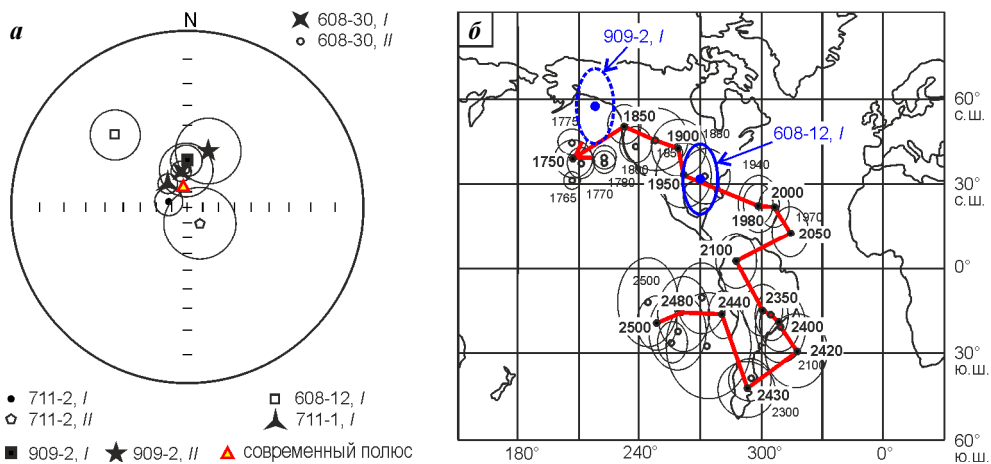


Рис. 4: а – стереографическая диаграмма ориентировки палеополюсов, определенных для палеопротерозойских пород ядра Серповидной складки (условные обозначения см. на рис. 3); б – положение палеополюсов, определенное для обн. 608-12 и 909-2, на карте траектории кажущейся миграции полюса, построенной для восточной части Балтийского щита [16]

Согласно работе [4], пиковые условия деформации и метаморфизм в районе хр. Серповидный имели место 1,97 млрд лет. Температура в то время достигала 620 °С (см. выше). Она превышала температуру точки Кюри для магнетита на 35 °С. 1,93 млрд лет назад породы остыли до температуры ~450 °С (см. выше). Отсюда следует, что ~1,95 млрд лет назад должны были происходить первые регрессивные метаморфические преобразования пород, и магнетит уже мог фиксировать положение палеополюса. Этот регрессивный метаморфизм протекал после образования Серповидной складки, и для определения положения палеополюса не следует вводить поправку на наклон пород, вызванный складчатостью.

Таблица

Палеомагнитные данные для пород палеопротерозойского ядра Серповидной складки

№ п/п	Обн., компон.	<i>N</i>	<i>D</i> _{site}	<i>I</i> _{site}	<i>k</i>	<i>a</i> ₉₅	<i>D</i> _{paleo}	<i>I</i> _{paleo}	<i>dp</i>	<i>dm</i>	<i>p-lat</i>
1	608-30, I	35	350,2	66,8	15,78	6,3	71,0	236,7	8,6	10,4	49,4
2	608-30, II	19	358,3	66,7	4,86	16,6	71,5	220,5	22,5	27,3	49,3
3	608-12, I	12	316,6	33,6	11,94	12,9	33,5	269,4	8,3	14,7	18,4
4	711-1, I	31	320,1	70,4	18,21	6,2	67,3	291,4	9,3	10,8	54,6
5	711-2, I	50	286,6	77,5	5,95	9,0	62,8	338,5	15,9	16,9	66,1
6	711-2, II	14	142,7	77,1	3,98	22,9	45,7	58,0	39,8	42,7	65,4
7	909-2, I	26	358,8	50,8	9,69	9,6	53,8	218,6	8,7	13,0	31,5
8	909-2, II	11	20,5	53,5	6,73	19,0	54,3	187,1	18,4	26,5	34,1

Примечания: *N* – количество измерений (изучены 163 кубика); *D*_{site} – склонение; *I*_{site} – наклонение; *k* – кучность; *a*₉₅ – величина радиуса круга доверия, рассчитанная для среднего значения ориентировки вектора намагниченности (95 % доверительный интервал) для каждого обнажения; *D*_{paleo} и *I*_{paleo} – склонение и наклонение палеополюса соответственно; *dp* и *dm* – величины полуосей овала доверия, рассчитанные для ориентировки палеополюса (95 % доверительный интервал); *p-lat* – палеоширота. Для всех обнажений приняты следующие единые координаты системы WGS-84: 67,74° с.ш. и 36,86° в.д.

Таким образом, палеомагнитные данные для кварцитогайсов 608-12 согласуются с геологической историей как этих пород, так и всей Серповидной структуры и ее обрамления. Тем не менее вывод о том, что в породах с незначительным количеством магнетита записано положение палеополюса, требует подтверждения гораздо большим объемом палеомагнитных данных.

В хлорит-амфиболовых сланцах 909-2 ориентировка компоненты *I* отличается от направления современного магнитного поля (современный полюс лежит за пределами овала доверия, рис. 4, а). Отвечающий ей палеополус в пределах погрешности соответствует возрасту 1,80 млрд лет на траектории видимой миграции полюса (рис. 4, б). Эти палеомагнитные определения, как и в предыдущем случае, согласуются с геологической историей Кольского террейна, но из-за небольшого объема фактического материала и большой погрешности они также требуют дальнейшего подтверждения.

Заключение

Ориентировка полученных компонент вектора остаточной намагниченности в амфиболитах и амфиболовых сланцах (содержание магнетита до 10 %) близка к таковой вектора современного магнитного поля. Наиболее важны компоненты вектора остаточной намагниченности, выявленной в кварцитогнеисе (содержание магнетита $\leq 2\%$) и в регрессивно измененном хлорит-амфиболовом сланце. Определенное по этим породам положение палеополюса отвечает на траектории кажущейся миграции полюса, построенной для восточной части Балтийского щита, возрастам 1,95 и $\sim 1,80$ млрд лет соответственно. Эти выводы являются предварительными и требуют подтверждения.

Благодарности

Авторы благодарны Р. В. Веселовскому за предоставленную возможность проведения измерений в палеомагнитной лаборатории ИФЗ РАН и консультации на начальном этапе возобновления палеомагнитных исследований в ГИ КНЦ РАН. Отбор изученных образцов горных пород для завершающего их анализа (раздел "Характеристика образцов") проводился в рамках темы НИР ГИ КНЦ РАН № 0231-2015-0004, а обработка всех полученных данных (разделы "Методика исследований" и "Результаты и обсуждение") была завершена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-05-01031А). Авторы признательны А. Б. Раевскому и И. А. Горбунову за прочтение рукописи и сделанные конструктивные замечания.

Библиографический список

1. Тюремнов В. А., Мирошников В. П. Возможности палеомагнитных исследований докембрийских образований восточной части Балтийского щита // Магнитные свойства минералов и проблемы палеомагнетизма и петромагнетизма. Магадан, 1990. С. 135–141.
2. Альпийская тектоника в палеопротерозойском Лапландско-Кольском орогене / С. В. Мудрук, В. В. Балаганский, И. А. Горбунов, А. Б. Раевский // Геотектоника. 2013. № 4. С. 13–30.
3. Геология и геохимия метаморфических комплексов раннего докембрия Кольского полуострова / А. П. Белолыпецкий, В. Г. Гаскельберг, Л. А. Гаскельберг [и др.]. Л. : Наука, 1980. 238 с.
4. Балаганский В. В., Раевский А. Б., Мудрук С. В. Нижний докембрий Кейвского террейна, северо-восток Балтийского щита: стратиграфический разрез или коллаж тектонических пластин? // Геотектоника. 2011. № 2. С. 32–48.
5. Бельков И. В. Кианитовые сланцы свиты кейв. М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1963. 322 с.
6. Глазунков А. Н., Петров В. П. Кейвский мегаблок // Эндогенные режимы метаморфизма раннего докембрия. Л., 1990. С. 110–131.
7. Саморукова Л. М. Включения минералообразующих сред // Мигматизация и гранитообразование в различных термодинамических режимах. Л. : Наука, 1985. С. 71–79.
8. Каталог геохронологических данных по северо-восточной части Балтийского щита (приложение № 3 к монографии "Геология рудных районов Мурманской области") / Баянова Т. Б., Пожиленко В. И., Смолькин В. Ф. [и др.]. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2002. 53 с.
9. Новые данные о возрасте (SHRIMP II) протолита и палеопротерозойских преобразований архейского Кейвского террейна (Кольский полуостров) / С. А. Бушмин, В. А. Глебовицкий, С. Л. Пресняков [и др.] // Доклады АН. 2011. Т. 438, № 2. С. 237–241.
10. Время образования и генезис иттрий-циркониевого оруденения массива Сахарйок, Кольский полуостров / В. Р. Ветрин, С. Г. Скублов, Ю. А. Балашов [и др.] // Записки РМО. 2014. Ч. 143, № 2. С. 1–22.
11. Первые изотопные данные о палеопротерозойском возрасте амфиболитов хребта Серповидный (Кейвский террейн, Балтийский щит) / Т. А. Мыскова, В. В. Балаганский, В. А. Глебовицкий [и др.] // Доклады АН. 2014. Т. 459, № 4. С. 484–489.
12. Происхождение и состав флюида, ответственного за метасоматические процессы в зонах сдвиговых деформаций тектонического покрова Большие Кейвы Балтийского щита: изотопный состав углерода графитов / С. А. Бушмин, В. А. Глебовицкий, Э. М. Прасолов [и др.] // Доклады АН. 2011. Т. 438, № 3. С. 379–383.
13. Zijdeveld J. D. A. AC demagnetization of rocks: Analysis of results // Methods in palaeomagnetism. Amsterdam, 1967. P. 254–286.
14. Chadima M., Hrouda F. Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer // Travaux Géophysiques, 2006. Issue XXVII. P. 20–21. URL: www.agico.com/software/winsoft/remasoft.
15. Enkin R. J. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Sidney : Pacific Geoscience Centre, Geol. Survey Canada, 1994. 16 p.
16. Палеомагнитные исследования / А. Н. Храмов, Н. А. Арестова, Е. Г. Гуськова, А. Г. Иосифиди // Строение и динамика литосферы Восточной Европы. М., 2006. С. 199–205.

References

1. Tyuremnov V. A., Miroshnikov V. P. Vozmozhnosti paleomagnitnyh issledovaniy dokembriyskih obrazovaniy vostochnoy chasti Baltiyskogo schita [Potential of paleomagnetic studies of Precambrian rocks of

the eastern Baltic Shield] // *Magnitnye svoystva mineralov i problemy paleomagnetizma i petromagnetizma*. Magadan, 1990. P. 135–141.

2. *Alpinotipnaya tektonika v paleoproterozoyskom Laplandsko-Kolskom orogene [Alpine-type tectonics in the Paleoproterozoic Lapland-Kola orogeny]* / S. V. Mudruk, V. V. Balaganskiy, I. A. Gorbunov, A. B. Raevskiy // *Geotektonika*. 2013. N 4. P. 13–30.

3. *Geologiya i geohimiya metamorficheskikh kompleksov rannego dokembriya Kolskogo poluostrova [Geology and geochemistry of Early Precambrian metamorphic complexes of the Kola Peninsula]* / A. P. Belolipetskiy, V. G. Gaskelberg, L. A. Gaskelberg [i dr.]. L. : Nauka, 1980. 238 p.

4. Balaganskiy V. V., Raevskiy A. B., Mudruk S. V. *Nizhniy dokembriy Keyvskogo terreyne, severo-vostok Baltiyskogo schita: stratigraficheskiy razrez ili kollazh tektonicheskikh plastin? [Lower Precambrian of the Keivy Terrane, northeastern Baltic Shield: A stratigraphic succession or a collage of tectonic sheets?]* // *Geotektonika*. 2011. N 2. P. 32–48.

5. Belkov I. V. *Kianitovye slantsy svity keyv [Kyanite schists of the Keivy formation]*. M.-L. : Izd-vo AN SSSR, 1963. 322 p.

6. Glazunkov A. N., Petrov V. P. *Keyvskiy megablok [The Keivy megablock]* // *Endogennye rezhimy metamorfizma rannego dokembriya*. L., 1990. P. 110–131.

7. Samorukova L. M. *Vklyucheniya mineraloobrazuyuschih sred [Gas and fluid inclusions as indicators of mineral-forming environments]* // *Migmatizatsiya i granitooobrazovanie v razlichnykh termodinamicheskikh rezhimakh*. L. : Nauka, 1985. P. 71–79.

8. *Katalog geohronologicheskikh dannykh po severo-vostochnoy chasti Baltiyskogo schita [Catalog of geochronological data from the northeastern Baltic Shield]* (prilozhenie N 3 k monografii "Geologiya rudnykh rayonov Murmanskoy oblasti") / Bayanova T. B., Pozhilenko V. I., Smolkin V. F. [i dr.]. Apatity : Izd-vo KNTs RAN, 2002. 53 p.

9. *Novye dannye o vozraste (SHRIMP II) protolita i paleoproterozoyskikh preobrazovaniy arheyskogo Keyvskogo terreyne (Kolskiy poluostrov) [New data on the age (SHRIMP II) of protolith and Paleoproterozoic transformations of the Archean Keivy Terrain (Kola Peninsula)]* / S. A. Bushmin, V. A. Glebovitskiy, S. L. Presnyakov [i dr.] // *Doklady AN*. 2011. V. 438, N 2. P. 237–241.

10. *Vremya obrazovaniya i genesis itriy-tsrkonievogo orudneniya massiva Saharyok, Kolskiy poluostrov [Time of formation and genesis of yttrium-zirconium mineralization in the Sakharjok Massif, Kola Peninsula]* / V. R. Vetrin, S. G. Skublov, Yu. A. Balashov [i dr.] // *Zapiski RMO*. 2014. Ch. 143, N 2. P. 1–22.

11. *Pervye izotopnye dannye o paleoproterozoyskom vozraste amfibolitov hrebta Serpovidnyy (Keyvskiy terreyne, Baltiyskiy schit) [The first isotopic data on the Paleoproterozoic age of the Serpovidnyi Ridge amphibolites, Keivy Terrane, the Baltic Shield]* / T. A. Myskova, V. V. Balaganskiy, V. A. Glebovitskiy [i dr.] // *Doklady AN*. 2014. V. 459, N 4. P. 484–489.

12. *Proishozhdenie i sostav flyuida, otvetstvennogo za metasomaticheskie protsessy v zonah sdvigovykh deformatsiy tektonicheskogo pokrova Bolshie Keyvy Baltiyskogo schita: izotopnyi sostav ugleroda grafitov [Origin and composition of fluid responsible for metasomatic processes in shear zones of the Bolshie Keivy Tectonic Nappe, Baltic Shield: Carbon isotope composition of graphite]* / S. A. Bushmin, V. A. Glebovitskiy, E. M. Prasolov [i dr.] // *Doklady AN*. 2011. V. 438, N 3. P. 379–383.

13. Zijderfeld J. D. A. *AC demagnetization of rocks: Analysis of results* // *Methods in palaeomagnetism*. Amsterdam, 1967. P. 254–286.

14. Chadima M., Hroudka F. *Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer* // *Travaux Géophysiques*, 2006. Issue XXVII. P. 20–21. URL: www.agico.com/software/winsoft/remasoft.

15. Enkin R. J. *A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data*. Sidney : Pacific Geoscience Centre, Geol. Survey Canada, 1994. 16 p.

16. *Paleomagnetnye issledovaniya [Paleomagnetic studies]* / A. N. Hramov, N. A. Arestova, E. G. Guskova, A. G. Iosifidi // *Stroenie i dinamika litosfery Vostochnoy Evropy*. M., 2006. P. 199–205.

Сведения об авторах

Матюшкин Александр Витальевич – Геологический институт КНЦ РАН, мл. науч. сотрудник; Апатитский филиал МГТУ, ст. преподаватель; e-mail: matyushkin@geoksc.apatity.ru

Matyushkin A. V. – Geological Institute KSC RAS, Junior Research Scientist; Apatity Branch MSTU, Senior Lecturer; e-mail: matyushkin@geoksc.apatity.ru

Балаганский Виктор Валентинович – Геологический институт КНЦ РАН, д-р геол.-мин. наук, зав. лабораторией; Апатитский филиал МГТУ, профессор; e-mail: balagan@geoksc.apatity.ru

Balagansky V. V. – Geological Institute KSC RAS, Dr of Geol.-Min. Sci., Head of Laboratory; Apatity Branch MSTU, Professor; e-mail: balagan@geoksc.apatity.ru