

ПАЛЕОМАГНИТНОЕ ДАТИРОВАНИЕ ПОРОД БОЛЬШЕСЫРСКОГО МАГМАТИЧЕСКОГО АРЕАЛА МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

© 2024 Д.В. Коваленко, М.В. Бузина

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Москва, Россия, 119017; e-mail: Dmitry@igem.ru*

Поступила в редакцию 19.07.2023; после доработки 21.02.2024; принята в печать 25.03.2024

Проведено палеомагнитное датирование мощного внутриплитного магматического комплекса Хакасии — Большесырского магматического ареала. Комплекс не был датирован из-за особенностей стратиграфии и отсутствия подходящих пород для применения методов абсолютной геохронологии. Применение палеомагнитного метода показало, что палеомагнитный полюс красноцветов, которые интродуцируются силлами и дайками Большесырского ареала, близок к силурийским палеомагнитным полюсам Сибири и Тувы и резко отличается от ордовикских палеомагнитных полюсов этих районов. То есть красноцветные породы являются силурийскими, а субвулканические — постсилурийскими. Резкое несогласное перекрытие красноцветных и вулканических толщ среднедевонской осадочной мульдой без магматических пород указывает на то, что возраст Большесырского комплекса ограничен интервалом силур-ранний девон. Генезис пород Большесырского магматического ареала был связан с активностью раннедевонского Минусинского плюма.

Ключевые слова: палеомагнитный полюс, плюм, намагниченность, палеоширота, магнитное поле.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Тувы, Хакасии, Красноярского края и западной Монголии, широко распространены магматические комплексы пород внутриплитного типа, формирование которых связывается с действием мантийных плюмов. На картах масштаба 1:200000 первого издания 1960-гг. эти магматические толщи повсеместно рассматривались как раннедевонские на основании их стратиграфического положения и изучения групп фауны и флоры. Использование методов абсолютной геохронологии подтвердили для большинства районов эти выводы (Vorontsov et al., 2021). Тем не менее, палеозойские внутриплитные магматические толщи ряда других районов до сих пор не датированы методами абсолютной геохронологии из-за отсутствия подходящих для датирования объектов и сильной вторичной переработки пород. Так, в центральной части Хакасии на картах масштаба 1:200000 первого издания (Объяснительная..., 1962) выделяется хараджульская свита (D_{1hr}), представленная

мощной толщей эффузивов, субвулканических тел и их туфов. На геологических картах масштаба 1:200000 второго издания (Объяснительная..., 2003) толщи хараджульской свиты выделяются как Большесырский магматический ареал. Органических остатков в свите не обнаружено. На картах первого издания магматические толщи хараджульской свиты условно относятся к нижнему девону, на основании ее положения в низах разреза датированных по комплексам фауны и флоры девонских отложений. На картах второго издания Большесырский магматический ареал рассматривается как ордовикский, на основании двух Rb-Sr датировок возраста пород (Объяснительная..., 2003). В связи с сильными вторичными преобразованиями пород ареала, Rb-Sr датировки пород не могут рассматриваться как надежные и требуют подтверждения. В зависимости от этих интерпретаций комплекс может интерпретироваться либо как часть раннедевонского Минусинского плюма, либо как результат действия более раннего плюма, активного в ордовике. В настоящей работе приведены

первые палеомагнитные данные, позволяющие датировать толщи Большесырского магматического комплекса.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ИССЛЕДОВАННОГО РАЙОНА

В центральной части Хакасии на карте масштаба 1:200000 первого издания (Объяснительная..., 1962, Лист N-46-XXV) мощные палеозойские внутриплитные вулканические толщи объединены в хараджувскую свиту

(D_1hr) (рис. 1). Она включает потоки и субвулканические тела базальтов, долеритов, трахибазальтов, трахиандезитов, трахитов и трахидацитов, чередующихся с пачками красноцветных песчаников, лава- и туфобрекчий, туфоконгломератов и слоистых туфов. Мощность свиты составляет 1500–1600 м. Хараджувская свита согласно залегает на маматской свите (D_1mm), которая лежит на породах кембрия и представлена базальными конгломератами и красноцветными песчаниками с субвулканическими телами, аналогичными по составу

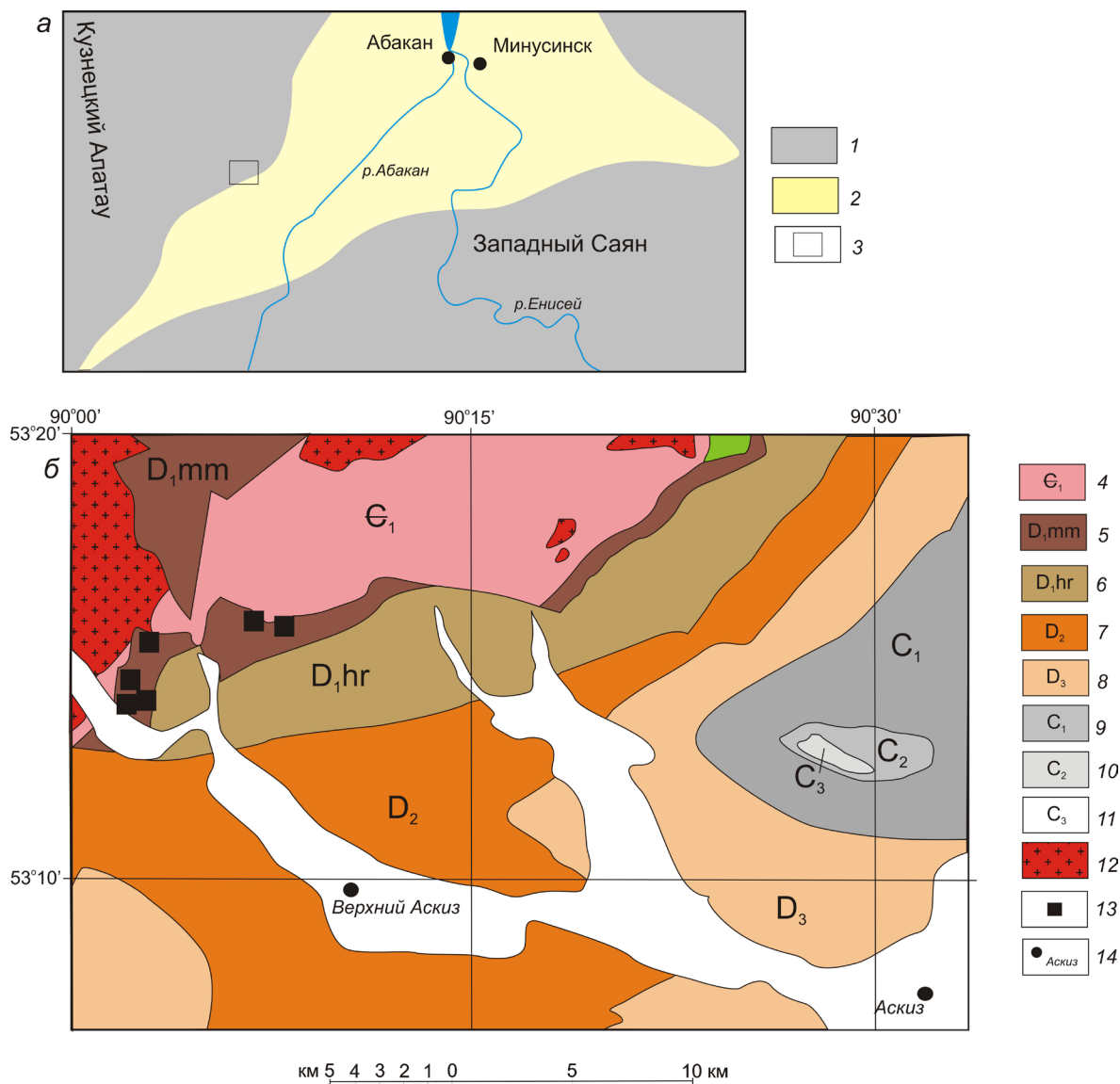


Рис. 1. Географическое положение района работ (а) и геологическая схема участков работ на территории листа N-46-XIX (б). 1 — доордовикские складчатые структуры; 2 — Минусинская впадина; 3 — район работ; 4 — нижнекембрийские толщи; 5 — маматская свита; 6 — хараджувская свита; 7–11 — толщи: 7 — среднедевонские, 8 — верхнедевонские, 9 — нижнекарбоновые, 10 — среднекарбоновые, 11 — верхнекарбоновые; 12 — палеозойские граниты; 13 — места палеомагнитного опробования; 14 — населенные пункты.

Fig. 1. Geographic location of the work area (a) and geological scheme of work areas on the territory of sheet N-46-XIX (b). 1 — preordovician fold structures; 2 — Minusinsk depression; 3 — work area; 4 — Lower Cambrian strata; 5 — Mamatskaya suite; 6 — Kharadzhul suite; 7–11 — sequences: 7 — Middle Devonian, 8 — Upper Devonian, 9 — Lower Carboniferous, 10 — Middle Carboniferous, 11 — Upper Carboniferous; 12 — Paleozoic granites; 13 — paleomagnetic sampling sites; 14 — settlements.

породам хараджувской свиты. Мощность свиты колеблется от 200 до 700 м. На соседнем листе (Объяснительная..., 1966, N-46-XIX) аналогичные толщи объединены в быскарскую серию. В породах маматской и хараджувской свит не обнаружены ископаемые флора и фауна. Провести геохронологическое датирование пород свит не представляется возможным из-за их сильного изменения. Толщи маматской и хараджувской свит несогласно перекрыты палеонтологически не охарактеризованными красноцветными толщами, мергелями и алевролитами аскизской свиты среднего девона. Выше располагается илеморовская свита, представленная зелеными и серыми песчаниками и алевролитами, с подчиненным количеством гравелитов, мергелей, известняков. По богатому комплексу филлопод определен верхнеживетский возраст пород свиты. Выше залегает бейская свита. В нижней части она сложена известняками, реже — алевролитами и песчаниками с обильной фауной брахиопод, пелеципод и мшанок. В верхней части — песчаниками и алевролитами, которые вверх сменяются глинистыми известняками и мергелями с обильной и разнообразной фауной брахиопод, табулят, мшанок, трилобитов, гастропод, морских лилий и пелеципод. Фауна типична для верхнеживетского подъяруса. Ойдановская свита верхнего девона согласно залегает на бейской. Она сложена красно-коричневыми и розовато-красными алевролитами, реже — мергелями. В породах обнаружены остатки ихтиофауны характерными для франского яруса верхнего девона. Кохайская свита с постепенным переходом надстраивает ойдановскую. Свита представлена пестроцветными и сероцветными аргиллитами, алевролитами, песчаниками, мергелями, известняками. По комплексу филлопод, остракод, пелеципод и рыб свита была отнесена к франскому ярусу. Выше залегают толщи тубинской свиты, представленной красноцветами. Они надстраиваются осадочными породами карбона, которые отнесены турнейскому и визейскому ярусам. Таким образом, к раннему девону маматская и хараджувская свиты отнесены условно, на основании их положения в низах разреза девонских отложений.

Для выяснения ориентировочного возраста хараджувской свиты были проведены палеомагнитные исследования. Из самой хараджувской свиты палеомагнитные образцы отобрать не удалось, поэтому были изучены породы нижележащей маматской свиты. Из нее были опробованы шесть разрезов (рис. 1, 2), отобрано 101 образец.

Разрез 1 (53°15.778'С 90°06.616'В) из центральной части свиты сложен красноцветными песчаниками с единичными силами базальтов

и андезитов. Мощность разреза 120 м, из него отобрано 25 образцов из песчаников.

Разрез 2 (53°14.583'С 90°02.328'В) тоже располагается в центральной части свиты и представлен красноцветными песчаниками. Мощность разреза 45 м, отобрано 8 образцов.

Разрез 3 (53°15.807'С 90°07.928'В) — из центральной части свиты, сложен красноцветными песчаниками с многочисленными дайками базальтов и андезитов. Мощность разреза 280 м, из песчаников отобран 26 образец.

Разрез 4 (53°14.001'С 90°01.957'В) расположен вдоль трассы Хабзас-Аскиз, залегает на кембрийских толщах и соответствует основанию маматской свиты. Мощность разреза 117 м, из песчаников отобрано 15 образцов.

Разрез 5 (53°13.593'С 90°02.537'В) соответствует верхней части маматской свиты и сложен красноцветными песчаниками с многочисленными дайками базальтов и андезитов. В верхней части разреза присутствуют конгломераты с гальками магматических пород, которые рассматриваются как контакт с хараджувской свитой. Выше — перебитая тефра. Мощность разреза 280 м, из песчаников отобрано 11 образцов.

Разрез 6 (53°15.404'С 90°02.677'В) сложен красноцветными песчаниками с дайками основных пород. Мощность разреза 132 м. Из песчаников отобрано 16 образцов. Толщи незначительно деформированы. Углы залегания — от 5 до 20°.

МЕТОДИКА

Обработка палеомагнитных образцов проводилась в палеомагнитной лаборатории Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН). Для каждого образца полевым каппаметром КТ-5 измерялась величина магнитной восприимчивости. В зависимости от величины магнитной восприимчивости образца из каждого образца выпиливалось два кубика с ребром 1 или 2 см. Каждый кубик подвергался термочистке в интервале температур 20–680 °С. Термочистка проходила в печи, защищенной пермалловыми экранами, позволяющими компенсировать магнитное поле Земли до 10–15 нТл. Верхняя граница чистки определялась появлением магнитных новообразований, искажающих естественную остаточную намагниченность кубика. Появление магнитных новообразований (по-видимому, вторичного магнетита при разложении сульфидов железа) в процессе температурной чистки определялось по резкому увеличению величины намагниченности кубика, и по тому, что направление вектора

Д Е В О Н	СРЕДНИЙ	верхний	карбон	C_{bs}		70
			фаменский	D_{fb}		1000
			франский	D_{kh}		300-600
				D_{od}		500-700
			живетский	D_{bs}		160-320
				D_{il}		150-550
				D_{as}		410-390
			эйфельский и живетский	D_3 нерасчлененные		700-1000
						150-300
						200-900
	нижний			D_{hr}		1500-1600
				D_{mm}		200-700
				ϵ_3		

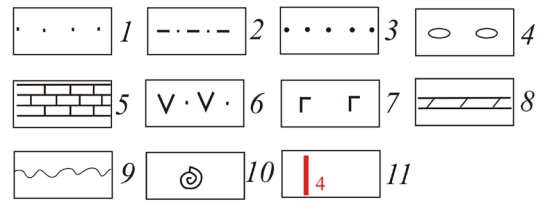


Рис. 2. Положение опробованных разрезов маматской свиты в стратиграфической колонке к карте N-46-XXV, 1:200000 (Объяснительная..., 1962, Лист N-46-XXV): 1 — песчаники, 2 — алевролиты, 3 — гравелиты, 4 — конгломераты, 5 — известняки, 6 — туфы основного среднего и кислого состава, 7 — лавы основного состава, 8 — мергели, 9 — несогласия, 10 — места находки фауны, 11 — опробованные разрезы. Свиты: D_{mm} — маматская, D_{hr} — хараджульская, D_{as} — аскизская, D_{il} — илеморовская, D_{bs} — бейская, D_{od} — ойдановская, D_{kh} — кохайская, D_{fb} — тубинская, C_{bs} — быстрианская.

Fig. 2. Position of the sampled sections of the Mamat Formation in the stratigraphic column to map N-46-XXV, 1:200000 (Explanatory..., 1962, Sheet N-46-XXV): 1 — sandstones, 2 — siltstones, 3 — gravelites, 4 — conglomerates, 5 — limestones, 6 — tuffs of basic, intermediate and acidic composition, 7 — basic lavas, 8 — marls, 9 — unconformities, 10 — places of fauna finds, 11 — sampled sections. Formations: D_{mm} — Mamat, D_{hr} — Kharajul, D_{as} — Askiz, D_{il} — Ilemorovsk, D_{bs} — Bey, D_{od} — Oïdanov, D_{kh} — Kokhai, D_{fb} — Tuba, C_{bs} — Bystryan.

тывались средние направления выделенных компонент намагниченности. Отбраковка направлений намагниченности образца производилась в тех случаях, когда диаграмма Зийдervельда не позволяла выделить компоненты (хаотическое распределение направлений намагниченности от нагрева к нагреву), либо когда угол между векторами намагниченности двух кубиков превышал 40°. Направления выделенных компонент намагниченности образцов в разрезах или сайтах анализировались на сфере в современной географической (ССК) и древней стратиграфической (ДСК) системах координат (Храмов и др., 1982; Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981).

РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В образцах красноцветных песчаников выделяются одна или две компоненты естественной остаточной намагниченности (рис. 3). Более низкотемпературная компонента (L) выделяется в разных интервалах температур: от 20 до 460 °C, от 20 до 540 °C, от 20 до 620 °C. Более высокотемпературная компонента (H) выделяется в интервалах от 460 до 670 °C. Низкотемпературная компонента в двух разрезах распределена хаотически, в остальных имеет

намагниченности от нагрева к нагреву начинало меняться хаотически. Для кубиков проводилось 12–16 нагревов. Измерение величины и направления характерной остаточной намагниченности образцов проводилось на магнитометре JR-6. По данным термочистки для каждого кубика строились диаграммы Зийдervельда (Zijderveld, 1967), проводился компонентный анализ намагниченности (Kirschvink, 1980) и анализ распределения выделенных компонент естественной остаточной намагниченности на сфере (Храмов и др., 1982; Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981). Использовались компьютерные программы созданные R.J. Enkin. По двум кубикам рассчи-

обратную полярность и в ССК близка к направлению позднекарбон-пермского магнитного поля Земли (табл. 1). Направления высокотемпературных (Н) компонент намагниченности в двух разрезах характеризуются большим разбросом, а в четырех разрезах образуют достаточно хорошо сформированные группы прямой и обратной полярности, пригодные для дальнейшего палеомагнитного анализа (табл. 1).

Низкотемпературная намагниченность, вероятно, является вторичной, образованной в результате перемагничивания толщ в период позднекарбон-пермского суперхрона обратной полярности (рис. 3, 4). Природа этой компоненты пока не выяснена.

Направления Н-компонент намагниченности в ССК различаются по склонению и наклонению, а в ДСК близки по склонениям и наклонениям (табл. 1, рис. 4). Тест складки, проведенный методом сравнения средних направлений (Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981), показал, что средние направления Н-компонент намагниченности пород разрезов статистически равны в ДСК и отличаются в ССК (табл. 1). По-видимому, судя по блокирующим температу-

рам, эта компонента связана с формированием сингенетического гематита в красноцветах.

Сравнение средних направлений намагниченности разной полярности разреза 4 (Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981) показало, что средние направления при переводе в одну полярность равны в ДСК и ССК (табл. 1). Сравнение направлений прямой и обратной полярности по критериям (McFadden, McElhinny, 1990) также показывает, что направления при их переводе в одну полярность равны в ДСК ($\chi = 0.388$, $\chi_s = 21.8$) по классу С (табл. 1).

Тест на «синскладчатость» (табл. 2) показал, что намагниченность пород разрезов могла образоваться при 90 % или 100 % распрямлении складки (табл. 2).

Также мы провели анализ средних направлений по сайтам (табл. 3). В сайты включались направления намагниченности образцов, взятых из фрагментов опробованных разрезов, мощность которых не более 20 м. Использовались сайты, в которых средние направления Н-компоненты характеризуются кучностью более 10. Данные по сайтам применялись для проведения теста складки методом выравнивания. Видно,

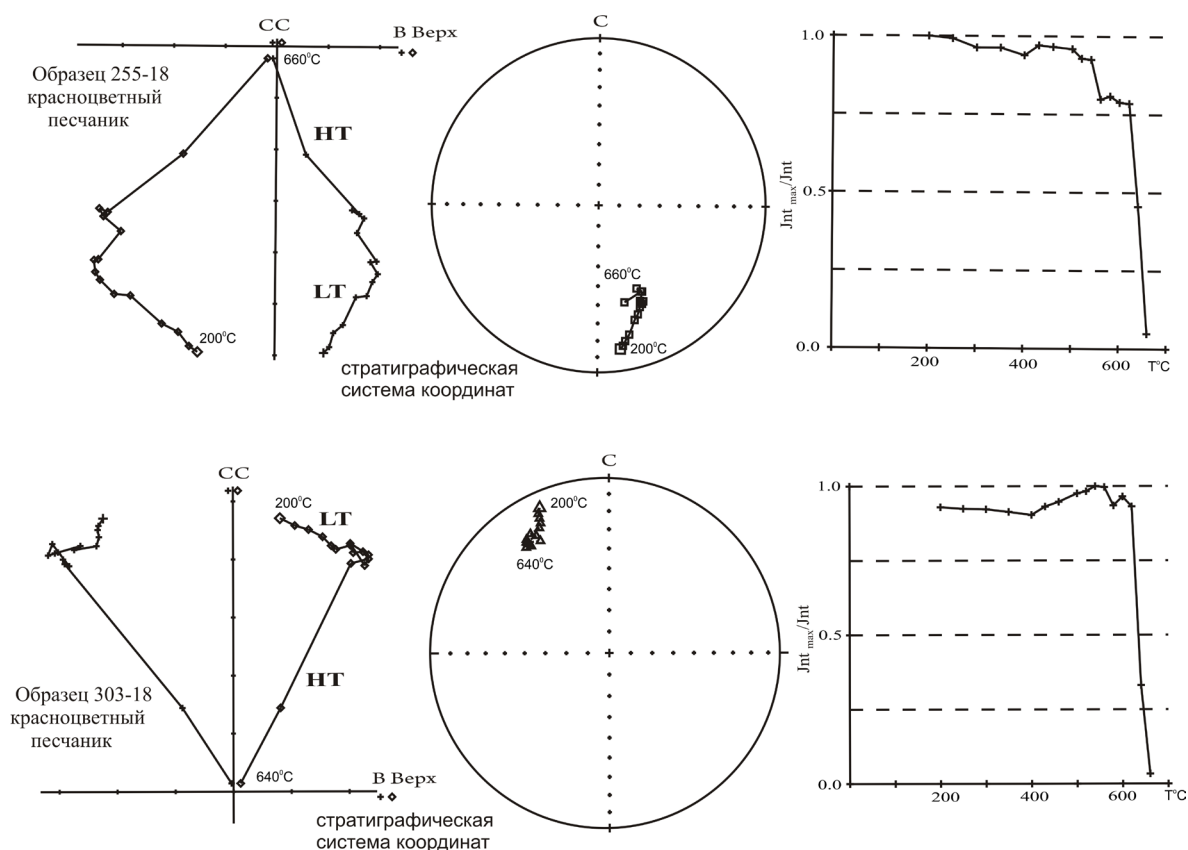


Рис. 3. Результаты терморазмагничивания пород. НТ, ЛТ — высокотемпературные и низкотемпературная компоненты намагниченности. Jnt_{max}/Jnt — отношение максимальной остаточной намагниченности образца к намагниченности образца после разных этапов термочистки.

Fig. 3. Results of thermal demagnetization of rocks. НТ, ЛТ — high-temperature and low-temperature magnetization components. Jnt_{max}/Jnt — the ratio of the maximum residual magnetization of the sample to the magnetization of the sample after different stages of thermal cleaning.

Таблица 1. Средние направления компонент намагниченности разрезов маматской свиты, рассчитанные по компонентам намагниченности штуфов**Table 1.** Average directions of the magnetization components of sections of the Mamat Formation calculated from the components of the magnetization of samples

Разрез, компонента	N/n	Dc	Ic	Kc	α_{95c}	Дд	Ид	Кд	$\alpha_{95д}$
L2	8/8	210	-64	8	20	215	-51	7.6	20.7
H2	4/8	130	33	18	16	122	32	19	16
L3	25/26	279	-64	6	12	260	-58	5	12
H3	15/26	132	35	10	11.6	123	37	10	11
L4	12/15	205	-51	7	16	216	-37	7	15
H4	15/15	143	56	17	9	121	39	16	9
L5	11/11	243	-78	11	12	270	-60	12	12
L6	15/16	242	-50	12	10	248	-40	12	10
H6	15/16	145	40	10	11	139	31	9	12
Среднее Н-компоненты	49	139	43	11	6	127	36	11	6
Тест обращения									
H4 R	5	322	-62	12	18	301	-39	15	16
H4 N	10	143	53	20	10	121	39	15	12
Fc = 0.05 Fд = 0.00014 Fкр = 0.26									
$\gamma = 0.388 \quad \gamma_c = 21.77$									
Тест складки (сравнение средних направлений (Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981))									
Средние по H3, H4, H6	45	139	44	10	6.4	127	36	10.5	6.4
Fc = 3.6 Fд = 1.87 Fкр = 3.48									
Среднее по H2+H3+H6 и среднее по H4	49	139	43	11	6	127	36	11	6
Fc = 0.15 Fд = 0.027 Fкр = 0.07									
Средние L-компонент по разрезам	69	242	-64	6	6,7	244	-52	6	6,7
Fc = 4 Fд = 4 Fкр = 3.48									

Примечание. N/n — количество образцов, отобранных из разреза/количество образцов, векторы намагниченности которых, использовались в расчетах. D — склонение намагниченности, I — наклонение намагниченности, K — кучность, α — угол доверия. Буквы с и д соответственно обозначают ССК и ДСК. N и R — обозначают прямую и обратную полярность намагниченности. F — статистический параметр, использующийся при сравнении средних (Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981). Fкр, Fc, Fд — критическая величина параметра F и величины этого параметра в ССК и ДСК. L, H — низкотемпературные и высокотемпературные компоненты намагниченности.

Note. N/n is the number of samples taken from the section / the number of samples whose magnetization vectors were used in the calculations. D is the declination of the magnetization, I is the inclination of the magnetization, K is the grouping, α is the confidence angle. The letters c and d stand for GC (geographic coordinates) and SC (stratigraphic coordinates), respectively. N and R — denote the direct and reverse polarity of magnetization. F is a statistical parameter used when comparing averages (Shipunov, 1995; McFadden and Jones 1981). Fкр, Fc, Fд — the critical value of the parameter F and the value of this parameter in the GC and SC. L, H are low-temperature and high-temperature magnetization components.

что кучность средних направлений намагниченности в ДСК значительно превышает кучность в ССК. Кд/Кс= 2.4.

Таким образом, мы считаем, что на основании тестов складки и обращения в разрезах маматской свиты была выделена доскладчатая, по-видимому, первичная высокотемпературная намагниченность.

Важно также отметить, что после формирования толщ маматской свиты был этап деформаций,

отраженный в несогласном залегании хараджульской свиты на маматской (Объяснительная..., 1958, 1961). Поскольку намагниченность доскладчатая, то она должна была сформироваться до первого этапа деформаций. Если бы она сформировалась позже, она была бы синскладчатой или после-складчатой. То есть время формирования высокотемпературных компонент намагниченности силурийских пород практически не оторвано от времени формирования самих пород.

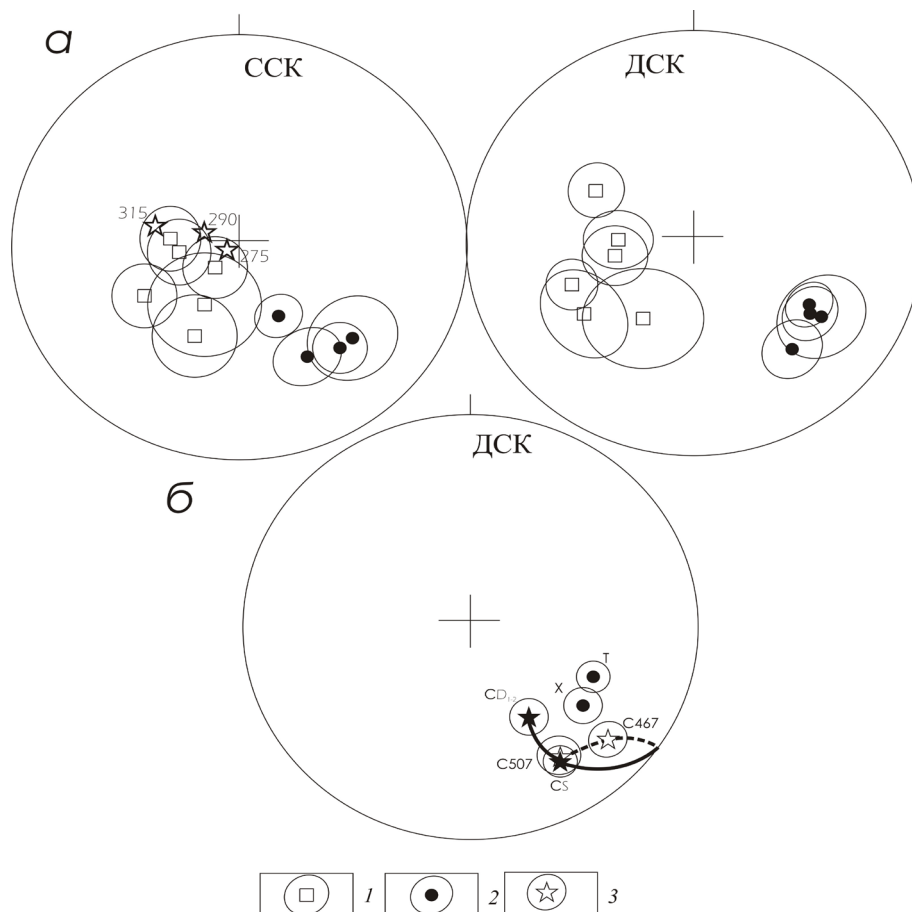


Рис. 4. Направления Н и L намагниченности пород маматской свиты (а). «Ожидаемые» направления намагниченности, рассчитанные из ордовикского, силурийского и ранне-, среднедевонского палеомагнитных полюсов Сибири (Павлов, 2016) и силурийского палеомагнитного полюса Тувы (Коваленко, 2022) (б). 1–3 — направления намагниченности с кругами доверия: 1 — относительно низкотемпературной (L), 2 — высокотемпературной (H), 3 — рассчитанной из палеомагнитных полюсов Сибири. X, T, C 507, C 467, C S, C D₁₋₂ — направления намагниченности, соответственно: маматской свиты; рассчитанные из силурийского палеомагнитного полюса Тувы (Коваленко, 2022); палеомагнитных полюсов Сибири для ордовика (507, 467 млн лет), силура и ранне-, среднего девона (Павлов, 2016).

Fig. 4. H and L magnetization directions of rocks of the Mamat Formation (a). «Expected» magnetization directions calculated from the Ordovician, Silurian and Early, Middle Devonian paleomagnetic poles of Siberia (Pavlov, 2016) and the Silurian paleomagnetic pole of Tuva (Kovalenko, 2022) (b). 1–3 — directions of magnetization with confidence circles: 1 — relative to low-temperature (L); 2 — high temperature (H); 3 — calculated from the Siberian paleomagnetic poles. X, T, C 507, C 467, C S, C D₁₋₂ are magnetization directions, respectively: of the Mamat Formation; calculated from the Silurian paleomagnetic pole of Tuva (Kovalenko, 2022); paleomagnetic poles of Siberia for the Ordovician (507, 467 Ma), Silurian and Early-Middle Devonian (Pavlov, 2016).

По направлениям доскладчатой намагниченности пород маматской свиты были рассчитаны палеомагнитные полюсы: $\Lambda = 138.8^\circ$, $\Phi = -3.9^\circ$, $A95 = 5.3^\circ$, $n = 49$ (по штуфам), $\Lambda = 141^\circ$, $\Phi = -2.5^\circ$, $A95 = 4.07^\circ$, $n = 8$ (по сайтам). Палеоширота формирования толщ — $16\text{--}24^\circ\text{с.ш.}$ Палеомагнитный полюс толщ маматской свиты резко не совпадает с ордовикскими палеомагнитными полюсами Сибири и Тувы (Коваленко, 2022; Коваленко и др., 2021; Павлов, 2016) и близок к силурийским полюсам Тувы ($\Lambda = 147^\circ$, $\Phi = 5^\circ$, $A95 = 4.8^\circ$ (Коваленко, 2022; Bachtadse et al., 2000)) и Сибири (Павлов, 2016). Направление Н-намагниченности маматской свиты близко

к направлению намагниченности, рассчитанному из силурийского палеомагнитного полюса Тувы для центральной части Хакасии (53°с.ш. , 90°в.д.) — $F = 4.8 \pm 6.3$, $R = 12 \pm 8$ (рис. 4). Также наклонение Н-намагниченности маматской свиты немного выше наклонения направления намагниченности, рассчитанного из силурийского палеомагнитного полюса Сибири и ниже наклонения направления намагниченности, рассчитанного из ранне-, среднедевонского палеомагнитного полюса Сибири — $F = -11 \pm 6$ для силура (рис. 4) и $F = 14.5 \pm 7.4$ для девона (Павлов, 2016; Beck, 1980; Demarest, 1983). Склонения Н-намагниченности маматской свиты

Таблица 2. Результаты теста на «синскладчатость» методом распрямления складки для пород маматской свиты

Table 2. Results of the «sinfolding» test using the fold straightening method for rocks of the Mamat Formation

Разрезы	n	D	I	K
Средние по Н3, Н4, Н6	3	129	37	84
90% распрямления складки				
Среднее по Н2+Н3+Н6 и среднее по Н4	2	125	35	181
100 % распрямление складки				
L-компоненты	5	236	-61	21
30 % распрямление складки				

Примечание. Обозначения см. табл. 1

Note. Designations see Table 1

Таблица 3. Средние направления высокотемпературной намагниченности пород маматской свиты, рассчитанные по сайтам

Table 3. Average directions of high-temperature magnetization of rocks of the Mamat Formation calculated from sites

Сайты	n	Dc	Ic	Kc	$\alpha_{95}c$	Dд	Iд	Kд	$\alpha_{95}д$
1	4	130	33	18	16	122	32	19	16
2	5	135	38	16	15	126	40	17	15
3	5	126	38	12	18	118	41	14	17
4	5	141	58	20	14	119	43	19	15
5	5	144	49	19	14	123	35	11	18
6	5	322	-62	12	18	301	-39	15	16
7	5	134	39	12	18	127	29	12	18
8	5	142	36	10	19	138	29	10	20
среднее	8	136	44	47	7	124	36	114	4.6

Примечание. Обозначения см. табл. 1

Note. Designations see Table 1

ВЫВОДЫ

Изучение пород Большесырского магматического ареала Минусинской котловины показало, что в породах маматской свиты была выделена, по-видимому, первичная намагниченность и вторичная намагниченность обратной полярности.

Вторичная намагниченность обратной полярности, вероятно, образовалась при перемагничивании толщ в период позднекарбон-пермского суперхрона обратной полярности.

Вывод о первичности намагниченности пород маматской свиты обоснован тестами складки и обращения.

Палеомагнитный полюс красноцветов маматской свиты, которые интродуцируются силами и дайками Большесырского ареала близок к силурийским палеомагнитным полюсам Сибири и Тувы и резко отличается от ордовикских палеомагнитных полюсов этих районов. То есть красноцветные породы являются силурийскими, а вулканические и субвулканические — постсилурийскими. Резкое несогласное

немного отличаются от склонений, рассчитанных из силурийских и девонских полюсов Сибири — $R = -21 \pm 7$ для силура, $R = -21 \pm 11$ для девона (Павлов, 2016; Beck, 1980; Demarest, 1983). По-видимому, это связано с незначительным вращением против часовой стрелки толщ маматской свиты относительно Сибири.

Таким образом, проведенные нами палеомагнитные исследования маматской свиты показывают, что породы свиты не могли быть сформированы в ордовике и имеют силурийский или силур-раннедевонский возраст.

Соответственно, залегающие выше толщ вулканогенной хараджульской свиты, перекрытые среднедевонскими осадочными комплексами, по-видимому, имеют раннедевонский возраст.

перекрытие красноцветных и вулканогенных толщ среднедевонской осадочной мульдой без магматических пород указывает на то, что возраст Большесырского комплекса ограничен интервалом силур-ранний девон.

Генезис пород Большесырского магматического ареала был связан с активностью раннедевонского Минусинского плюма.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИГЕМ РАН, тема №121041500224-8 и при финансовой поддержке РНФ, проект № 22-17-00033.

Список литературы [References]

- Коваленко Д.В., Бузина М.В., Лобанов К.В. Палеомагнетизм ордовикских и раннекарбонных геологических комплексов Тувы // ДАН. 2021. Т. 498. № 2. С. 124–130. [Kovalenko D.V., Buzina M.V., Lobanov K.V. Paleomagnetism of the Ordovician and Early Carboniferous geological complexes of Tuva// Doklady Earth Sciences. 2021. V. 498. № 2. P. 124–130 (in Russian)].
- Коваленко Д.В. Палеомагнетизм силурийских и девонских толщ южной и центральной Тувы //

- Физика Земли. 2022. № 6. С. 12–43 [Kovalenko D.V. Paleomagnetism of the Silurian and Devonian strata of southern and central Tuva // Physics of the Solid Earth. 2022. № 6. P. 12–43 (in Russian)].
- Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200000, серия минусинская, лист N-46-XXV, Москва, 1962, 95 с. [Explanatory note to the geological map of the USSR scale 1:200000, Minusinskaya series, sheet N-46-XXV. Moscow, 1962. 95p. (in Russian)].
- Объяснительная записка к геологической карте РФ масштаба 1:200000, издание второе, серия минусинская, лист N-46-XXV (Аскиз), Москва (Санкт-Петербург), 2003. 240 с. [Explanatory note to the geological map of the USSR scale 1:200000, second edition, Minusinskaya series, sheet N-46-XXV (Askiz), Moscow (St. Petersburg), 2003, 240 p. (in Russian)].
- Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200000, серия минусинская, лист N-46-XIX, Москва, 1966, 105 с. [Explanatory note to the geological map of the USSR scale 1:200000, Minusinskaya series, sheet N-46-XIX. Moscow, 1966. 105 p. (in Russian)].
- Павлов В.Э. Палеомагнетизм Сибирской платформы. Автореф. доктора физ.-мат. наук. Москва, 2016. 48 с. [Pavlov V.E. Paleomagnetism of the Siberian platform. Abstract. Doctor Theses. Moscow, 2016. 48 p. (in Russian)].
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с. [Khratov A.N., Goncharov G.I., Komissarova R.A. et al. Paleomagnetology. Leningrad: Nedra, 1982. 312 p. (in Russian)].
- Шипунов С.В. Новый тест складки в палеомагнетизме (реабилитация теста выравнивания) // Физика Земли. 1995. № 4. С. 67–74 [Shipunov S.V. A new fold test in paleomagnetism (rehabilitation of alignment test) // Physics of the Solid Earth. 1995. № 4. P. 67–74 (in Russian)].
- Bachtadse V., Pavlov V.E., Kazansky A.Y. et al. Siluro-Devonian paleomagnetic results from the Tuva Terrane (southern Siberia, Russia) implications for the paleogeography of Siberia // Journal of Geophysical Research. 2000. V. 105. № B6. P. 13509–13518.
- Beck M.E. Jr. Paleomagnetic record of plate-margin tectonic processes along the western edge of North America // Journal of Geophysical Research. 1980. V. 85. № B2. P. 7115–7131.
- Demarest H.H. Jr. Error analysis for the determination of tectonic rotation from paleomagnetic data // Journal of Geophysical Research. 1983. V. 88. № B7. P. 4121–4328.
- Kirschvink J.L. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data // Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. 1980. V. 62. № 2. P. 699–718.
- McFadden P.L., Jones D. L. The fold test in palaeomagnetism // Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. 1981. V. 67. № 4. P. 53–58.
- McFadden P.L., McElhinny M.W. Classification of the reversal test in palaeomagnetism // Geophysical Journal International. 1990. V. 103. № 3. P. 725–729.
- Vorontsov A., Yarmolyuk V., Dril S. et al. Magmatism of the Devonian Altai-Sayan Rift System: Geological and geochemical evidence for diverse plume-lithosphere interactions // Gondwana Research. 2021. V. 89. № 6. P. 193–219.
- Zijderveld J.D.A. A. C. Demagnetization of rocks: analysis of results // Methods in palaeomagnetism Demagnetization of rocks: analysis of results // Methods in palaeomagnetism / Ed. Collinson D.W., Creer K.M. Amsterdam, a. o., Elsevier Publ. Co., 1967. P. 254–286.

PALEOMAGNETIC DATING OF ROCKS OF THE BOLSHESYRSKY MAGMATIC AREA OF THE MINUSINSKY BASIN

D.V. Kovalenko, M.V. Buzina

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia, 119017

Received July 07, 2023; revised February 21, 2024; accepted March 25, 2024

Paleomagnetic dating of the Bolshesyrsky igneous area, a thick intraplate igneous complex of Khakassia, was carried out. The complex has not been dated due to the peculiarities of the stratigraphy and the lack of suitable rocks for applying the methods of absolute geochronology. The use of the paleomagnetic method has shown that the paleomagnetic pole of the red beds, which are intruded by sills and dikes of the Bolshesyrsky area, is close to the Silurian paleomagnetic poles of Siberia and Tuva and differs sharply from the Ordovician paleomagnetic poles of these areas. That is, red-colored rocks are Silurian, and subvolcanic rocks are post-Silurian. The sharp unconformable overlapping of the red-colored and volcanic strata with the Middle Devonian sedimentary trough without igneous rocks indicates that the age of the Bolshesyrsky complex is limited to the Silurian-Early Devonian interval. The genesis of the rocks of the Bolshesyrsky magmatic area was associated with the activity of the Early Devonian Minusinsk plume.

Keywords: paleomagnetic pole, plume, magnetization, paleolatitude, magnetic field.