

УДК 550.384:552.3(571.62)

А.Ю. ПЕСКОВ, А.Н. ДИДЕНКО, А.В. КОСЫНКИН

## Петро- и палеомагнитные исследования кортландитов кунманьёнского интрузивного комплекса

*Изложены результаты первых петро- и палеомагнитных исследований кортландитов кунманьёнского интрузивного комплекса. Проведена детальная температурная магнитная чистка образцов. Определено, что магнитная фракция в изучаемых породах представлена магнетитом как минимум двух фаз генерации. Выделена древняя (высокотемпературная) компонента намагниченности. Рассчитаны координаты палеомагнитного полюса. Установлено, что возраст высокотемпературной компоненты намагниченности составляет 1720–1730 млн лет.*

*Ключевые слова:* Алдано-Становой щит, кунманьёнский интрузивный комплекс, палеопротерозой, палеомагнетизм, петромагнетизм.

**Petro- and paleomagnetic studies of cortlandites of the Kunmanyе igneous complex.** A.Yu. PESKOV, A.N. DIDENKO, A.V. KOSYNKIN (Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, Khabarovsk).

*The paper presents results of the first petro- and paleomagnetic study of cortlandites of the Kunmanyе igneous complex. Specimens of rocks were subjected to stepwise thermal demagnetization. The magnetic fraction of studied rocks is found to be presented by the magnetite of at least two phases of generation. The ancient (high-temperature) component of magnetization intensity has been subtracted. Coordinates of the paleomagnetic pole have been calculated. The age of ancient rock magnetization is assessed at 1720–1730 myr.*

*Key words:* Aldan-Stanovoy shield, Kunmanyе igneous complex, Paleoproterozoic, paleomagnetism, rock magnetism.

На юго-востоке Алдано-Станового щита Сибирского кратона, в пределах гранулитовых блоков Джугджуро-Становой зоны, выделен кунманьёнский палеопротерозойский интрузивный комплекс малых интрузий [1] (рис. 1). Они слагают несколько пространственно разобщенных линейно-вытянутых в северо-западном направлении структур. В наиболее изученной площади развития таких тел, расположенной в междуречье Кун-Маньё и Май (Удской), в пределах Атагского хребта выделено Курумканское рудное поле, представленное малыми интрузиями [1, 4].

Магматические породы комплекса принадлежат к габбронорит-пироксенит-перидотитовой формации и имеют отчетливо проявленную геохимическую (Ni, Cu, Co, Cr, Pt, Pd) специализацию [1]. Они представлены вебстеритами, плагиовебстеритами, лерцолитами, габброноритами, кортландитами, клино- и ортопироксенитами, а также тальк-амфиболовыми, амфибол-серпентин-талльковыми и актинолит-серпентиновыми сланцами [4]. В пределах данного комплекса выявлено 2 крупных Cu–Ni месторождения

---

\* ПЕСКОВ Алексей Юрьевич – младший научный сотрудник, ДИДЕНКО Алексей Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, директор, КОСЫНКИН Артем Валерьевич – и.о. младшего научного сотрудника (Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск). \*E-mail: lesha-ogr-31@mail.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-00088-а) и ДВО РАН (грант № 13-III-B-08-047).

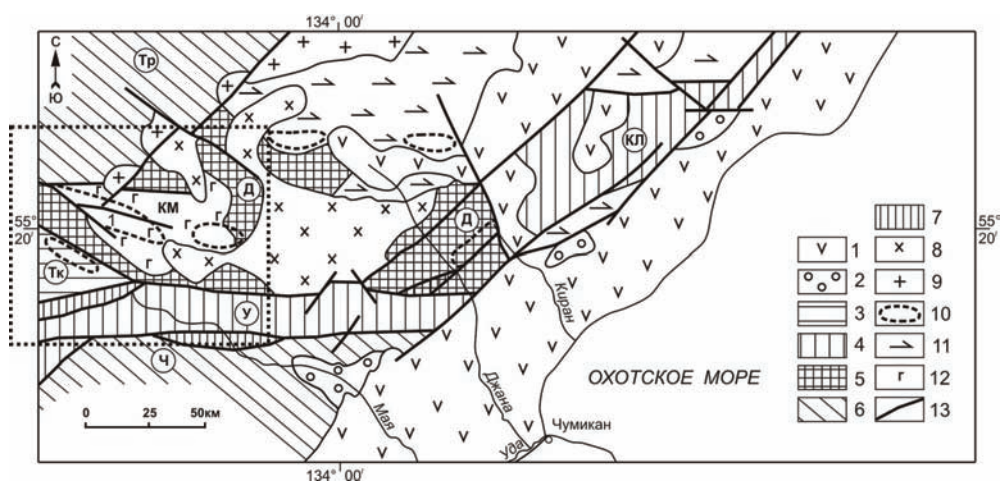


Рис. 1. Тектоническая схема юго-восточной окраины Алдано-Станового щита [по 1, 4]. 1 – меловые вулканы Охотско-Чукотского пояса; 2 – осадочно-вулканогенные образования Аяно-Шевлинского перикратонного прогиба; 3–6 – раннедокембрийские структуры кристаллического фундамента: 3 – Тусканийский (Тк) гранулитомраморно-кристаллосланцевый блок, 4 – Удско-Майский (У) и Кирано-Лавлинский (КЛ) гранит-зеленокаменные трюги (грабены), 5 – Джанинский (Д) гранулитокристаллосланцевый блок, 6 – Тырканский (Тр) гранулитогнейсовый и Чогарский (Ч) гранулитогнейсо-кристаллосланцевый блоки; 7 – зоны динамометаморфизма; 8 – меловые гранитоиды; 9 – палеопротерозойские гранитоиды улканского комплекса, 10 – ареалы малых тел палеопротерозойских никеленосных мафит-ультрамафитов кунманьёнского комплекса (1 – Курумканский ареал); 11 – архейские анортозиты Джугджурского массива; 12 – архейские метагбброиды Кун-Маньёнского массива (КМ); 13 – разрывные нарушения; 14 – дайка «Меридиональная». Пунктиром обозначены контуры кунманьёнского интрузивного комплекса

с Pt рудоносностью. Возраст вебстеритов этого комплекса: по U–Pb в цирконах  $1700 \pm 12$  млн лет [1, 4], изохрона Sm–Nd по пироксенам, плагиоклазам и слюде показывает  $1812 \pm 66$  млн лет [1, 4].

Палеомагнитные исследования пород кунманьёнского интрузивного комплекса могут сыграть важную роль в его изучении. Выделение древней намагниченности в разновозрастных магматических телах комплекса позволит оценить интервал времени его формирования, выделить этапы становления комплекса и, в региональном масштабе, определить кинематические параметры вращения Восточно-Алданского террейна (и, далее, всего Алдано-Станового щита) в палеопротерозое.

Для оценки «пригодности» мафит-ультрамафитов кунманьёнского интрузивного комплекса к петро- и палеомагнитным исследованиям (факта наличия в породе «записи» древнего магнитного поля Земли, древней компоненты намагниченности) были отобраны ориентированные образцы кортландитов (дайка «Меридиональная»,  $n = 28$ ) и вебстеритов (дайка «Черный Исполин»,  $n = 31$ ), а также штупные пробы на петрогеохимические исследования.

В работе представлены результаты первых палеомагнитных исследований кортландитов дайки «Меридиональная» кунманьёнского интрузивного комплекса.

## Петромагнитные исследования

Образцы кортландитов исследовались в ИТиГ ДВО РАН на базе оборудования МФК-1FA (Чехия), ТАФ-2 (Россия, ГО «Борок») по стандартным методикам, описанным в [2]. Микронзондовые исследования проводили в лаборатории физико-химических методов исследования ИТиГ ДВО РАН на растровом электронном микроскопе EVO 40HV (Carl Zeiss, Германия), оснащённом энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания).

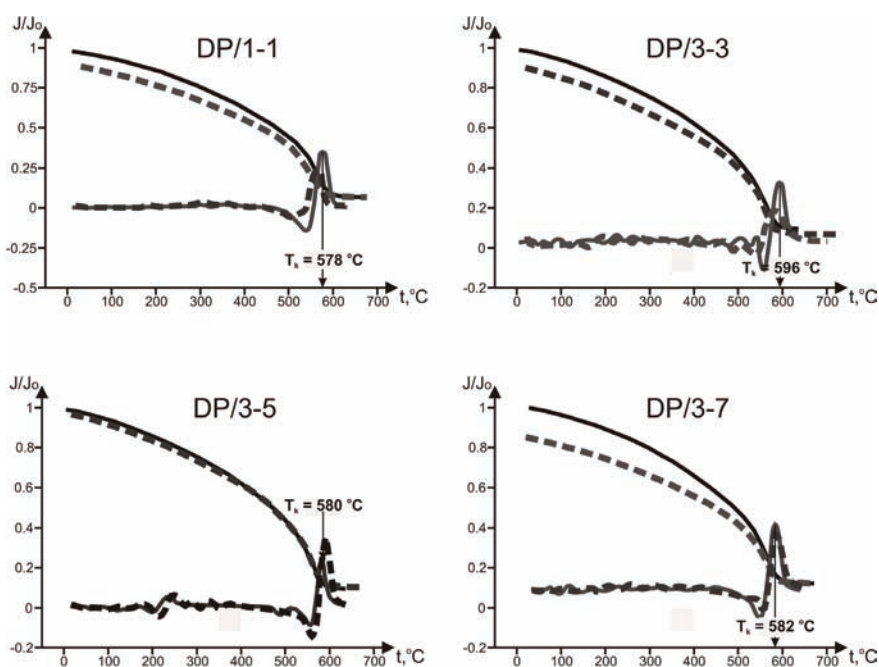


Рис. 2. Примеры зависимости относительной намагниченности насыщения  $J / J_0$  от температуры  $T$ : сплошная линия – первый нагрев, штриховая – второй нагрев. Указана температура Кюри магнитного минерала

*Основные носители намагниченности.* По данным термомагнитного анализа, основным носителем намагниченности в кортландитах является магнетит с точкой (температурой) Кюри  $T_c = 575\text{--}595\text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 2). Ферримангнетики изученных образцов достаточно стабильны к нагревам, отношение величины намагниченности насыщения после нагрева до  $630\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$  к начальной составляет не менее  $80\text{--}90\%$  (рис. 2).

По данным микрозондового анализа, магнетит в изучаемых породах имеет как минимум две генерации. Первая представлена зернами магнетита размером от  $25$  до  $100\text{ мкм}$  (рис. 3а), реже зернами магнетита в сростании с пентландитом (рис. 3б). Вторая – вторичным магнетитом, развитым по прожилкам при серпентинизации (рис 3 в, г). Мощность прожилков – от  $5$  до  $25\text{ мкм}$ . Доля второй генерации магнетита в породе доминирует.

Отношение Кенигсбергера (фактор  $Q$ ) в кортландитах меньше  $1$  (среднее –  $0,6$  при диапазоне значений от  $0,25$  до  $0,92$ ). По нашему мнению, это связано с большим содержанием вторичного магнетита в породе (более  $70\%$  от общего), образованного в процессе серпентинизации, без нагрева магнитного минерала до точки Кюри. Вследствие этого прирост магнитной восприимчивости породы ( $k_m$ ) по отношению к приросту намагниченности (NRM) был больше, что привело к уменьшению фактора  $Q$ .

*Анизотропия начальной магнитной восприимчивости (АНМВ) горных пород* может обуславливаться двумя причинами: формой магнитного тела и кристаллографической анизотропией [3].

При изучении АНМВ кортландитов дайки «Меридиональная» установлено, что величина АНМВ ( $P = (K_{\max} / K_{\min}) \cdot 100$ , где  $K_{\max}$ ,  $K_{\min}$  – величины максимальной и минимальной осей эллипсоида АНМВ соответственно) колеблется в пределах от  $20$  до  $65\%$ . Наблюдается зависимость величины анизотропии  $P$  от величины магнитной восприимчивости  $k_m$  (рис. 4в). Это свидетельствует о наложении вторичных процессов, повлиявших на магнитную текстуру породы (серпентинизация). Направление максимальной и минимальной осей ( $K_1$ ,  $K_3$  на рис. 4 а, б) эллипсоида АНМВ совпадает с азимутами и углами падения

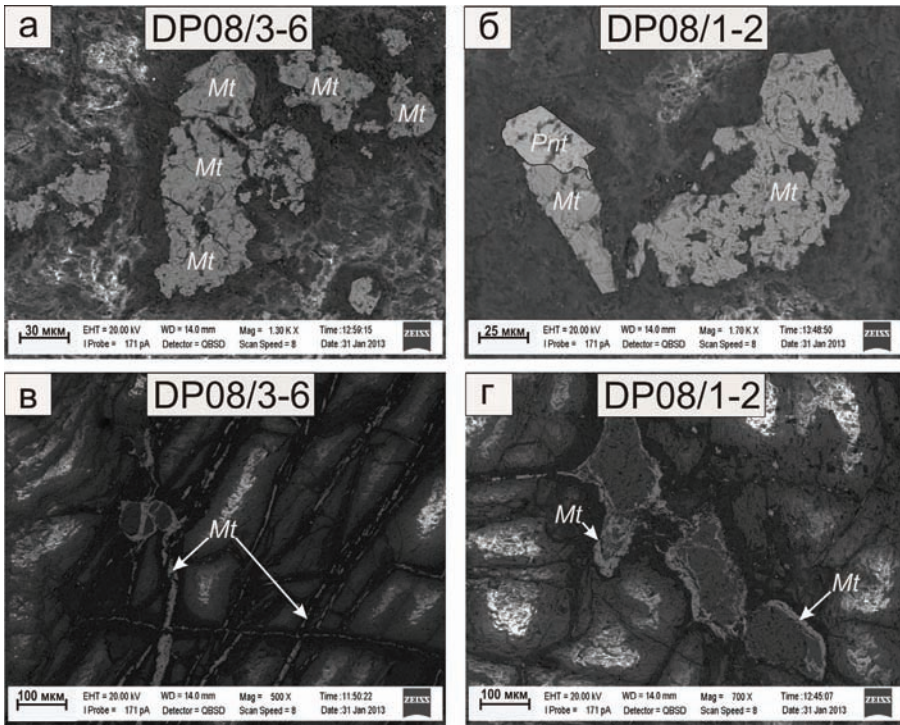


Рис. 3. Магнитные минералы в различных образцах кортландитов

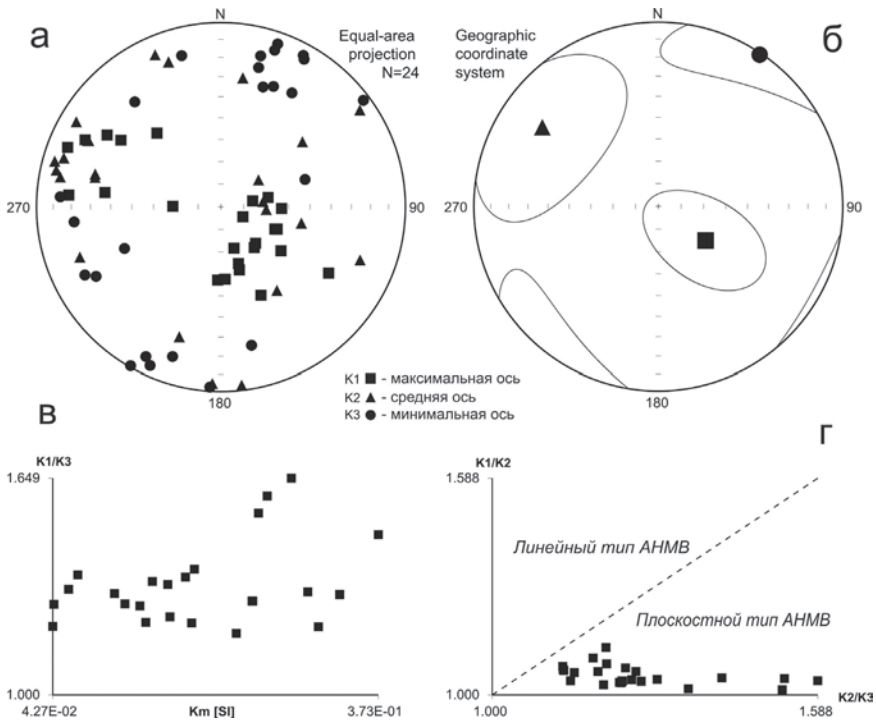


Рис. 4. Результаты анализа анизотропии начальной магнитной восприимчивости кортландитов: а, б – стереограмма распределения главных осей эллипсоида АНМВ по образцам (среднее по точке отбора), в – график зависимости величины АНМВ ( $K_1 / K_3$ ) от величины магнитной восприимчивости ( $k_m$ ), г – график распределения отношений осей эллипсоида АНМВ ( $K_1 / K_2$  и  $K_2 / K_3$ )

и простираения дайки «Меридиональная» соответственно. Из этого можно сделать вывод, что форма АНМВ связана с формой геологического тела, которому принадлежат изучаемые породы.

## Палеомагнитные исследования

Палеомагнитные исследования включали в себя термомагнитную чистку образцов и измерение их намагниченности после каждого нагрева; оценку компонентного состава намагниченности; выделение древней компоненты намагниченности и расчет палеомагнитного полюса по древней (высокотемпературной) компоненте намагниченности.

Среднее значение естественной остаточной намагниченности (ЕОН) изучаемых пород составило 4,95 А/м (2,18–11,71 А/м). При проведении термомагнитной чистки в образцах кортландитов установлено две компоненты намагниченности:

1) низкотемпературная (НТКН) с координатами  $D = 45,3^\circ$ ,  $I = 82,6^\circ$ ,  $a_{95} = 5,4^\circ$  (рис. 5а) выделена в 23 из 26 образцов в интервале температур от 20 до 500 °С (рис. 6). Координаты палеомагнитного полюса, рассчитанные по направлению НТКН, близки к современным координатам геомагнитного полюса Земли. Данная компонента намагниченности наблюдается также в 14 образцах с однокомпонентным составом намагниченности. Наличие намагниченности с однокомпонентным составом обусловлено, на наш взгляд, низким фактором  $Q$ , что связано с большим содержанием вторичного магнетита, образованного по прожилкам в процессе серпентинизации;

2) высокотемпературная компонента намагниченности (ВТКН) с координатами  $D = 40,2^\circ$ ,  $I = 41,2^\circ$ ,  $a_{95} = 12,1^\circ$  (рис. 5б) выделена при компонентном анализе диаграмм Зийдервельда по 3–4 точкам [7] с помощью пакета программ Ekin [6]. Она обнаружена в 12 из 26 образцов в интервале температур 570–640 °С. В образцах кортландитов, где установлена ВТКН, наблюдаются самые высокие значения фактора  $Q$  (0,7–0,9 при среднем для всех образцов 0,6). Высокотемпературная компонента, по всей видимости, связана с первичным магнетитом в породе.

По координатам ВТКН рассчитаны координаты палеомагнитного полюса:  $Plat = -46,7^\circ$ ;  $Plong = 72,9^\circ$ ;  $d_p = 14,7$ ;  $d_m = 9,0$ . Эти значения близки к полученным ранее [2, 5] по палеопротерозойским (1730–1720 млн лет) гранитам Улканского массива (юго-восток Алдано-Станового щита):  $Plat = -42,1^\circ$ ;  $Plong = 69,4^\circ$ . Следовательно, возраст древней (высокотемпературной) компоненты намагниченности в кортландитах дайки «Меридиональная» кунманьёнского интрузивного комплекса составляет 1730–1720 млн лет.

Вопрос о том, первична ли (синхронна по времени образования с самими породами) ВТКН в изученных кортландитах или является наложенной, остается открытым. В

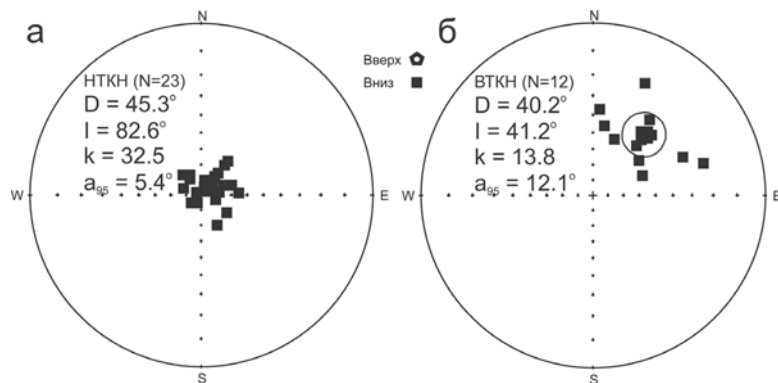


Рис. 5. Распределение проекций направлений низкотемпературной (а) и высокотемпературной (б) компонент намагниченности в кортландитах

пользу первичности свидетельствуют близкие к возрасту ВТКН кортландитов изотопные датировки по породам кунманьёнского комплекса – 1700 ± 12 млн лет (U–Pb, по цирконам). В то же время Sm–Nd изохрона по пироксенам, плагиоклазам и слюдам

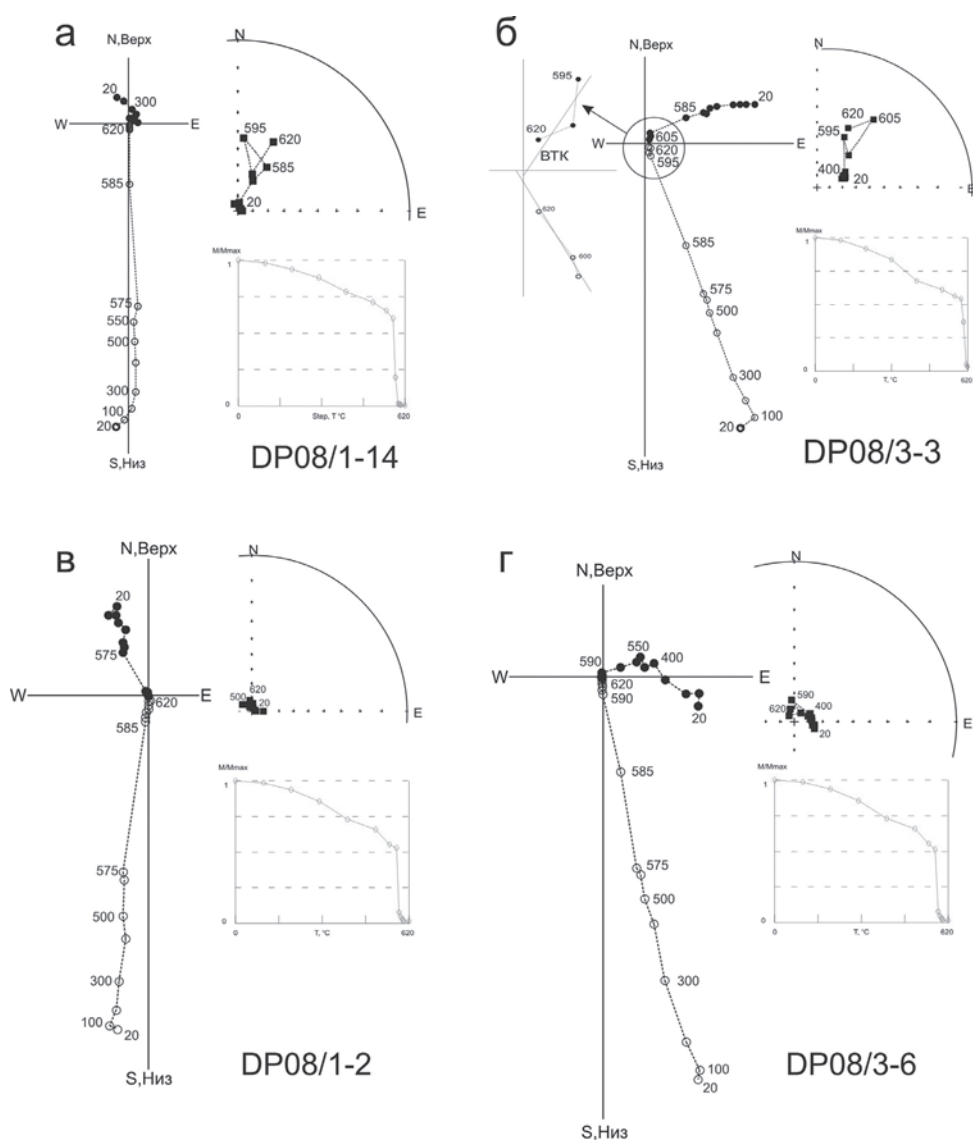


Рис. 6. Результаты ступенчатой термомагнитной очистки естественной остаточной намагниченности (NRM) кортландитов. Залитые кружки – проекция вектора NRM на горизонтальную плоскость, полые – на вертикальную. Цифры у фигуративных точек – температура магнитной очистки, °С. Диаграммы даны в географической системе координат. Номера образцов и направления выделенных для них компонент NRM указаны у каждой диаграммы

выявляет – более древний возраст пород комплекса –  $1812 \pm 66$  млн лет [1], это может указывать на перемагничивание пород, возможно вследствие прогрева, 1700–1730 млн л. н. Данный аспект нуждается в дальнейшем изучении.

Таким образом, наше исследование показало, что кортландиты кунманьёнского интрузивного комплекса пригодны для проведения петро- и палеомагнитных исследований, так как примерно в половине изученных образцов выделена древняя (высокотемпературная) компонента намагниченности.

Координаты палеомагнитного полюса, рассчитанные по древней компоненте намагниченности палеопротерозойских кортландитов, близки к полученным по палеопротерозойским гранитам Улканского массива [2] с возрастом 1720–1730 млн лет. Это подтверждает вывод в [2] о том, что в данный период Сибирский кратон был единой тектонической структурой.

Авторы благодарят В.А. Гурьянова и А.Н. Пересторонина за помощь в полевых исследованиях и предоставленный геологический материал, В.С. Комарову – за помощь в микрозондовых исследованиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьянов В.А., Приходько В.С., Пересторонин А.Н., Петухова Л.Л., Потоцкий Ю.П., Соболев Л.П. Новый тип медно-никелевых месторождений юго-востока Алдано-Станового щита // ДАН. 2009. Т. 425, № 4. С. 505–508.
2. 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.
3. Нагата Т. Магнетизм горных пород: пер. с англ. М.: Мир, 1965. 348 с.
4. Пересторонин А.Н., Гурьянов В.А., Приходько В.С., Петухова Л.Л. Геология и рудоносность кунманьенского интрузивного комплекса / VII Косыгинские чтения. Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии. Хабаровск, 2011. С. 602–604.
5. Песков А.Ю. Геохимия, геохронология и палеомагнетизм палеопротерозойских образований Улканского прогиба (юго-восток Алдано-Станового щита) // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 3. С. 112–116.
6. Enkin R.J. A computer program package for Analysis and presentation of paleomagnetic data / Pacific Geosci. Centre, Geol. Surv. Canada. Sidney, 1994. 16 p.
7. Zijdeveld J.D.A. A.C. Demagnetization of rocks: analysis of results // Methods in Paleomagnetism / eds D.W. Collinson, K.M. Creer. Amsterdam: Elsevier, 1967. P. 254–286.