

**ЭВОЛЮЦИЯ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВОГО
МАГМАТИЗМА КУН-МАНЬЕНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (АЛДАНО-СТАНОВОЙ ЩИТ) ПО
ПАЛЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ**

А.Ю. Песков¹, А.Н. Диденко^{1,2}, В.А. Гурьянов¹

¹ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: itig@itig.as.khb.ru

²ФГБУН Геологический институт РАН, Пыжевский пер.7, г. Москва, 119017

Поступила в редакцию 12 июля 2017 г.

В статье приведены результаты петромагнитных и палеомагнитных исследований позднепалеопротерозойских никеленосных мафит-ультрамафитов Кун-Маньенского рудного поля, расположенного на юго-востоке Алдано-Станового щита. Объектом исследований явились интрузии двух морфогенетических типов: даек «Черный Исполин», «Меридиональная» и силлов «Кубук» и «Икэн». В результате проведенных петромагнитных исследований установлена связь между элементами залегания изученных интрузий и направлениями осей эллипсоида анизотропии начальной магнитной восприимчивости, что может быть использовано при проведении геологосъемочных и поисково-оценочных работ. По данным проведенных палеомагнитных исследований выделено два этапа палеопротерозойской магматической активности, один из которых связан с внедрением силлов, другой – с внедрением даек. По направлениям характеристической компоненты намагниченности, установленной во всех интрузивных телах комплекса, рассчитаны координаты палеомагнитного полюса. Положение последнего, с учетом поправки за раскрытие Вилюйского рифта в палеозое, близко к интервалу 1700–1720 млн лет траектории кажущейся миграции полюса Сибирского кратона, что хорошо согласуется с имеющимися геохронологическими данными.

Ключевые слова: палеопротерозой, мафит-ультрамафиты, месторождение Кун-Манье, палеомагнетизм, петромагнетизм, Сибирский кратон.

ВВЕДЕНИЕ

Мафит-ультрамафитовый магматизм на Алдано-Становом щите всегда привлекал пристальное внимание многих исследователей, поскольку ему сопутствуют промышленно важные месторождения железа, титана, ванадия, фосфора, никеля, меди, кобальта и платиноидов [2, 4, 5, 12, 14, 20, 21, 28]. Исследованиями последних десятилетий в раннедокембрийских структурах юго-восточной части щита выделена Северостановая металлогеническая провинция, открытие в пределах которой крупных месторождений медно-никелевых с платиноидами и апатит-титаномагнетитовых руд свидетельствует о высоких перспективах этой структуры и лишней раз подтверждает актуальность проводимых исследований [4, 12, 28]. Структурно эта провинция охватывает территорию Пристанового коллизионного пояса, являющегося зоной сочленения Алданской гранулитогнейсовой

и Джугджуро-Становой гранит-зеленокаменной областей [3, 8]. В его пределах наиболее полно и контрастно проявился мафит-ультрамафитовый (толеиткоматиитовый, по [9]), магматизм с четко выраженной кобальт-медно-никелевой геохимической специализацией [8, 28]. Полученные на сегодняшний день геологические и геохронологические данные позволили выделить в истории геологического развития Пристанового коллизионного орогена этап проявления позднепалеопротерозойского мафит-ультрамафитового магматизма (1.76–1.69 млрд лет), который представлен многочисленными и протяженными ареалами и роями даек, силлов, реже небольшими штоками, слагающими Джугджуро-Становой пояс малых интрузий [6, 8, 9, 20, 28] (рис. 1). Эта территория крайне слабо изучена геохимическими и изотопно-геохронологическими методами, практически нет петро- и палеомагнитных данных по палеопротерозойским объектам. Как известно, палеопротерозойский магматизм при-

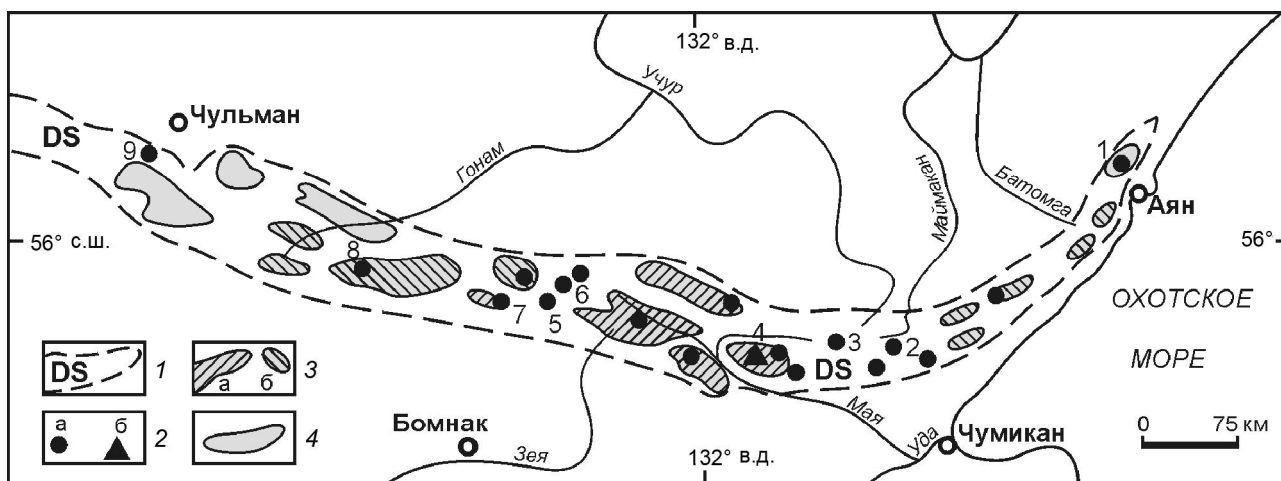


Рис. 1. Схема размещения интрузий никеленосных мафит-ультрамафитов, рудопроявлений и литохимических ореолов рассеяния никеля и меди в пределах юго-восточного обрамления Сибирской платформы (по [27] с изменениями).

1 – Джугджуро-Становой пояс интрузий никеленосных мафит-ультрамафитов; 2 – медно-никелевые рудопроявления (а) и месторождения (б) (1 – Няндомы, 2 – Кэндэкэ, 3 – Богидэ, 4 – Кун-Манье, 5 – Утук-Макит, 6 – Сатмарское, 7 – Авгенкур, 8 – Тангтрак, 9 – Бурпалинское); 3 – литохимические потоки никеля и меди по данным геохимической (а) и геологической (б) съемок; 4 – площади распространения интрузий никеленосных мафит-ультрамафитов.

надлежит к одному из трех крупнейших максимумов (импульсов) роста континентальной коры [1], что и определяет важнейшее значение палеомагнитных исследований при расшифровке эволюции юго-восточного обрамления Сибирской платформы.

Нарастающий интерес к данной проблеме как в фундаментальном аспекте, так и в практическом отношении стал толчком для проведения новых комплексных исследований [6, 8, 9], в том числе с применением петро- и палеомагнитных методов [16–18]. В результате было выделено и изучается Кун-Маньенское платино-медно-никелевое рудное поле, в центральной части которого располагается крупное по запасам медно-никелевых с платиноидами руд месторождение Кун-Манье [8, 9]. Никеленосные магматические породы месторождения принадлежат габбронорит-вебстерит-лерцолитовой формации [8]. Они представлены вебстеритами, плагиовебстеритами, габброноритами, лерцолитами, реже гарцбургитами и кортландитами, а также тальк-амфиболовыми, амфибол-серпентин-тальковыми и актинолит-серпентиновыми сланцами [5, 6]. Исходя из широкого их распространения и близкого вещественного состава, эти интрузивные тела были выделены в качестве самостоятельного кун-маньенского комплекса с названием по петротипической местности [5, 6]. Среди образований этого комплекса наиболее широко распространены два морфогенетических типа интрузий: силлы и дайки [8, 9].

В настоящей статье обсуждаются новые результаты петро- и палеомагнитных исследований

палеопротерозойских мафит-ультрамафитов Кун-Маньенского рудного поля, расположенного на восточном фланге одной из крупнейших орогенных структур – Пристанового коллизионного пояса. Получение петро- и палеомагнитных характеристик, по сути – первых, для двух разных морфогенетических типов интрузий кун-маньенского комплекса было направлено на достижение следующей цели: оценка стадийности мафит-ультрамафитового магматизма и времени его формирования, а также поиск новых эффективных и экономически выгодных методов исследований (выявления) структур подобного типа. Для достижения цели потребовалось решение следующих задач: 1) установление минералов-носителей магнетизма в изученных образцах; 2) выделение древних характеристических компонент намагниченности кун-маньенских мафит-ультрамафитов и оценка продолжительности (стадийности) магматизма; 3) определение (исследование) связи между анизотропией начальной магнитной восприимчивости пород исследуемых силлов и даек и элементами залегания этих же интрузий (положение тел в пространстве); 4) сопоставление полученных палеомагнитных данных с палеопротерозойской траекторией кажущейся миграции полюса Сибирского кратона.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ

Кун-Маньенское рудное поле, расположенное в бассейне рек Кун-Манье и Мая (рис. 2), детально изучено геолого-геофизическими и геохимическими методами, пройдено значительное количество траншей

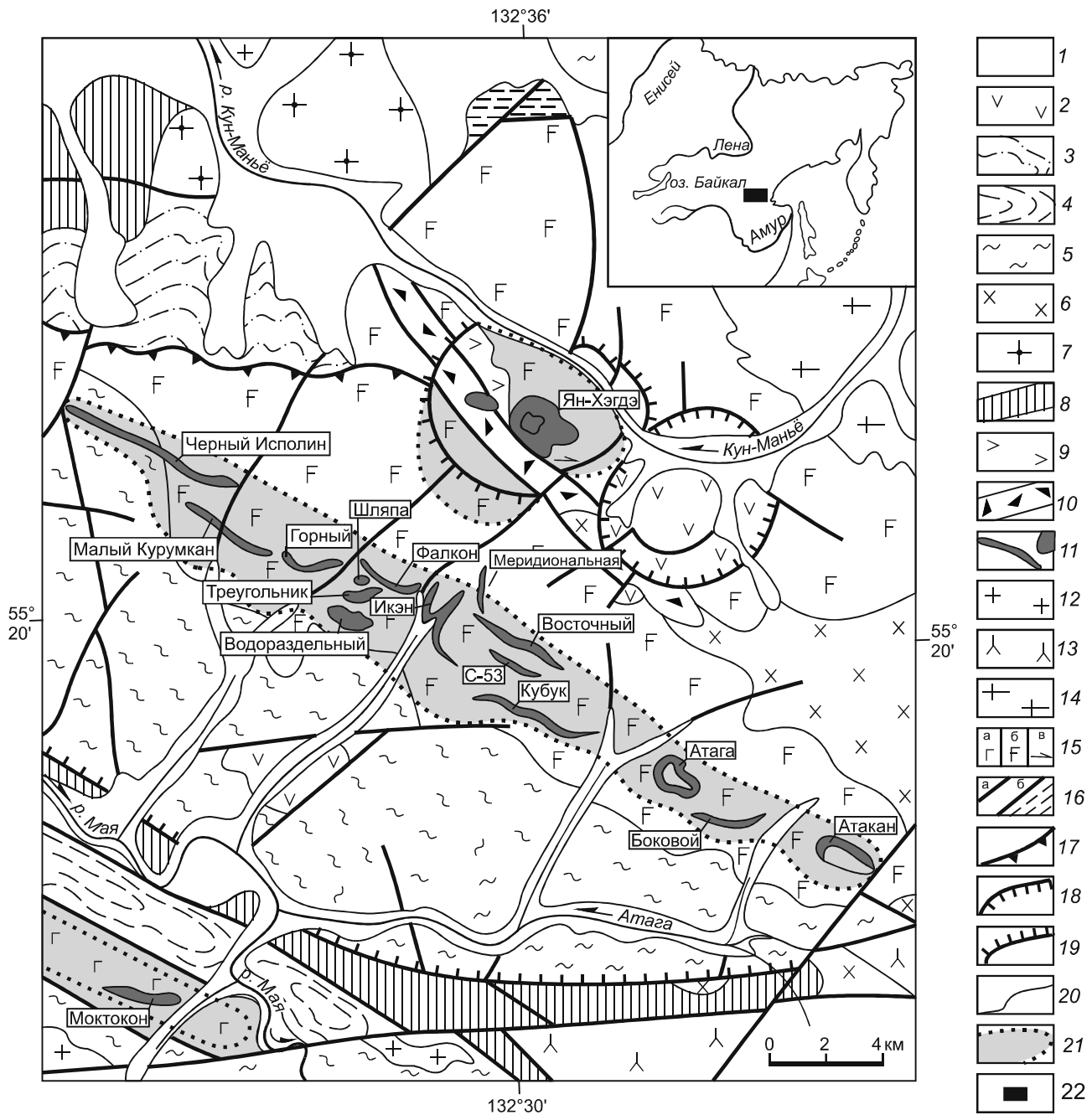


Рис. 2. Схема геологического строения центральной части Кун-Маньенского рудного узла и расположения рудоносных интрузий мафит-ультрамафитов (В.А. Гурьянов, 2012 г., по материалам ЗАО «Кун-Манье»).

1 – четвертичные отложения; 2 – меловые эффузивы; 3 – верхнеюрские туфогенно-осадочные образования; 4 – нижнепротерозойская толща зеленых сланцев с прослоями известняков и метабазальтов; 5 – архейские гнейсы и сланцы (гранулиты); 6 – меловые гранитоиды; 7–11 – палеопротерозойские образования: 7 – гранитоиды, 8 – диафориты и динамометаморфиты зон разломов, 9 – лейконориты, 10 – приразломные блястокатаклазиты, 11 – мафит-ультрамафиты кун-маньенского комплекса – рудные тела и залежи (с сульфидным медно-никелевым оруденением); 12, 13 – позднеархейские граниты (12) и плагииграниты (13); 14–15 – архейские гранитогнейсы (14), габбро (15 а), метагаббро (15 б), метаанортозиты (15 в); 16 – разрывные нарушения (а) и зоны рассланцевания (б); 17 – надвиги; 18 – сбросы; 19 – взбросы; 20 – геологические границы; 21 – контуры ареалов малых тел никеленосных мафит-ультрамафитов (I – Кун-Маньенское рудное поле, II – ареал Ян-Хэгдэ, III – Моктоконский ареал); 22 – на врезке – район исследований.

и канав, пробурено более 400 скважин; в настоящее время ЗАО «Кун-Манье» продолжает разведочные работы по наращиванию запасов [9]. В плане рудное поле представляет собой линейно вытянутый в юго-восточном направлении рой интрузий никеленосных мафит-ультрамафитов среди архейских метагабброидов (2.94 млрд лет), кристаллосланцев и гнейсов джанинской серии (3.04–3.13 млрд лет) [7, 28]. Общая его протяженность – 31 км при ширине от 2 до 3 км. Пространственно оно приурочено к зоне влияния Майского глубинного разлома. В строении этого ареала принимают участие около 160 различных по протяженности и мощности интрузивов, как правило с признаками расслоенности, расположенных группами, часто в несколько ярусов по вертикали, реже отмечаются разрозненные одиночные тела. Наиболее распространенными породами в составе этих интрузивов являются тонко- и мелкозернистые, реже среднезернистые и порфириовидные плагиовестериты, вебстериты, габбронориты и лерцолиты, обладающие массивной, в эндоконтактных частях тел такситовой, линейной или сланцеватой текстурами [7, 9, 28]. Среди них выделяются две возрастных группы малых тел: более ранняя (силлы) и поздняя (дайки) [4, 5, 8, 9]. Более ранние мафит-ультрамафиты, претерпевшие динамометаморфические преобразования и превращенные на контактах силлов в плагиоклаз-тальк-амфиболовые, актинолит-серпентиновые и амфибол-серпентин-тальковые сланцы, иногда секутся поздними, почти неизменными плагиовестеритами и вебстеритами. Силлы представляют собой полого падающие (от 1–3 до 30°) на северо-восток линзовидные тела мощностью от 1 до 80 м и протяженностью от 100–250 м до 3–5 км. Они трассируют протяженные, с пологими в северо-восточных румбах углами падения тектонические швы зоны влияния Майского глубинного разлома [8, 12, 28]. В таких тектонических швах заключены, как правило, линзовидные и силлообразные тела (силлы) никеленосных мафит-ультрамафитов с сульфидной минерализацией Кун-Маньенского рудного и других рудоносных полей. Приконтактные ограничения, зоны бластомилонитизации в кровле и подошве силлов мощностью от первых метров до 30 м сложены хлорит-плагиоклаз-актинолитовыми сланцами и микрогнейсами. Установлено, что пространственная ориентировка сланцеватости в таких зонах и положение заключенных в них линзовидных и силлообразных тел, как правило, совпадают. В то же время они занимают секущее положение по отношению к гнейсовидности вмещающих их архейских метагаббро и складчатости метаморфических толщ. Эти нарушения являются основными рудовмещающими и рудоконтролирующими тектоническими структурами

для никеленосных мафит-ультрамафитов с сульфидной минерализацией. Дайки в пределах рудного поля распространены незначительно; их мощности варьируются от 1–5 до 75–120 м при протяженности от 250 м до 6.1 км. В отличие от силлов они трассируют разломы с крутыми углами падения (от 50 до 75°) и сложены плагиовестеритами и вебстеритами с признаками скрытой (иногда и без нее) расслоенности. Сходство минералого-геохимических особенностей мафит-ультрамафитов этих двух разных морфогенетических типов интрузий свидетельствует об их генетической общности [28].

Для решения поставленных петро- и палеомагнитных задач было проведено опробование и изучение мафит-ультрамафитовых интрузивов двух морфогенетических типов рудного поля: силлов Икэн и Кубук, даек Черный Исполин и Меридиональная (рис. 2). Отбор ориентированных штуфов для исследований производился по полотну траншеи № 90 (силл Икэн), канавы № 11 (силл Кубук) и скальным выходам ДП-08-1 – ДП-08-7 (дайки Черный Исполин и Меридиональная). Силлы Икэн и Кубук – это грубо расслоенные интрузивные тела, состоящие из субсогласных «слоев» плагиовестеритов, вебстеритов, габброноритов, в кровле и подошве – из плагиоклаз-тальк-амфиболовых сланцев. Разрез силлов состоит из двух структурных частей (ритмов): более мощных «слоев» вебстеритов и плагиовестеритов в центральной части и пачек более тонкого переслаивания габброноритов, вебстеритов и плагиовестеритов в лежачем и висячем боках. Как отмечено выше, контакты силлов Икэн и Кубук с вмещающими их метагабброидами тектонические. Установлено, что в зоне их тектонических контактов отчетливо проявлены пластические, реже хрупко-пластические деформации, а мафит-ультрамафиты на контакте преобразованы в полосчатые плагиоклаз-амфибол-пироксеновые и плагиоклаз-тальк-амфиболовые породы, характеризующиеся типичными бластомилонитовыми текстурами [5, 6]. Структурно-минералогические исследования позволили установить, что полосчатость этих пород обусловлена ориентировкой амфиболов, пироксенов, биотита и плагиоклазов. Она параллельна положению тектонических контактов силлов и указывает, скорее всего, на синметаморфическую их природу. По мере удаления от контактов полосчатая текстура сменяется такситовой с переходом в массивную. В разрезе центральная часть силлов представлена сравнительно более мощными «слоями» массивных вебстеритов и плагиовестеритов, где ориентировка зерен отсутствует. Переходы между «слоями» внутри ритмов постепенные, а границы между ритмами – четкие.

Силл Икэн (рис. 2) оконтурен и детально изучен по сети буровых скважин. Его протяженность по простиранию – 2.4 км, по падению – 1.5 км. Мощность тела изменяется от 40 м в центре до полного выклинивания на северо-восточном фланге, на юго-западном фланге (при выходе на дневную поверхность) достигает 20 м (траншея № 90). В последнем случае часть интрузива срезана поперечным разрывным нарушением. В полотно траншеи – массивные мелкозернистые плагиовестериты, габбронориты и редкие маломощные прослои вебстеритов с признаками катаклаза; переходы между породами постепенные. На петро- и палеомагнитные исследования отобраны ориентированные штуфы из плагиовестеритов и габброноритов центральной части силла. Минеральный состав этих пород: оливин (от 0 до 10 %), ортопироксен (25–60 %), клинопироксен (5–30 %), плагиоклаз № 46–54 (5–35 %), керсутит (1–10 %), флогопит (до 2 %), зеленая шпинель (1–5 %), сульфиды (3–10 %). Вторичные минералы (от 1–3 % до 15 %) представлены тальком, серпентином и актинолитом, в тонких просечках отмечается кальцит. Изученные породы содержат (усредненные значения по 6 пробам, в мас. %) 45.8 SiO₂, 0.78 TiO₂, 9.36 Al₂O₃, 15.59 Fe₂O₃^{общ.}, 0.18 MnO, 15.68 MgO, 8.13 CaO, 1.33 Na₂O, 0.47 K₂O, 0.07 P₂O₅ при Ni от 0.35 до 1.77 % [9]. Возраст плагиовестеритов и габброноритов силла Икэн охарактеризован U-Pb по цирконам датировками (млн лет): 1720 ± 12 (скв. 13, пр. 156, 55°20'10", 132°27'), 1700 ± 12 (траншея, пр. 95, 55°19'55", 132°26'45"), 1760 ± 10 (скв. 11, пр. 81, 55°20', 132°28'), 1685 ± 10 (скв. 14, пр. 236, 55°20', 132°27'10") [7, 9]. Цирконы представлены субидiomорфными замутненными и прозрачными кристаллами короткопризматического габитуса (от 60 до 120 мкм в диаметре), темно-вишневого и розоватого цвета, с реликтами включений и следами деформаций. По данным [7, 8], вебстериты этого силла (траншея, пр. 95) с Sm-Nd изохронным возрастом по породе 1812±66 млн лет характеризуются T_{Nd}(DM) = 2.18 млрд лет (ε_{Nd}(T) = +2.8) (ЦИИ ВСЕГЕИ).

Силл Кубук (рис. 2) скважинами прослежен на 900 м по простиранию (полностью не оконтурен) и на 450 м по падению. Интрузив постепенно погружается по падению на север с увеличением мощности до 70.8 м. Видимая мощность тела, выходящего на дневную поверхность, по полотну канавы 11 составляет 27.7 м. Отобранные ориентированные штуфные пробы по полотну выработки представлены вебстеритами и плагиовестеритами, контакты между ними постепенные. Минеральный состав этих пород: ортопироксен (30–45 %), клинопироксен (18–25 %), оливин (10–45 %), плагиоклаз № 50–58 (от 0–25 %), кер-

сутит (5–10 %), зеленая шпинель (до 5 %), сульфиды (1–10 %); вторичные минералы (от 1 до 10–15 %): актинолит-тремолит, серпентин, хлорит, тальк, кальцит. Усредненные (по трем пробам) содержания породообразующих оксидов в вебстеритах (в мас. %): SiO₂ – 42.12, TiO₂ – 0.38, Al₂O₃ – 5.45, Fe₂O₃ – 5.48, FeO – 9.98, MnO – 0.17, MgO – 26.18, CaO – 5.55, Na₂O – 0.45, K₂O – 0.12, P₂O₅ – 0.12 при Ni до 1.10 %.

Дайка Черный Исполин расположена на северо-западном фланге Кун-Маньенского рудного поля (рис. 2). Протяженность ее 6.1 км, мощность колеблется от 10 до 60 м, в раздувах достигая 100 м. Отобрано три сайта проб через 500 м по коренным выходам из массивных средне-мелкозернистых оливин-плагиоклазовых вебстеритов обоих эндоконтактных частей дайки. Минеральный состав пород эндоконтактной фации: оливин (от 1–3 до 10 %, редко до 30 %), гиперстен (20–60 %), диопсид (10–35 %), плагиоклаз № 51–57 (от 0.1 до 20 %), красно-бурая роговая обманка (1–10 %), флогопит (от 0.1 до 10 %), зеленая шпинель (1–5 %). Вторичные изменения в эндоконтактной зоне дайки проявлены незначительно (до 1–5 %). Акцессорные и рудные минералы (1–10 %): пирротин, пентландит, халькопирит, хромит, магнетит, ильменит и апатит. Содержания породообразующих оксидов в вебстеритах следующие (среднее по 20 пробам, в мас. %): SiO₂ – 47.40, TiO₂ – 0.56, Al₂O₃ – 6.88, Fe₂O₃^{общ.} – 13.13, MnO – 0.17, MgO – 20.68, CaO – 8.31, Na₂O – 0.78, K₂O – 0.20, P₂O₅ – 0.06 при Ni около 0.49 %. Исследуемые породы этой дайки относятся к ряду низкощелочных и характеризуются низкой глиноземистостью, низкими содержаниями TiO₂ и суммы щелочей. На тройной диаграмме Al₂O₃-MgO-(Fe₂O₃^{общ.} + TiO₂) точки составов пород дайки попадают в поле коматитов и коматитовых базальтов [9].

Дайка Меридиональная расположена в центральной части Кун-Маньенского рудного поля в 8.5 км к юго-востоку от дайки Черный Исполин (рис. 2). Протяженность ее – 250 м, мощность – от 7 до 16 м. На местности дайка представлена грядой скальных выходов, по которым отобрано два сайта проб через 120 м. Отобранные пробы представлены массивными мелкозернистыми плагиоклазсодержащими кортландитами или роговообманковыми плагиовестеритами. По структурно-текстурным особенностям и составу они близки к породам вышеописанной дайки, но отличаются от них более высокими содержаниями роговой обманки (12–18 %), оливины (22–25 %), гиперстена, отсутствием сульфидной вкрапленности. По химизму кортландиты довольно однотипны (усредненные содержания по трем пробам, в мас. %): SiO₂ – 43.75, TiO₂ – 0.75, Al₂O₃ – 7.19, Fe₂O₃^{общ.} – 13.25, MnO – 0.17, MgO ~ 26.77, CaO ~ 5.37, Na₂O₃ – 1.10, K₂O₃ – 0.30,

$P_2O_5 - 0.09$. Для них в отличие от пород силлов и дайки Черный Исполин характерны более высокие концентрации Ta, Nb, Zr, Th.

Определение (подтверждение) положения изученных рудоносных тел в пространстве – одна из основных задач наших петромагнитных исследований, решение которой может оказаться экономически выгодным при проведении обзорных поисков и поисково-оценочных работ.

Анализ строения рудного поля свидетельствует, что магматизм и рудообразование происходили в несколько этапов. Наличие силлов, различающихся по своему внутреннему строению, составу пород (от габброноритов до лерцолитов, рудных и безрудных) и различных по морфологии на разных глубинах, а также их связь с тектоническими дислокациями говорят о многоактности происходивших процессов. Так установлено, что в структуре рудного поля дайка Меридиональная занимает четко секущее положение по отношению к силлообразным телам (рис. 2) и, скорее всего, завершает этап мафит-ультрамафитового магматизма в палеопротерозое. Проблема возраста, соответственно многоэтапности или многоактности – вторая, скорее всего, главная задача проводимых исследований. Петро- и палеомагнитные методы исследования в этом рудном районе и, в частности, на одном из крупнейших в России медно-никелевом месторождении Кун-Манье находятся еще на стадии эксперимента, и поэтому актуально ставить вопрос о продолжении этих работ.

МЕТОДИКА ПЕТРО- И ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Надежность петро- и палеомагнитных результатов обеспечивалась качественным отбором образцов горных пород и применением современных методик измерений [13, 19, 22 и др.] на высокоточном оборудовании производства России, Чехии и США (ИГП, ТАФ-2, JR-6A, MFK-1FA, 2G Enterprise).

Отбор образцов для петромагнитного и палеомагнитного исследований производился сайтами (точками отбора) в количестве от 10 до 30 азимутально ориентированных штучных проб в каждом.

Для определения петромагнитных характеристик минералов-носителей магнетизма в горной породе были проведены работы по изучению магнитной текстуры вещества и ряда других параметров. Более подробно данная методика рассмотрена в [10, 11].

Величина начальной магнитной восприимчивости k_m (физическая величина, характеризующая зависимость намагниченности вещества от напряженности магнитного поля) измерялась в 64 положениях на

каппа-мосте MFK-1FA (производство Чехия, AGICO, чувствительность $5 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ). Такое количество положений в автоматическом режиме позволяет исключить лабораторные помехи и добиться высокой достоверности данных измерений. Все данные, полученные в процессе измерения, обрабатывались комплексом программ SAFYR и AnySoft (AGICO, Чехия). В SAFYR рассчитывались направления главных осей эллипсоида анизотропии начальной магнитной восприимчивости с углами доверия по каждой из осей. Далее, в AnySoft, полученные направления переносились на стереограммы для анализа характера их распределения на сфере.

Измерение остаточной намагниченности в процессе температурной чистки выполнялись на спинмагнитометре JR-6a (производство Чехия), а также на криогенном магнитометре 2G Enterprise (пр-во США). При переносе из немагнитной печи к измерительному прибору образцы помещались в контейнер из μ -металла. Все образцы размагничивались, как правило, до температуры 600–630°C. Шаг нагрева зависел от поведения вектора намагниченности в ходе температурной чистки и изменялся от 100°C до 5°C.

Выделение компонент естественной остаточной намагниченности производилось методом компонентного анализа с использованием пакета программ PMGSC (версия 4.2) Р. Энкина [26]. Выделялись компоненты, соответствующие на ортогональных диаграммах прямолинейным отрезкам, рассчитанные по 2–4 точкам ступенчатой чистки. В дальнейшем подвергалась анализу высокотемпературная компонента намагниченности, выделяющаяся в интервале 450–630°C и спадающая в начало координат.

Проведенные петромагнитные исследования мафит-ультрамафитов Кун-Маньенского рудного поля можно разделить на два этапа. Первый – проведение термомагнитного анализа представительного ряда изученных образцов с целью определения точек Кюри магнитных минералов-носителей магнетизма в породе. Данный этап необходим для диагностики магнитных минералов, а также разработки оптимального алгоритма палеомагнитной чистки исследуемых образцов.

Второй этап включает в себя измерения начальной магнитной восприимчивости и ее анизотропии во всех исследуемых образцах пород. Данные исследования необходимы для расчета главных осей эллипсоида анизотропии начальной магнитной восприимчивости, определения формы эллипсоида, оценки корреляционной связи между величинами начальной магнитной восприимчивости и ее анизотропии, а также определения связи между формами геологического

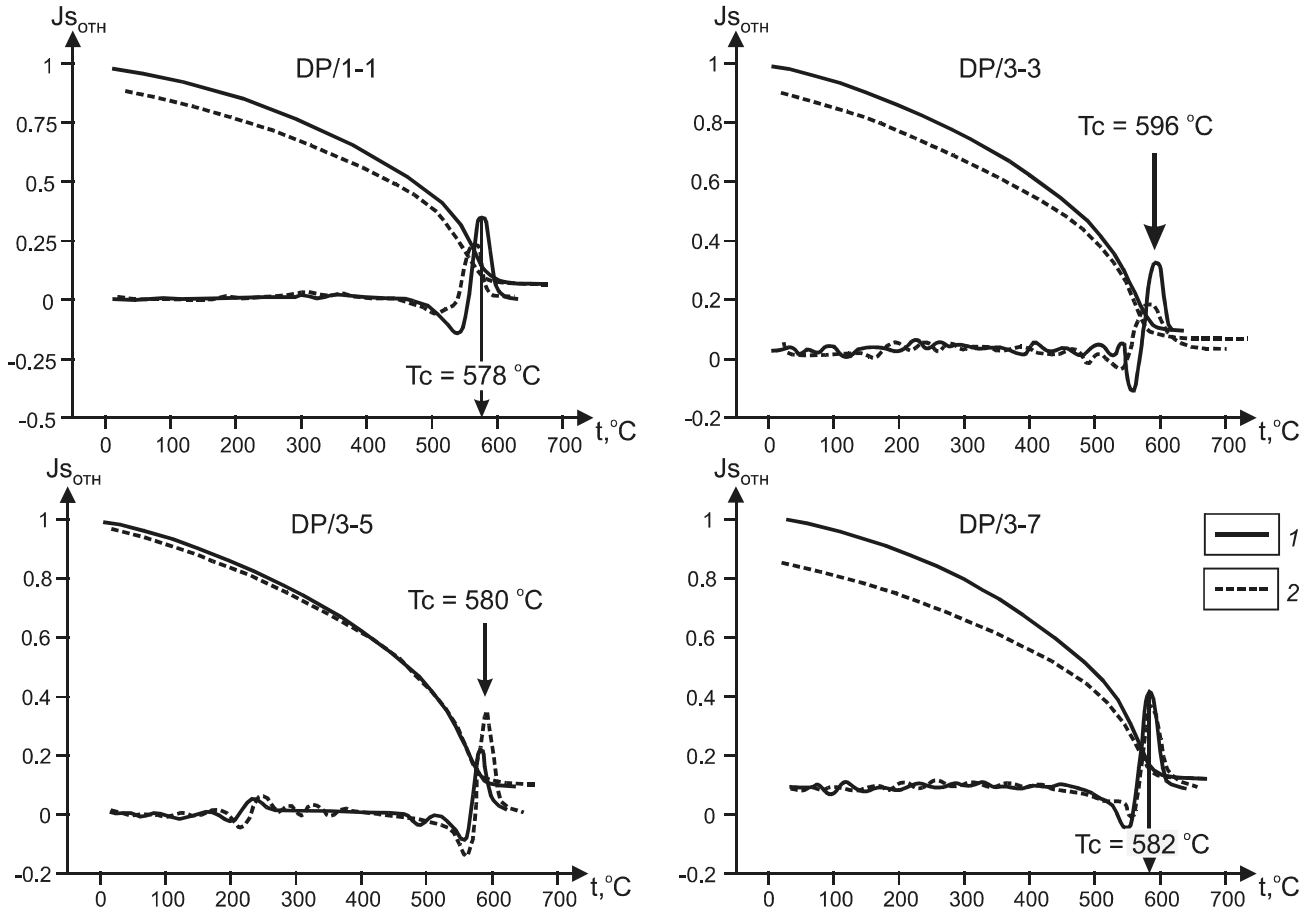


Рис. 3. Характеристика состава ферримагнитной фракции мафит-ультрамафитов кун-маньенского интрузивного комплекса.

1 – зависимость намагниченности насыщения (J_s) от температуры при первичном нагреве (верхняя кривая) и ее производная $d(J_s)/d(T)$ (нижняя кривая); 2 – зависимость намагниченности насыщения (J_s) от температуры при повторном нагреве (верхняя кривая) и ее производная $d(J_s)/d(T)$ (нижняя кривая).

тела и эллипсоида анизотропии начальной магнитной восприимчивости.

Терромагнитный анализ. Анализ зависимостей намагниченности насыщения от температуры (J_s – T) представительного ряда образцов вебстеритов и кортландитов показал, что они представлены ферримагнитным видом кривых. Зависимости J_s – T имеют однофазный вид с точками Кюри (T_c) – 570–610 °C (рис. 3). Ферримагнетики изученных образцов достаточно стабильны к нагревам: для большинства образцов отношение величины намагниченности насыщения после нагрева до 700 °C к начальной составляет не менее 70–90 % (рис. 3). Опираясь на результаты терромагнитного анализа, можно заключить, что минералом-носителем магнетизма в изученных мафит-ультрамафитах являются магнетит и его катион-дефицитные разновидности.

Анизотропия начальной магнитной восприимчивости. Взаимосвязь магнитной анизотропии (МА)

пород и их текстуры позволяет использовать метод изучения МА как метод структурно-петрографического анализа [23]. В горных породах с ярко выраженными текстурными элементами (сланцеватость, слоистость и т.д.) нередки случаи, когда МА приурочена к этим элементам. Для плутонических пород характерен большой разброс значений величины магнитной анизотропии, причем последняя выше у пород с деформационной магнитной текстурой, чем у пород с магнитной текстурой течений [23]. Самым разработанным и наиболее эффективным методом изучения магнитной анизотропии является метод определения последней по начальной магнитной восприимчивости пород (метод слабого поля). Анизотропия начальной магнитной восприимчивости (АМВ) описывается тензором второго порядка и определяется на ряде измерительных приборов (в настоящей работе – на каппа-мосте МФК-1ФА). Графически АМВ представляется в виде эллипсоида. Форма эллипсоида зависит

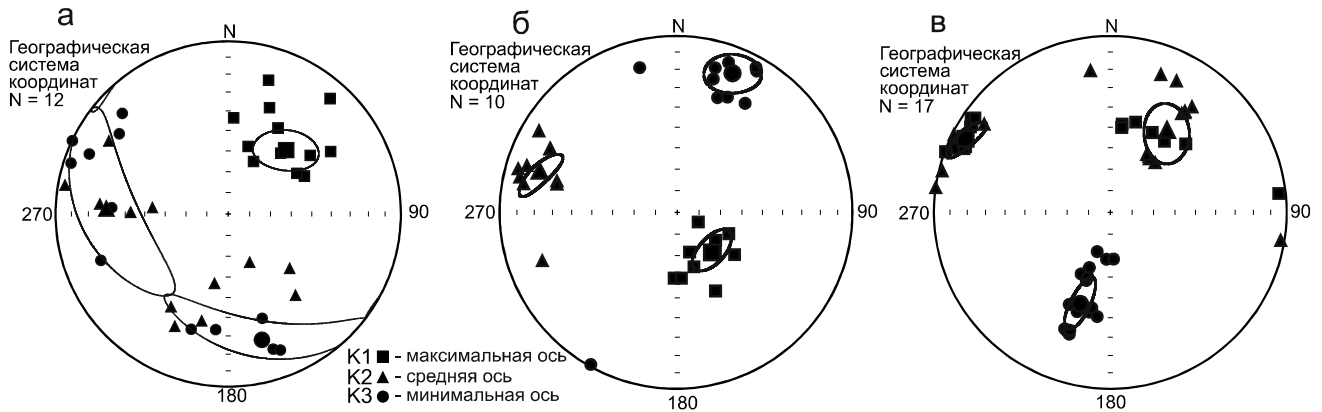


Рис. 4. Результаты анализа анизотропии начальной магнитной восприимчивости мафит-ультрамафитов кун-маньенского интрузивного комплекса – стереограммы распределения главных осей эллипсоидов анизотропии начальной магнитной восприимчивости для образцов из даек «Черный Исполин» (а), «Меридиональная» (б) и силла «Кубук» (в).

от длин его максимальной (K1), средней (K2) и минимальной (K3) осей, которые эквивалентны измеряемым величинам магнитной восприимчивости в образце. Отношения длин осей определяют тип эллипсоида АМВ: плоскостной, если отношение $E = (K1 \cdot K2) / (K3 \cdot K1) > 1$; линейный, если $E < 1$; и изотропный тип при $E=1$. Метод изучения АМВ был неоднократно использован для решения ряда задач структурной геологии и глубинного картирования [например, 29].

Изученные образцы пород из даек «Черный Исполин» и «Меридиональная» имеют преимущественно плоскостной тип эллипсоида АМВ. Направление максимальной оси эллипсоида АМВ (K1) соответствует азимуту и углу падения дайки (табл. 1, рис. 4 а, б). Зависимости величины АМВ (P) от величины магнитной восприимчивости (km) не наблюдается, что свидетельствует об отсутствии либо незначительном влиянии вторичных процессов, повлиявших на магнитную текстуру вещества. АМВ изученных образцов связана с формой геологического тела: элементы залегания изученных даек совпадают с направлениями максимальных осей эллипсоидов АМВ.

На рис. 4 в показаны направления осей эллипсоида АМВ образцов плагиовестеритов и габброноритов, отобранных из силла «Кубук». Фигуративные точки изученных образцов тяготеют к области плоскостного типа эллипсоида АМВ (рис. 4 в). Направление максимальной оси эллипсоида (K1) соответствует направлению простирания силла, а средней оси (K2) – азимуту и углу его падения (табл. 1). Для изученных образцов из силла «Икэн» не отмечается связи между формой геологического тела и направлениями осей эллипсоида АМВ. Это, по всей вероятности, связано с наличием вторичных (наложенных) процессов, повлиявших на магнитную текстуру вещества, на что

указывает высокая корреляционная зависимость ($R = 0.86$) между величинами P (величина анизотропии начальной магнитной восприимчивости) и km (величина начальной магнитной восприимчивости) [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Палеомагнитные исследования пород Кун-Маньенского рудного поля включали в себя: термомагнитную чистку образцов и измерение их намагниченности после каждого шага нагрева; оценку компонентного состава намагниченности в образцах; выделение древней характеристической компоненты намагниченности и расчет палеомагнитного полюса.

В 33 из 64 изученных образцов пород установлена древняя характеристическая («идущая» на ортогональных диаграммах в начало координат) компонента намагниченности (ChRM). Данная компонента намагниченности установлена во всех изученных интрузивных телах кун-маньенского комплекса (табл. 2, рис. 5) В остальных образцах (с наименьшими значениями отношения Кенигсбергера) фиксируется намагниченность с направлением, близким к направлению геомагнитного поля Земли в точке отбора.

В качестве примера приведем результаты термомагнитной чистки образцов мафит-ультрамафитов всех изученных геологических тел, в которых установлена ChRM.

В образце кортландитов DP08/3-3 из дайки «Меридиональная» (рис. 5 а) установлена высокотемпературная характеристическая компонента намагниченности (ChRM-A). Данная компонента выделяется по трем точкам в диапазоне температур 595–620 °С. В половине изученных образцов из дайки «Меридиональная» установлена аналогичная ChRM-A. В остальных 12 образцах естественная остаточная намагничен-

Таблица 1. Элементы залегания геологических тел и направления осей эллипсоида анизотропии начальной магнитной восприимчивости.

Геологическое тело	Элементы залегания		N	Анизотропия начальной магнитной восприимчивости					
	Аз. падения, °	Угол падения, °		max		int		min	
				Dec, °	Inc, °	Dec, °	Inc, °	Dec, °	Inc, °
Дайка «Черный Исполин»	35–45	50–60	12	45	50	271	30	165	25
Дайка Меридиональная»	110–120	60–65	15	130	64	285	20	21	16
Силл «Икэн»	35–45	30–40	10	338	60	106	20	204	22
Силл «Кубук»	35–45	30–40	17	295	8	33	40	198	45

Примечание. N – количество определений (образцов); max, int, min – максимальная, средняя, минимальная оси эллипсоида анизотропии начальной магнитной восприимчивости, соответственно; Dec, Inc – величины склонения и наклонения осей эллипсоида анизотропии начальной магнитной восприимчивости, соответственно.

Таблица 2. Характеристические компоненты намагниченности (ChRM).

№ сайта	ϕ , °	λ , °	Геологическое тело	N ₁	N ₂	Dec _g , °	Inc _g , °	K _g	a ₉₅ , °
DP08/1	55.34	132.45	Дайка «Меридиональная»	15	8	22.8	42.1	10.9	17.5
DP08/3	55.34	132.45	Дайка «Меридиональная»	9	4	38.0	38.8	30.1	17.0
DP08/7	55.38	132.31	Дайка «Черный Исполин»	15	6	40.8	29.6	29.2	12.2
I	55.33	132.41	Силл «Икэн»	10	5	56.7	58.7	24.1	15.9
K	55.28	132.52	Силл «Кубук»	15	10	61.8	54.6	24.7	9.9
Среднее по дайкам (ChRM–A)				39	18	32.9	37.4	15.4	9.1
Среднее по силлам (ChRM–B)				25	15	60.2	56.0	25.8	7.7
Среднее по образцам				64	33	43.1	46.7	13.1	7.2
Координаты палеомагнитного полюса				Plat = -48.8°; Plong = 66.0°; d_p = 9.3; d_m = 6.0					
Среднее по сайтам				(5)	(5)	42.2	45.5	26.3	15.2
Координаты палеомагнитного полюса				Plat = -48.4°; Plong = 67.9°; d _p = 19.3; d _m = 12.3					

Примечание. ϕ , λ – широта и долгота точки отбора; N₁ – общее количество образцов; N₂ – количество образцов, в которых установлена ChRM; Dec_g, Inc_g – величины склонения и наклонения ChRM, соответственно; K_g, a₉₅ – статистические параметры ChRM: кучность распределения и овал доверия, соответственно.

ность (NRM) имеет однокомпонентный состав с направлением, близким к направлению современного геомагнитного поля Земли в районе исследования.

В образце DP08/7-6 из дайки «Черный Исполин» (рис. 5 б) выделяется аналогичная, по сравнению с образцами из дайки «Меридиональная», характеристическая компонента намагниченности (ChRM–A). Данная компонента установлена в 6 из 15 изученных образцов и выделяется в диапазоне температур 590–630 °С.

В образцах плагиовестеритов I4/1-1 и K4/3 (рис. 5 в, г) из силлов «Икэн» и «Кубук», соответственно, фиксируется высокотемпературная характеристическая компонента намагниченности ChRM–B. Данная компонента статистически отличается от выделенной в дайках «Меридиональная» и «Черный Исполин» компоненты ChRM–A ($\gamma/\gamma_c = 26^\circ/12^\circ$ [30]). ChRM–B установлена в 15 из 25 изученных образцов в диапазоне температур 570–600 °С (табл. 2).

Среднее направление ChRM–A, установленное в дайках «Черный Исполин» и «Меридиональная»,

имеет следующие значения: Dec = 32.9°, Inc = 37.4°, K = 15.4, a₉₅ = 9.1° (рис. 6 а, табл. 2). Среднее направление ChRM–B, полученное по силам «Икэн» и «Кубук», составляет: Dec = 60.2°, Inc = 56.0°, K = 25.8, a₉₅ = 7.7° и статистически отличается от среднего направления ChRM–A ($(\gamma/\gamma_c = 26^\circ/12^\circ)$) (рис. 6 б, табл. 2).

ЭТАПЫ МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И РАСЧЕТ ПАЛЕОМАГНИТНОГО ПОЛЮСА

Различие между направлениями ChRM–A и ChRM–B (рис. 6 а, б, табл. 2) связано, по нашему мнению, с различными этапами внедрения силлов и даек и указывает на первичность выделенных характеристических компонент намагниченности, поскольку при факте перемагничивания пород ChRM–A и ChRM–B, по всей вероятности, имели бы статистически одинаковые направления. Исходя из этого, мы можем заключить, что направления ChRM–A и ChRM–B фиксируют две стадии формирования Кун-Маньенского рудного поля: одна из которых связана с внедрением силлов, другая – с внедрением даек. Согласно имеющимся оценкам изменения направления геомаг-

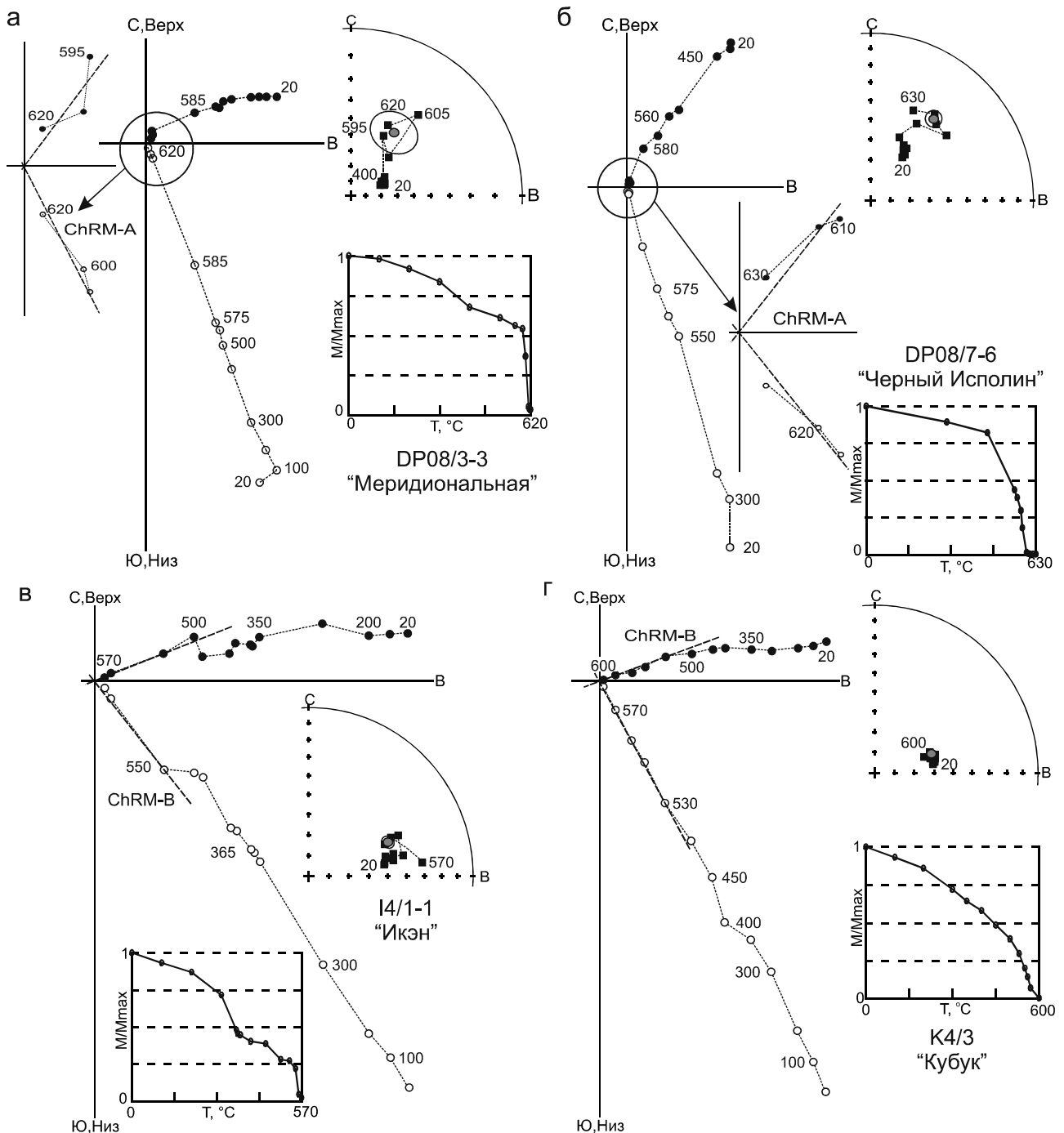


Рис. 5. Результаты ступенчатой термомагнитной чистки естественной остаточной намагниченности (NRM) мафит-ультрамафитов кун-маньенского интрузивного комплекса.

Залитые кружки – проекция вектора NRM на горизонтальную плоскость, полые – проекция вектора NRM на вертикальную плоскость. Цифры у фигуративных точек – температура ступенчатой магнитной чистки, в °C. Диаграммы даны в географической системе координат. Номера образцов даны у каждой диаграммы.

нитного поля Земли [27], которые указывают на то, что изменение направления геомагнитного поля происходит в среднем со скоростью 2° за столетие и больше, можно предположить, что между магматическими этапами был перерыв $\approx 10^3$ лет. Такие оценки для выделе-

ния магматических пульсов были ранее использованы и в работах других авторов [например, 15].

Поскольку перерыв между фиксацией выделенных характеристических компонент намагниченности не превышает 10^4 – 10^5 лет – периода, за который усред-

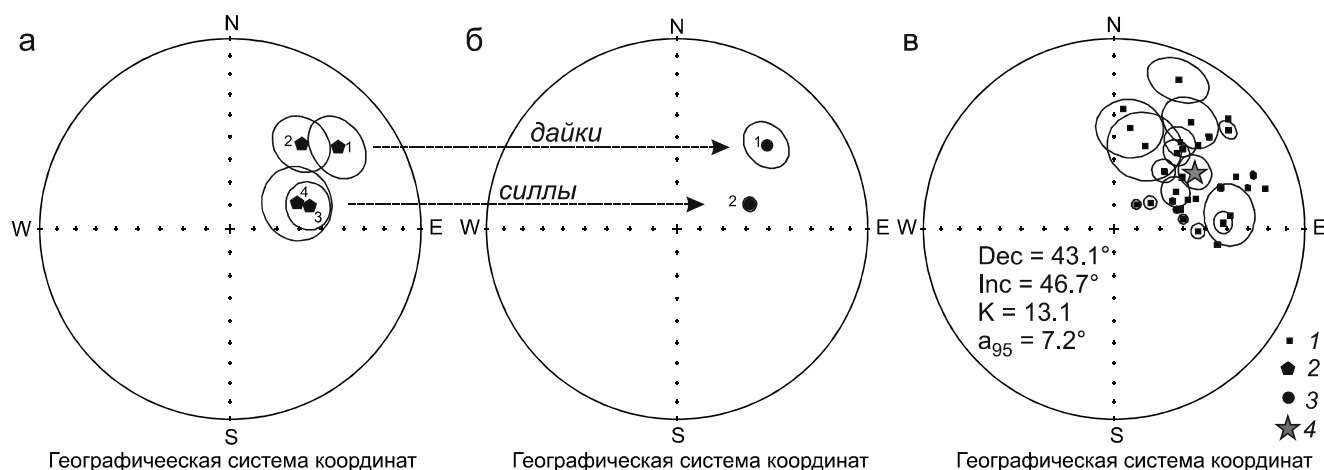


Рис. 6. Распределение проекций направлений высокотемпературной характеристической компоненты намагниченности (ChRM) в мафит-ультрамафитах кун-маньенского интрузивного комплекса для: интрузивных тел (а), типов интрузивных тел (б), образцов (в).

1 – проекция направления ChRM образца; 2 – проекция среднего направления ChRM для каждого интрузивного тела; 3 – проекция среднего направления ChRM для каждого типа интрузивного тела; 4 – проекция среднего направления ChRM для всех изученных образцов.

няется положение палеомагнитного полюса [24], то для расчета последнего мы использовали среднее направление характеристической компоненты намагниченности, рассчитанное по всем изученным образцам мафит-ультрамафитов из силлов «Кубук» и «Икэн», а также даек «Меридиональная» и «Черный Исполин»: $Dec = 43.1^\circ$, $Inc = 46.7^\circ$, $K = 13.1$, $a_{95} = 7.2^\circ$ (рис. 6 в, табл. 2). Координаты рассчитанного палеомагнитного полюса, с учетом поправки за разворот Алдано-Станового блока относительно Ангаро-Анабарского на 25° в палеозое [31], составили: $Plat = -55.3^\circ$, $Plong = 100.8^\circ$, $dp = 9.3^\circ$, $dm = 6.0^\circ$. Положение рассчитанного палеомагнитного полюса близко к сегменту палеопротерозойской траектории кажущейся миграции плюса (ТКМП) Сибири [10, 24] на ≈ 1710 – 1730 млн лет (рис. 7), что согласуется с геохронологическими данными: возраст плагиовестеритов и габброноритов кун-маньенского интрузивного комплекса по U–Pb в цирконах составляет 1700 ± 12 млн лет [6]. Помимо этого рассчитанное положение палеомагнитного полюса подтверждает предложенную в [11] магнитотектоническую модель, согласно которой полное объединение Алдано-Становой и Ангаро-Анабарской тектонических провинций в единый Сибирский кратон произошло около 1720–1730 млн лет назад.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных петромагнитных исследований (терромагнитного анализа) никеленосных мафит-ультрамафитов Кун-Маньенского поля установлено, что минералом-носителем магнетизма в изученных породах являются магнетит и его катион-

дефицитные разновидности с температурами Кюри 570–610 °С. По данным исследования анизотропии начальной магнитной восприимчивости установлена связь между формой эллипсоида анизотропии и формой геологического тела (за исключением силла «Икэн», в котором наблюдается высокая корреляционная зависимость ($R = 0.86$) между величинами начальной магнитной восприимчивости и ее анизотропии).

В результате проведенных палеомагнитных исследований в изученных интрузивных телах выделены древние характеристические компоненты намагниченности (табл. 2): ChRM-A и ChRM-B. По всей вероятности, такое распределение в мафит-ультрамафитах ChRM фиксирует два цикла внедрения интрузий, один из которых связан с внедрением силлов, другой – с внедрением даек. По среднему направлению ChRM для всех изученных образцов были рассчитаны координаты палеомагнитного полюса (табл. 2), которые совпадают, с учетом поправки за раскрытие Вилюйского рифта, с сегментом палеопротерозойской траектории кажущейся миграции плюса (ТКМП) Сибири на ≈ 1710 – 1730 млн лет.

В заключение хотелось бы отметить, что полученные палеомагнитные данные хорошо согласуются с имеющимися геохронологическими определениями [6, 9], что дополнительно свидетельствует о первичности выделенной в мафит-ультрамафитах характеристической компоненты естественной остаточной намагниченности. Помимо этого, установленные различия между выделенными направлениями ChRM-A и ChRM-B открывают перспективы для более полно-

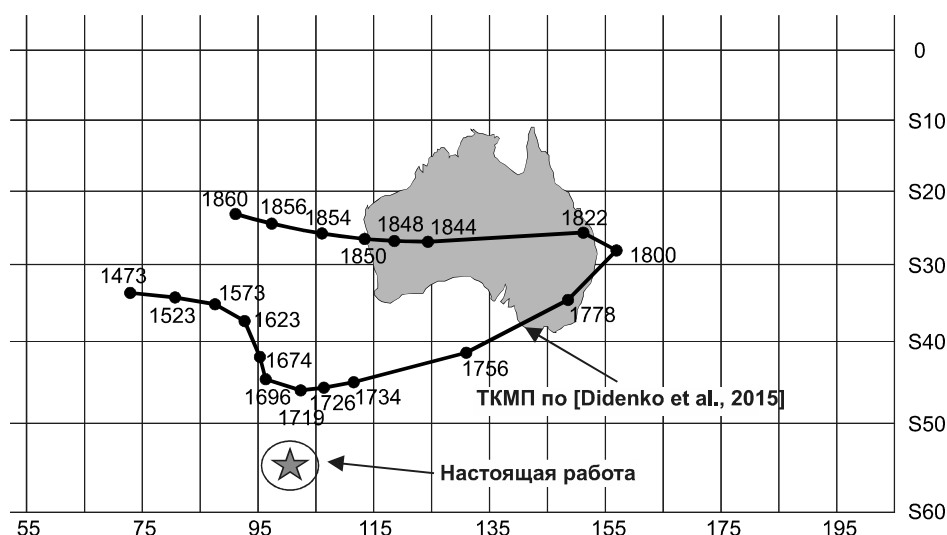


Рис. 7. Положение палеопротерозойского палеомагнитного полюса мафит-ультрамафитов кун-маньенского интрузивного комплекса с учетом поправки за раскрытие Вилнойского рифта [29] в сопоставлении с ТКМП Сибирского кратона [10, 25].

го петро- и палеомагнитного исследования при крупномасштабных геологических и поисковых работах кун-маньенского интрузивного комплекса и структур подобного рода с целью оценки продолжительности и стадийности мафит-ультрамафитового магматизма на стадии формирования интрузивных комплексов. Вместе с этим изучение анизотропии начальной магнитной восприимчивости и ее связи с элементами залегания геологических тел может стать новым эффективным и экономически выгодным методом геологоструктурного исследования с целью определения элементов залегания интрузивных тел при проведении геологосъемочных и поисково-оценочных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрецов Н.Л., Буслов М.М. О проблемах геодинамики, тектоники и металлогении складчатых областей // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 9. С. 1911–1926.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. кн. 2. С. 573–981.
3. Глебовицкий В.А., Хильтова В.Я., Козаков И.К. Тектоническое строение Сибирского кратона: интерпретация геолого-геофизических, геохронологических и изотопно-геохимических данных // Геотектоника. 2008. № 1. С. 12–26.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации (третье поколение). 1:1000 000. Дальневосточная серия. Лист N 53. Шантарские острова: Объясн. зап. / В.Ю. Забродин, А.М. Бородин, В.А. Гурьянов, В.Н. Зелепугин и др. / Ред. Г.В. Роганов. СПб: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2009. 448 с.
5. Гурьянов В.А., Приходько В.С., Пересторонин А.Н., Петухова Л.Л., Потоцкий Ю.П., Соболев Л.П., Абдиязов П.А. Никеленосные мафит-ультрамафиты Восточного Становика // Геология, география и биологическое разнообразие Северо-Востока России: Материалы Дальневосточной региональной конференции. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. С. 117–119.
6. Гурьянов В.А., Приходько В.С., Пересторонин А.Н., Потоцкий Ю.П., Петухова Л.Л., Соболев Л.П. Новый тип медно-никелевых месторождений юго-востока Алдано-Станового щита // Докл. АН. 2009. Т. 425, № 4. С. 505–508.
7. Гурьянов В.А., Роганов Г.В., Зелепугин В.Н., Розинов М.И., Салтыкова Т.Е. Изотопно-геохронологические исследования цирконов раннекембрийских пород юго-восточной части Алдано-Станового щита: новые результаты, их геологическая интерпретация // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 2. С. 3–21.
8. Гурьянов В.А., Приходько В.С., Песков А.Ю., Петухова Л.Л., Пересторонин А.Н., Косынкин А.В. Платиноносность никеленосных мафит-ультрамафитов Пристанового коллизийного пояса (юго-восток Сибирской платформы) // Отеч. геология. 2014. № 6. С. 48–55.
9. Гурьянов В.А., Приходько В.С., Петухова Л.Л., Песков А.Ю. Геохимические особенности мафит-ультрамафитов даек Кун-Маньенского рудного поля: геодинамический аспект (Восточный Становик) // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Материалы Третьей Всерос. конф. с междунар. участием. Владивосток: ДВГИ ДВО РАН, 2016. С. 159–162.
10. Диденко А.Н., Козаков И.К., Дворова А.В. Палеомагнетизм гранитов Ангаро-Канского выступа фундамента Сибирского кратона // Геология и геофизика. 2009. № 1. С. 72–78.
11. Диденко А.Н., Песков А.Ю., Гурьянов В.А., Пересторонин А.Н., Косынкин А.В. Палеомагнетизм Улканского прогиба (юго-восток Сибирского кратона) // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 1. С. 31–54.
12. Карта полезных ископаемых и минерагенического районирования Приамурья, Западного Приохотья, о. Сахалин и прилегающих к ним участков дна Охотского и Японского морей. 1:1000 000 с пояснительной запиской / Ред. Г.В. Роганов; (состав. Г.В. Роганов, Н.А. Кременецкая, Е.А. Яковлева). Хабаровск: ФГУП «Дальгеофизика», 2008. 88 с.
13. Метелкин Д. В., Казанский А. Ю. Основы магнитотектоники / Учеб. пособие. Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2014. 127 с.
14. Октябрьский Р.А., Соляник А.Н., Ленников А.М. и др. Богороднометальная и оксидная минерализация в массивных сульфидных рудах Джугджурского анортозитового массива // Тихоокеанский рудный пояс: Материалы новых исследова-

- дований. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 391–413.
15. Павлов В.Э., Флуто Ф., Веселовский Р.В., Фетисова А.М., Латышев А.В. Вековые вариации геомагнитного поля и вулканические пульсы в пермо-триасовых траппах норильской и маймеча-котуйской провинции // Физика Земли. 2011. № 5. С. 35–50.
 16. Песков А.Ю., Диденко А.Н., Косынкин А.В. Петро- и палеомагнитные исследования коргландитов кунманьенского интрузивного комплекса // Вестн. ДВО РАН. 2014. № 4 (176). С. 32–39.
 17. Песков А.Ю. Применение анизотропии начальной магнитной восприимчивости при геологосъемочных и поисково-разведочных работах на примере палеопротерозойских пород Алдано-Станового щита // Сборник трудов конференции «XVII краевой конкурс молодых ученых и аспирантов в области наук о жизни и Земле». Хабаровск, 2015. С. 164–167.
 18. Песков А.Ю., Диденко А.Н., Гурьянов В.А. Палеомагнитные и петромагнитные исследования мафит-ультрамафитов Кун-Маньенского рудного поля (юго-восток Алдано-Станового щита) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы Всерос. науч. практ. конф. Якутск: Изд. дом СВФУ, 2016. С. 593–596.
 19. Печерский Д.М., Диденко А.Н. Палеозойский океан: петромагнитная и палеомагнитная информация о его литосфере. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 298 с.
 20. Приходько В.С., Гурьянов В.А., Петухова Л.Л., Пересторонин А.Н. Сульфидная медно-никелевая минерализация палеопротерозойских мафит-ультрамафитов юго-востока Алдано-Станового щита // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанных с ними месторождений: Материалы III междунар. конф. Екатеринбург: ИГГ УРО РАН, 2009. Т. 2. С. 111–114.
 21. Соляник А.Н., Октябрьский Р.А., Ленников А.М., Потоцкий Ю.П., Зарубин Б.А., Сапин В.И. Благороднометалльная минерализация массивных пирротиновых линз в джугджурских анортозитах // Тихоокеан. геология. 1999. Т. 18, № 4. С. 79–84.
 22. Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комисарова Р.А. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.
 23. Шолпо Л.Е., Русинов Б.Ш., Илаев М.Г. и др. Использование магнетизма горных пород при геологической съемке. Л.: Недра, 1986. 224 с.
 24. Butler R.F. Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terranes. Boston: Blackwell Sci. Publ., 1992. 319 p.
 25. Didenko A.N., Vodovozov V.Yu., Peskov A.Yu., Guryanov V.A., Kosynkin A.N. Paleomagnetism of the Ulkan massif (SE Siberian platform) and the apparent polar wander path for Siberia in late Paleoproterozoic–early Mesoproterozoic times // Precambrian Res. 2015. V. 259. P. 58–77.
 26. Enkin, R.J. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data // Pacific Geosci. Centre, Geol. Surv. Canada, 1994. 16 p.
 27. Gallet Y., Genevey A., Le Goff M. Three millennia of directional variation of the Earth's magnetic field in western Europe as revealed by archeological artefacts // Phys. Earth Pl. 2002. Int. V. 131, N 1. P. 1–89.
 28. Guryanov V.A., Peskov A.Yu., Didenko A.N., Prikhodko V.S., Petukhova L.L. Late Paleoproterozoic mafite-ultramafite magmatism of the southeastern Aldan-Stanovoy Shield, and related copper-nickel mineralization (Russian Far East) // Proc. 2-nd Int. Conf. Precambrian Continental Growth and Tectonism / Ed. V.K. Singh, Chandra, India, Jhansi, Institute of Earth Sci. 2011. P. 79–84.
 29. Halvorsen E. The magnetic fabric of some dolerite intrusions, Northeast Spitsbergen: implications for their mode of emplacement // Earth. Planet. Sci. Lett. 1974. V. 21. P. 127–133.
 30. McFadden P.L., McElhinny M.W. Classification of the reversal test in palaeomagnetism // Geophys. J. Int. 1990. V. 103. P. 725–729.
 31. Pavlov V., Bachtadse V., Mikhailov V. New Middle Cambrian and Middle Ordovician palaeomagnetic data from Siberia: Llandelian magnetostratigraphy and relative rotation between the Aldan and Anabar–Angara blocks // Earth & Planet. Sci. Lett. 2008. V. 276 P. 229–242.

Рекомендована к печати Ю.А. Мартыновым

A.Yu. Peskov, A.N. Didenko, V.A. Guryanov

Paleoproterozoic evolution of the mafite-ultramafite magmatism of the Kun-Manie ore field (Aldan-Stanovoy Shield) from paleomagnetic data

Petromagnetic and paleomagnetic results from studies on the Late Paleoproterozoic nickeliferous mafite-ultramafite rocks of the Kun-Manie ore field located in the southeast of the Aldan-Stanovoy Shield are reported in this paper. The investigation is concerned with two morphogenetic types of intrusion: Black giant and Meridional dykes and Kubuk and Iken sills. Petromagnetic data suggest the association between the attitude of the studied intrusions and the orientation of the axes of the anisotropy ellipsoid of the initial magnetic susceptibility, which can be used during geological survey and prospecting and evaluation. The paleomagnetic data define two stages in the Paleoproterozoic igneous activity: one is related to the intrusion of sills and the other to the intrusion of dikes. Directions of the characteristic component of magnetization isolated in all the intrusive bodies of the complex were used to calculate the coordinates of the paleomagnetic pole. The position of the pole corrected for the opening of the Vilyui rift in the Paleozoic is close to the interval between 1700 and 1720 Ma of the apparent polar wander path (APWP) for the Siberian Craton, which is in agreement with the available geochronological data.

Key words: Paleoproterozoic, mafite-ultramafite rocks, Kun-Manie deposit, paleomagnetism, petromagnetism, Siberian Craton.