

## ПАЛЕОМАГНИТНОЕ ДАТИРОВАНИЕ РАННЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ГРУБООБЛОМОЧНЫХ ТОЛЩ ХРЕБТА ХАН-ХУХЕЙ (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ МОНГОЛИЯ)

© 2025 Д.В. Коваленко, М.В. Бузина, А.Д. Коваленко

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

Поступила в редакцию 04.08.2025; после доработки 11.11.2025; принята в печать 25.12.2025

Проведены палеомагнитные исследования постаккреционных раннефанерозойских грубообломочных толщ западной части хребта Хан-Хухей северо-западной Монголии. По высокотемпературной намагниченности был рассчитан палеомагнитный полюс с координатами:  $\Phi = -27.3^\circ$ ,  $\Lambda = 96.4^\circ$ ,  $A95 = 3.5^\circ$  и палеошироты формирования толщ — от  $10^\circ$  с.ш. до  $15^\circ$  с.ш. Координаты палеомагнитного полюса близки к координатам позднеордовикского и раннесилурийского палеомагнитных полюсов Сибири и резко отличается от координат ранне-, среднеордовикских палеомагнитных полюсов Сибири. Отсюда предполагается позднеордовикский-раннесилурийский возраст грубообломочных толщ. Уточнено время внедрения субвулканических тел, которые секут грубообломочные толщи. Они внедрялись в начале силура, так как они секут грубообломочные толщи, но отсутствуют в раннесилурийских породах. Грубообломочные толщи были развернуты по часовой стрелке относительно Тувы и Сибири на угол около  $20^\circ$ . Вращение толщ не связано со складчатыми деформациями сжатия. Вероятно, толщи были развернуты вместе с комплексами основания при рифтогенных процессах. Формирование рифтовых зон могло быть связано с действием горячей точки, деляминацией литосферы или постколлизийным развалом орогена.

*Ключевые слова: намагниченность, палеоширота, тектоническое совмещение, склонение, наклонение.*

### ВВЕДЕНИЕ

В большинстве работ, в которых рассматривается геодинамическая история центральной части Центрально-Азиатского складчатого пояса, утверждается, что геологическая структура этих районов была сформирована в результате раннепалеозойской аккреции различных геологических блоков (Берзин, Кунгурцев, 1996; Коваленко и др., 1989; Ярмолук и др., 2011; Tectonic..., 2001 и др.). Были тектонически совмещены фрагменты офиолитовой ассоциации, вулканических островных дуг, задуговых бассейнов и микроконтинентов. Время аккреции в разных районах определено с разной степенью достоверности по времени деформаций горных пород, синколлизийного метаморфизма и по возрастам грубообломочных молассовых толщ — от второй половины кембрия до силура (формирование каледонской структуры) (Берзин, Кунгурцев, 1996; Дергунов и др., 1980; Донская и др., 2013; Казанский, 2002;

Коваленко и др., 1989; Ярмолук и др., 2006, 2011; Salnikova et al., 2001; Tectonic..., 2001 и др.). Формирование постаккреционных грубообломочных толщ, по нашему мнению, было связано не только с горообразующими процессами, но и с процессами постколлизийного растяжения. Выявление общей картины распределения на площади грубообломочных толщ разного генезиса и определение времени их формирования важно для понимания особенностей аккреционных и постаккреционных процессов. Различить молассовые грубообломочные толщи и толщи, формирующиеся при рифтогенезе без специальных исследований достаточно сложно. Очевидно, что не просто определить и возраст этих толщ из-за отсутствия органических остатков в них.

В настоящей работе приведены результаты изучения грубообломочных толщ северо-западной Монголии в западной части хребта Хан-Хухей палеомагнитным методом. Сделана попытка датирования и выяснения их генезиса.

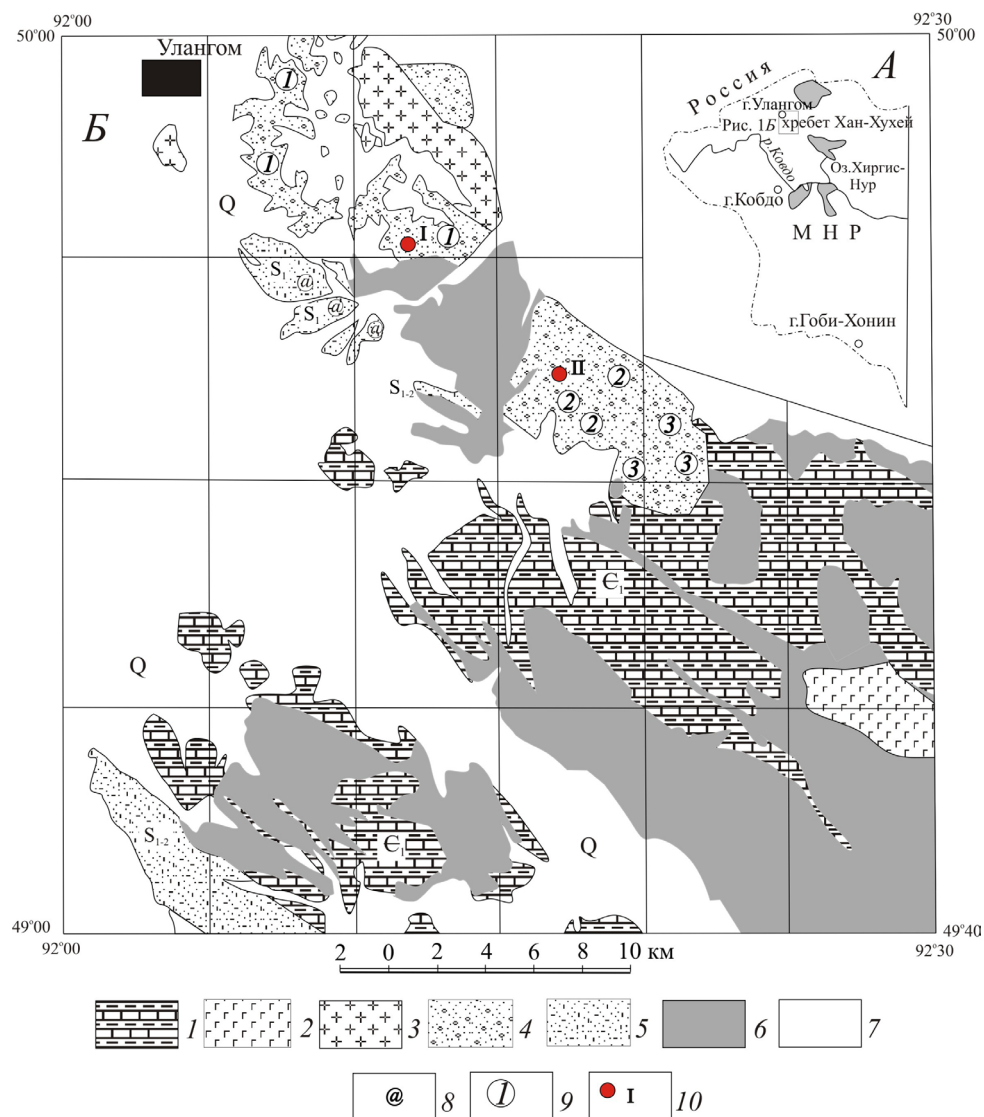
Кроме того, эти толщи интрузируются многочисленными субвулканическими телами, по-видимому, постаккреционного генезиса и датирование грубообломочных толщ позволит уточнить и сузить предполагаемый интервал внедрения магматических расплавов.

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ

В геологической структуре северо-западной Монголии, в том числе и на хребте Хан-Хухей,

выделяются поздневенд-кембрийские доаккреционные и фанерозойские постаккреционные комплексы пород (рис. 1).

Среди доаккреционных комплексов можно выделить фрагменты нижней части офиолитовой ассоциации и вулканогенно-осадочные комплексы, включающие известняки, кремнистые породы, вулканические брекчии, туфопесчаники, туфоалевролиты, пачки подушечных базальтов, олистостромовые горизонты (Объяснительная..., 1995; Объяснительная..., 1977; Хераскова и др., 1985).



**Рис. 1.** Геологическая схема северо-западной части Озерной зоны западной Монголии (Объяснительная..., 1977): 1 — раннекембрийские карбонатно-кремнисто-терригенные толщи; 2–3 — раннефанерозойские интрузивные массивы: 2 — габбро, 3 — граниты; 4 — грубообломочная толща; 5 — силурийские терригенные породы; 6 — нерасчлененные комплексы субвулканических пород: силлы, дайки и штоки пород основного, среднего и кислого состава; 7 — четвертичные отложения; 8 — места находок флоры и фауны; 9 — расположение разрезов, представленных в колонках 1, 2, 3 на рис. 2; 10 — места палеомагнитного опробования.

**Fig. 1.** Geological scheme of the northwestern part of the Lake Zone of western Mongolia (Explanatory note..., 1977): 1 — Early Cambrian carbonate-siliceous-terrigenous strata; 2–3 — Early Phanerozoic intrusive massifs: 2 — gabbro, 3 — granite; 4 — coarse-clastic strata, 5 — Silurian terrigenous rocks; 6 — undifferentiated complexes of subvolcanic rocks: sills, dikes and stocks of basic, intermediate and acidic rocks; 7 — Quaternary deposits; 8 — locations of flora and fauna finds; 9 — location of sections presented in columns 1, 2, 3 in Fig. 2; 10 — locations of paleomagnetic sampling.

По офиолитам западной Монголии существует несколько U-Pb датировок возраста по плагиогранитам, которые находятся в интервале 573–560 млн лет (Козаков и др., 2002; Jian et al., 2014). Из известняков имеются поздневендские и раннекембрийские определения возраста по водорослям и археоциатам (Объяснительная..., 1995; Объяснительная..., 1977; Хераскова и др., 1985). По лавам подушечных базальтов имеются оценки возраста по Sm-Nd изохронам — 522–527 млн лет (Коваленко и др., 1996). Доаккреционные геологические комплексы рассматриваются как фрагменты надсубдукционной системы, включающей островную дугу и задуговый бассейн (Коваленко и др., 1996, 2014, 2016; Ярмолюк и др., 2011; Tectonic..., 2001).

Начало аккреционных деформаций, в результате которых образовалась в том числе и каледонская структура Монголии, оценивается по возрасту метаморфизма как 515–500 млн лет (Донская и др., 2013). В это время в основном протекали надвиго-складчатые деформации. Позже, в период до 460–470 млн лет при формировании каледонид стали проявляться сдвиговые деформации (Донская и др., 2013, Рябинин и др., 2011; Vladimirov et al., 2017 и др.). По-видимому, в это же время начали образовываться грубообломочные толщи с резким угловым несогласием перекрывающие доаккреционные структуры (Дергунов и др., 1980). Для этих толщ имеются единичные датировки по флоре и фауне, которые в основном попадают в ордовикский интервал (Дергунов и др., 1980). Постааккреционные грубообломочные толщи сложены мощными пачками валунов, конгломератов, гравелитов, брекчий, включающих горизонты песчаников и алевролитов (Объяснительная..., 1995; Объяснительная..., 1977).

Выше с разрывом и угловым несогласием залегают раннесилурийские породы. Они представлены песчаниками, алевролитами, реже конгломератами, гравелитами и известняками. Возраст пород оценивается по комплексам фауны кораллов, брахиопод, трилобитов (Объяснительная..., 1995; Объяснительная..., 1977).

Силурийские толщи с несогласием перекрыты девонскими красноцветными вулканогенно-осадочными толщами, включающими известняки, песчаники, алевролиты, конгломераты и гравелиты, подушечные базальты. Возраст пород определялся по комплексам флоры (Дурантэ, 1976) и по фауне кораллов, брахиопод, трилобитов и головоногих (Объяснительная..., 1995; Объяснительная..., 1977).

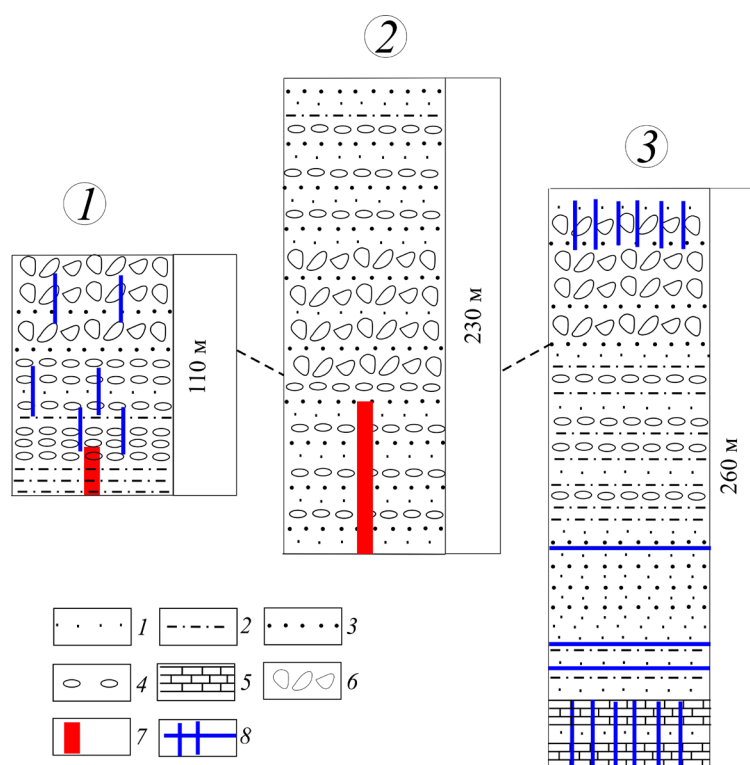
Девонские комплексы с разрывом и угловым несогласием перекрыты мезозойскими толщами. Возраст пород определялся по комплексам флоры и фауны (Объяснительная..., 1995).

Толщи северо-западной Монголии интродуцированы многочисленными массивами гранитов, диоритов и габбро позднекембрийско-раннеордовикского и девонского возраста (Объяснительная..., 1995; Объяснительная..., 1977) и многочисленными системами силлов и даек палеозойского возраста (Коваленко и др., 2004, 2014).

## ОБЪЕКТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной статье приводятся результаты палеомагнитного изучения грубообломочных толщ западной части хребта Хан-Хухей северо-западной Монголии (рис. 1). Эти толщи с разрывом и угловым несогласием залегают на деформированных поздневенд-раннекембрийских толщах, представленных вулканогенными песчаниками, алевролитами и аргиллидами, известняками и кремнистыми породами. Выше молассовых толщ несогласно залегают датированные по комплексам фауны (Объяснительная..., 1995) раннесилурийские, нерасчлененные силурийские и девонские толщи. Исходя из этих данных, предполагался позднекембрийско-ордовикский возраст грубообломочных толщ. В результате палеомагнитных исследований планировалось более точно оценить их возраст и, по возможности предположить их генезис. Если исследуемые толщи входили в структуру Сибири, то палеомагнитным методом возраст грубообломочных толщ может быть оценен с точностью до отдела, так как кембрийские и ордовикские палеомагнитные полюсы для Сибири надежно определены и значимо различаются. Кроме того, в первой половине ордовика магнитное поле Земли имело прямую полярность (ордовикский суперхрон), а в позднем ордовике — было знакопеременным, прямой и обратной полярности (Павлов, 2015), что дает дополнительные возможности для более точного датирования толщ.

В результате полевых маршрутных исследований авторов было выяснено строение грубообломочных толщ (рис. 2). Они сложены в нижней части известняками, выше без видимого несогласия располагается толща чередующихся алевролитов, песчаников и гравелитов с примесью вулканического материала. Вверх по разрезу они сменяются толщей чередующихся грубозернистых туфогенных песчаников, гравелитов и конгломератов с гальками кремней, песчаников, вулканических пород, которые выше по разрезу сменяются толщей валунных конгломератов (с валунами до 2 м в поперечнике, представленными вулканическими породами). Верх видимого разреза представлен чередующимися грубыми туфогенными песчаниками, гравелитами и конгломератами (рис. 2, разрез 2).



**Рис. 2.** Взаимное положение и строение фрагментов разрезов обломочной толщи западной части хребта Хан-Хухей: 1 — песчаники; 2 — алевролиты; 3 — гравелиты; 4 — конгломераты; 5 — известняки; 6 — валунные конгломераты; 7 — части толщи, опробованные для палеомагнитных исследований; 8 — силлы и дайки. Местоположение разрезов представлено на рис. 1.

**Fig. 2.** Relative position and structure of fragments of sections of the clastic strata of the western part of the Khan-Khuhei Ridge. 1 — sandstones; 2 — siltstones; 3 — gravelstones; 4 — conglomerates; 5 — limestones; 6 — boulder conglomerates; 7 — sections sampled for paleomagnetic studies; 8 — sills and dikes. The location of the section is shown in Fig. 1.

Общая мощность толщи около 300–350 м. Толща слабо деформирована в пологую антиклиналь. На западе, ближе к г. Улангом (рис. 2, разрез 1) элементы залегания пород: азимут падения  $Az_{\text{пд}}=0^\circ$ , угол падения  $\angle 40^\circ$ , в разрезе 2 —  $Az_{\text{пд}}=105-130^\circ$ ,  $\angle 12-17^\circ$ , на востоке (рис. 2, разрез 3)  $Az_{\text{пд}}$  варьирует от  $280^\circ$  до  $355^\circ$ , угол падения меняется от  $\angle 20^\circ$  до  $\angle 40^\circ$ . Осевая часть антиклинали интенсивно кливажирована, элементы залегания плоскостей кливажа:  $Az_{\text{пд}}=110^\circ$ , угол падения  $\angle 80-90^\circ$ .

Во всех раннефанерозойских (доаккреционных и грубообломочных) толщах западной части хребта Хан-Хухей присутствуют многочисленные субвулканические тела (силлы и дайки) базальтов, андезитов, дацитов и плагиогранитов. Их распределение в толщах неравномерно. В отдельных районах (рис. 1) их концентрация такова, что практически не видно вмещающих пород, силлы и дайки многократно и сложным образом секут друг друга — в частности, в зоне кливажа в осевой плоскости антиклинали. В других районах они присутствуют в разрезах в виде разрозненных межслойных силлов или даек. В датированных по комплексам фауны раннесилурийских и нерасчлененных силурийских толщах субвулканических тел нет вообще. В этой связи пока делается предположение, что внедрение субвулканических тел было после формирования грубообломочных толщ, но до раннего силура. Результаты палеомагнитных исследований могут дать уточнение и по этому вопросу.

Образцы для палеомагнитных исследований отбирались в двух толщах. В разрезе 2 была опробована пачка алевролитов, песчаников и гравелитов в нижней части разреза 2 мощностью около 90 м (II на рис. 1, 2,  $49^\circ 52.978'$  с.ш.,  $92^\circ 15.866'$  в.д.) и аналогичная маломощная (25 м) пачка в самой нижней части видимого разреза 1 (I на рис. 1,  $49^\circ 55.046'$  с.ш.,  $92^\circ 11.752'$  в.д.). Из тонких песчаников и алевролитов разрезов были отобраны 64 и 15 палеомагнитных образцов соответственно.

### ПАЛЕОМАГНИТНЫЙ МЕТОД

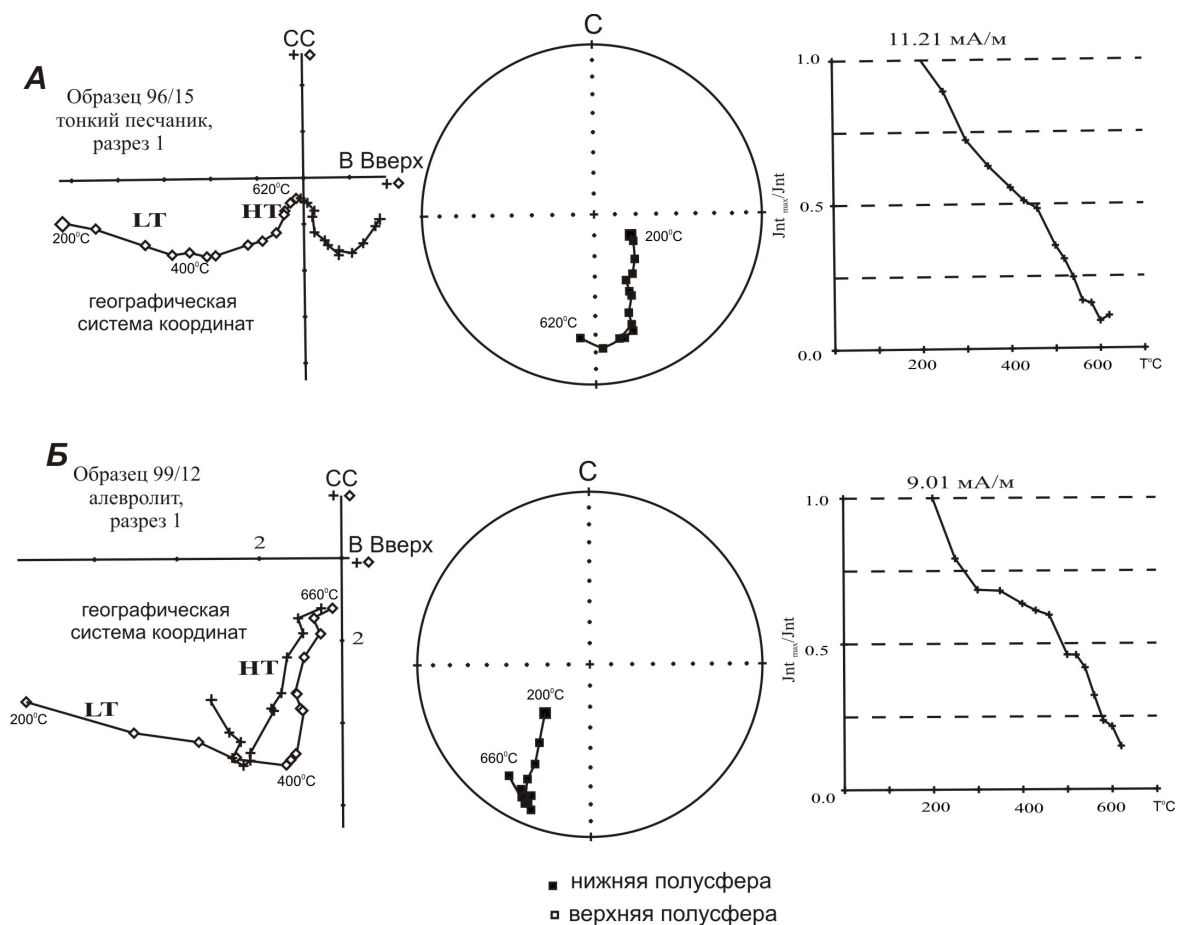
Обработка палеомагнитных образцов проводилась в палеомагнитной лаборатории Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН. Из каждого образца выпиливалось два кубика с ребром 1 или 2 см. Каждый кубик подвергался термочистке в интервале температур  $200-680^\circ\text{C}$ . Термочистка проходила в печи, защищенной пермаллоевыми экранами, позволяющими экранировать магнитное поле Земли до  $10-15$  нТл. Верхняя граница чистки определялась появлением магнитных новообразований, искажающих естественную остаточную намагниченность кубика. Появление магнитных новообразований в процессе температурной чистки определялось по резкому увеличению величины намагниченности кубика, и по тому, что направление вектора намагниченности от нагрева к нагреву начинало меняться хаотически. Для большинства кубиков проводилось  $12-16$  нагревов.

Измерение величины и направления остаточной намагниченности образцов проводилось на магнитометре JR-6 (Чехия). По данным термочистки для каждого кубика строились диаграммы Зийдервельда (Zijderveld, 1967), проводился компонентный анализ намагниченности (Kirschvink, 1980) и анализ распределения выделенных компонент естественной остаточной намагниченности на сфере (Храмов и др., 1982; Шипунов, 1995; Fisher, 1953; McFadden, Jones, 1981) Использовались компьютерные программы, разработанные R.J. Enkin (1994). По двум кубикам рассчитывались средние направления выделенных компонент намагниченности. Отбраковка направлений намагниченности образца производилась в тех случаях, когда диаграмма Зийдервельда 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 анализировались на сфере для каждого тектонического блока отдельно,

а также совместно по всем опробованным блокам из каждого разреза исследованных комплексов пород в современной (ССК) и древней (ДСК) системах координат (Храмов и др., 1982; Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Намагниченность алевролитов и песчаников из разрезов грубообломочных толщ в большинстве образцов включает одну или две компоненты (рис. 3). Низкотемпературная компонента (ЛТ) выделяется в спектре блокирующих температур от 200 до 460 °С. Высокотемпературная компонента (НТ) сохраняется в интервале температур от 400 до 580 °С, в некоторых образцах — до 660 °С. Компонента ЛТ в ССК близка по направлению к современному магнитному полю в западной Монголии. Очевидно, что компоненты ЛТ во всех разрезах являются вторичными и образовались при перемагничивании горных пород в кайнозое.



**Рис. 3.** Результаты компонентного анализа образцов грубообломочной толщи северо-западной Монголии. Шкалы абсцисс и ординат диаграмм Зийдервельда в мА/м. С — север; В — восток.

**Fig. 3.** Results of component analysis of coarse-grained samples from northwestern Mongolia. The x- and y-axes of the Zijderveld diagrams are in mA/m. С — north; В — east.

Единичные векторы компоненты НТ в разрезах образуют на стереопроекции отчетливые группы (табл. 1; рис. 4). Средние направления компоненты НТ приведены на рис. 5 и в табл. 1. Как показал тест складки, проведенный методом сравнения средних направлений намагниченности (Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981), средние направления НТ компонент разрезов I и II в ССК статистически отличаются, а в ДСК — совпадают (рис. 4). Тест складки методом выравнивания (Храмов и др., 1982), проведенный по 9 сайтам (табл. 2) —  $K_d/K_c = 1.8$ , также показывает, что кучность векторов намагниченности в ДСК почти в два раза выше, чем в ССК. То есть, намагниченность — доскладчатая. Несогласие в основании силурийских толщ свидетельствует, что не позднее раннего силура в районе западной Монголии прошли деформации горных пород. Присутствие некливажированных субвулканических тел в кливажированной осевой части антиклинальной складки грубообломочной толщи показывает, что образование кливажа осевой плоскости складки и, по-видимому, формирование самой антиклинали было до внедрения субвулканических тел, до раннего силура. То есть, время формирования антиклинали незначительно оторвано от времени формирования грубообломочных толщ.

Тест на синскладчатость показывает, что максимальная кучность векторов НТ намагниченности ( $K=250$ ) образуется при полном распрямлении складки.

В разрезе II все векторы НТ намагниченности имеют прямую полярность, в разрезе I — выявлена зона намагниченности обратной полярности (6 образцов) и прямо намагниченные слои ниже и выше ее (4 образца). Корректно провести тест обращения для намагниченности разреза I не представляется возможным из-за недостаточного количества векторов НТ намагниченности. Тем не менее, отметим, что тест обращения по среднему направлению НТ намагниченности прямой полярности разреза II и среднего направлению НТ намагниченности зоны обратной полярности разреза I — положителен (табл.1).

Таким образом, приведенные выше данные показывают, что НТ компоненты намагниченности молассовых толщ доскладчатые и, вероятно, близки к первичным.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В образцах грубообломочных пород западной части хребта Хан-Хухей были выделены близкие к первичным компоненты намагниченности (табл. 1, 2). По их среднему направлению был

**Таблица 1.** Средние направления намагниченности пород обломочной толщи хребта Хан-Хухей

**Table 1.** Average magnetization directions of rocks in the Khan-Khuhei Ridge clastic sequence.

Блоки	N/N <sub>0</sub>	Dc	Ic	Kc	$\alpha_{95c}$	Dд	Iд	Kд	$\alpha_{95д}$
Разрез II LT	47/64	356	76	42	3.7	71	77	42	3.7
НТ	59/64	183	31	15	4.8	178	23	15	4.8
Разрез I LT	10/15	27	61	10	15	12	21	10	15
НТ N и R полярности	10/15	166	-11	11	13	165	28	11	13
НТ R полярности	6/15	356	24	21	12	356	-16	21	12
Тест складки (сравнение средних направлений (McFadden, Jones, 1981; Шипунов, 1995))									
НТ Разрезы I и II	69	180	25	10	5.4	176	24	14	4.5
$F_2$ кр = 0.05		$F_2$ с = 0.49			$F_2$ д = 0.04				
Тест обращения									
НТ Разрезы II и I R полярности	65	182	26	10	5.5	178	22	15	4.4
$F_2$ кр = 0.05		$F_2$ с = 0.55			$F_2$ д = 0.01				
$\gamma$ кр = 15.9		$\gamma$ с = 55.4			$\gamma$ д = 7.25				

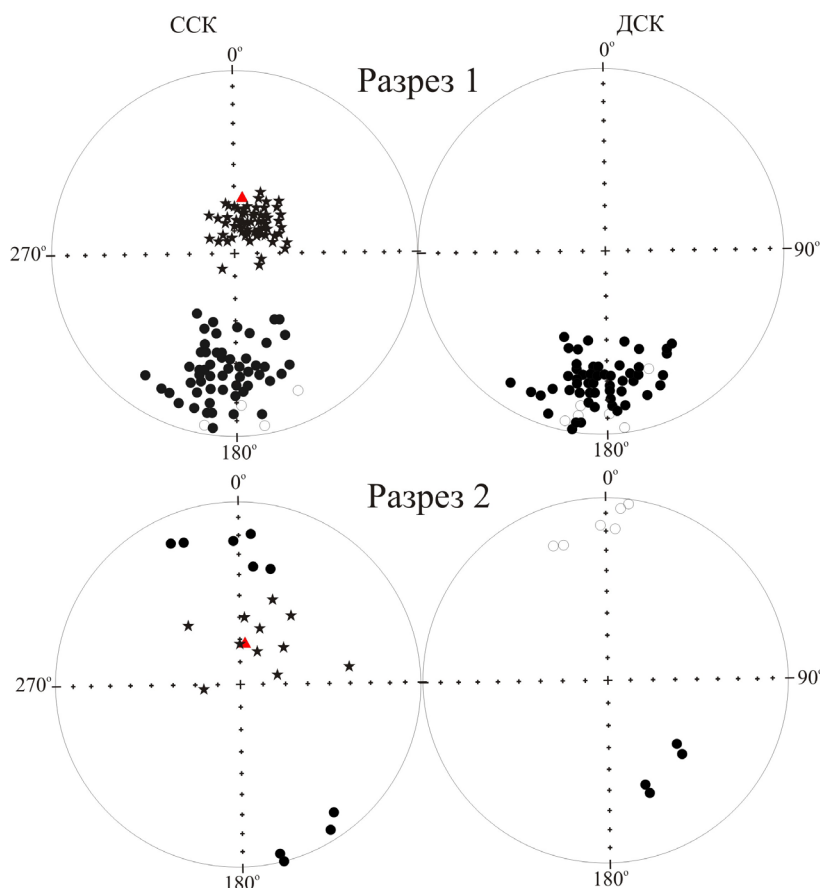
Примечание. N/N<sub>0</sub> — количество образцов: используемых в анализе/отобранных из обнажений, D, I, K,  $\alpha_{95}$  — соответственно, склонение, наклонение, кучность и угол доверия средних направлений. Символы с и д обозначают ССК и ДСК. F и  $\gamma$  — статистические параметры, используемые при сравнении средних направлений намагниченности (Шипунов, 1995; Enkin, 1994; McFadden, Jones, 1981).

Note. N/N<sub>0</sub> is the number of samples used in the analysis/collected from outcrops; D, I, K, and  $\alpha_{95}$  are the declination, inclination, clustering, and confidence angle of the average directions, respectively. The symbols c and d denote «In situ» and «Tilt corrected». F,  $\gamma$  — statistical parameters used in comparing average directions of magnetization (Shipunov, 1995; McFadden, Jones, 1981; Enkin, 1994)

рассчитан палеомагнитный полюс с координатами:  $\Phi = -27.3^\circ$ ,  $\Lambda = 96.4^\circ$ ,  $A95 = 3.5^\circ$ . Толщи формировались в широтном интервале от  $10^\circ$  с.ш. до  $15^\circ$  с.ш. По сайтам координаты полюса —  $\Phi = -28^\circ$ ,  $\Lambda = 97.5^\circ$ ,  $A95 = 6.7^\circ$ , широта формирования пород — от  $7^\circ$  с.ш. до  $17^\circ$  с.ш.

Для определения возраста толщ рассчитанный для них палеомагнитный полюс необходимо сравнить с полюсами для Сибирской платформы в предположении, что исследованные грубообломочные толщи входили в структуру Сибири. Какие есть основания для этого пред-

положения? В работе (Донская и др., 2013) было установлено довольно точное время тектонического совмещения венд-кембрийских вулканогенно-осадочных островодужных и задуговых комплексов с Сибирью в Ольхонской зоне Прибайкалья — 500 млн лет (покровно-складчатые деформации) и 460–470 млн лет (сдвиговые деформации). Близкие возрасты деформаций были установлены в центральной Монголии (488–471 млн лет (Гордиенко и др., 2012)), Восточном Саяне (481, 474 млн лет (Рябинин и др., 2011)), Баргузинском террейне (469 млн лет

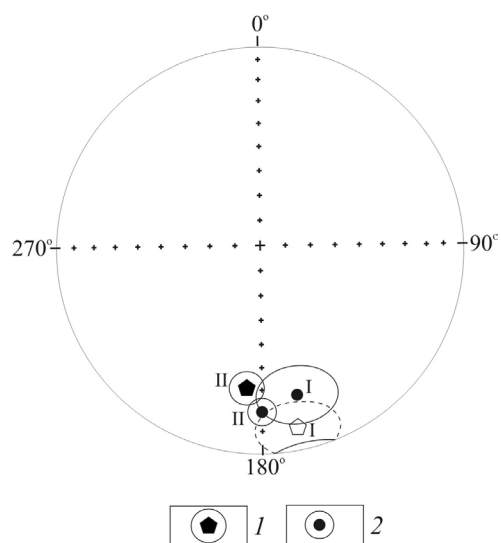


**Рис. 5.** Распределение средних направлений намагниченности грубообломочных пород северо-западной Монголии на равнопромежуточной экваториальной стереопроекции (табл. 1): 1, 2 — средние направления НТ намагниченности с кругами доверия образцов разрезов I и II в ССК и ДСК, соответственно. Залитые символы — нижняя полусфера, открытые — верхняя полусфера.

**Fig. 5.** Distribution of average magnetization directions of coarse-grained rocks of northwestern Mongolia on the equidistant equatorial stereographic projection (Table 1): 1, 2 — average NT magnetization directions with confidence circles of samples from sections I and II in situ and tilt corrected. Filled symbols — lower hemisphere, open symbols — upper hemisphere.

**Рис. 4.** Распределение единичных векторов намагниченности грубообломочных пород на равнопромежуточной экваториальной стереопроекции. Звездочки и кружки — ЛТ и НТ компоненты намагниченности образцов, соответственно. Треугольник — направление современного магнитного поля Земли в районе западной Монголии. Залитые и не залитые символы — направления намагниченности прямой и обратной полярности.

**Fig. 4.** Distribution of unit magnetization vectors of coarse-clastic rocks on an equidistant equatorial stereographic projection. Asterisks and circles indicate the LT and HT magnetization components of the samples, respectively. The triangle indicates the direction of the Earth's modern magnetic field in western Mongolia. Filled and unfilled symbols indicate the directions of magnetization of normal and reverse polarity.



**Таблица 2.** Направления намагниченности для сайтов обломочной толщи хребта Хан-Хухей**Table 2.** Magnetization directions for sites of the Khan-Khuhei Ridge debris sequence

сайты	N	Dc	Ic	Kc	$\alpha_{95c}$	Dд	Iд	Kд	$\alpha_{95д}$
1	6	191	32	9	19	185	25	9	19
2	5	174	2	16	16	174	-8	15	16
3	4	188	19	129	6	184	17	131	6
4	8	192	26	20	11	186	19	20	11
5	9	194	47	59	6	187	37	59	6
6	6	180	38	16	14	173	28	17	14
7	8	181	39	32	8.7	172	28	30	9
8	7	176	24	14	14	171	23	14	14
9	6	173	32	54	8	168	24	54	8

Примечание. Обозначения см. табл. 1.

Note. For legend, see Table 1.

(Рычкидр., 2007)), Туве (525–490 млн лет (надвиги), 490–430 млн лет (правые сдвиги) (Vladimirov et al., 2017), западной Монголии (514, 490 млн лет (Козаков и др., 2002; Ярмолюк и др., 2011)) и других районах. Эти данные свидетельствуют о том, что крупный геологический блок от главного монгольского линеамента на юге Монголии до Прибайкалья в позднем кембрии-ордовике участвовал в коллизионных деформациях при столкновении с Сибирью. В то же время в работах (Буслов и др., 2013; Volkova et al., 2009) было показано, что на Западном Саяне в структуре присутствуют голубые сланцы с возрастом 470–465 млн лет. Это значит, что в этом районе в ордовике еще могла быть субдукция. В этой связи в работе (Буслов и др., 2013) предполагается, что коллизия каледонского (Байкальского по (Буслов и др., 2013)) блока с Сибирью протекала веерообразно с вращением блока по часовой стрелке с полюсом вращения в районе Ольхонской зоны Байкала. В позднем кембрии каледонский блок в районе Байкала уже был тектонически совмещен с Сибирью, а более западные районы (Горный Алтай, Казахстан) еще отделялись от Сибири Зайсанским бассейном (Буслов и др., 2013). Палеомагнитные данные по ордовикским толщам Тувы (Коваленко и др., 2021) показывают, что эти районы уже входили в структуру Сибири. Таким образом, мы считаем, что, по крайней мере, Прибайкалье, Забайкалье, центральная Монголии и Тува в позднем кембрии — ордовике уже входили в структуру Сибири. Голубые сланцы в Западном Саяне с возрастом 470–465 млн лет, вероятно, формировались при последних затухающих импульсах субдукции уже одновременно с коллизионными процессами. То есть, для определения возраста пород западной Монголии мы можем использовать палеомагнитные полюсы Сибири.

Сравнение с палеомагнитными полюсами Сибири показало, что палеомагнитный полюс для исследованных грубообломочных толщ северо-западной Монголии близок к позднеордовикскому (определен с большой погрешностью) и раннесилурийскому палеомагнитным полюсам Сибири и резко отличается от ранне-, среднеордовикских палеомагнитных полюсов Сибири (Павлов, 2015):  $F = -40^\circ$ ,  $\Delta F = 6.2^\circ$ ,  $R = 45^\circ$ ,  $\Delta R = 6.6^\circ$  (полюс для Сибири 467 млн лет);  $F = -32^\circ$ ,  $\Delta F = 10^\circ$ ,  $R = 51^\circ$ ,  $\Delta R = 10^\circ$  (полюс для Сибири 461 млн лет);  $F = -13^\circ$ ,  $\Delta F = 28^\circ$ ,  $R = 38^\circ$ ,  $\Delta R = 28.5^\circ$  (полюс для Сибири 451 млн лет);  $F = 6^\circ$ ,  $\Delta F = 5^\circ$ ,  $R = 26^\circ$ ,  $\Delta R = 5.5^\circ$  (полюс для Сибири 432 млн лет). По сайтам:  $F = -39^\circ$ ,  $\Delta F = 8.6^\circ$ ,  $R = 44^\circ$ ,  $\Delta R = 9^\circ$  (полюс для Сибири 467 млн лет);  $F = -31^\circ$ ,  $\Delta F = 12^\circ$ ,  $R = 49^\circ$ ,  $\Delta R = 12^\circ$  (полюс для Сибири 461 млн лет);  $F = -12.5^\circ$ ,  $\Delta F = 29^\circ$ ,  $R = 37^\circ$ ,  $\Delta R = 29^\circ$  (полюс для Сибири 451 млн лет);  $F = 7^\circ$ ,  $\Delta F = 7.6^\circ$ ,  $R = 26^\circ$ ,  $\Delta R = 8.5^\circ$  (полюс для Сибири 432 млн лет), где  $F = I$  ожидаемое —  $I$  измеренное,  $R = D$  измеренное —  $D$  ожидаемое,  $\Delta R$ ,  $\Delta F$  — погрешности расчета разностей (Beck, 1980; Demarest, 1983). Полученные данные позволяют уточнить и время внедрения субвулканических тел, которые секут грубообломочные толщи. Судя по всему, они внедрялись в начале силура, так как они секут грубообломочные толщи, но отсутствуют в раннесилурийских породах.

Из приведенных данных видно, что в позднем ордовике и в раннем силуре исследованные толщи могли входить в структуру Сибири, но были развернуты по часовой стрелке относительно нее на угол около  $20^\circ$ . Важно отметить, что вращение толщ не связано со складчатыми деформациями сжатия, так как антиклинальная структура, в которой они залегают, очень слабо выражена (углы падения крыльев —  $10$ – $15^\circ$ ).

Скорее всего, толщи были развернуты вместе с комплексами основания при рифтогенных процессах. Обратим внимание, что грубообломочные толщи с угловым несогласием и размывом (Объяснительная..., 1995) залегают на деформированных каледонских структурах. Время формирования структур в ближайшем к северо-западной Монголии районе южной Тувы оценивается 490 млн лет (Vladimirov et al., 2017). Следовательно, с этого времени и до конца ордовика на территории северо-западной Монголии отсутствовало осадконакопление, по-видимому, в связи с подъемом этого района. В конце ордовика заложились рифтовые зоны в которых началось накопление грубообломочных вулканогенно-осадочных толщ и внедрение магматических расплавов. Формирование рифтовых зон могло быть связано с действием горячей точки, деламинацией литосферы или постколлизийным развалом орогена.

### ВЫВОДЫ

Намагнитченность пород из разрезов постакреционных грубообломочных толщ западной части хребта Хан-Хухей северо-Западной Монголии в большинстве образцов включает одну или две компоненты. Низкотемпературные компоненты во всех разрезах являются вторичными и образовались при перемагничивании горных пород в кайнозое. Высокотемпературные компоненты намагнитченности по результатам тестов складки и обращения — доскладчатые и, вероятно, близки к первичным.

По высокотемпературной намагнитченности был рассчитан палеомагнитный полюс с координатами:  $\Phi = -27.3^\circ$ ,  $\Lambda = 96.4^\circ$ ,  $A95 = 3.5^\circ$  и палеошироты формирования толщ — от  $10^\circ$  с.ш. до  $15^\circ$  с.ш.

Палеомагнитный полюс для исследованных грубообломочных толщ северо-западной Монголии близок к позднеордовикскому и раннесилурийскому палеомагнитным полюсам Сибири и резко отличается от ранне-, среднеордовикских палеомагнитных полюсов Сибири. Предполагается позднеордовикский-раннесилурийский возраст грубообломочных толщ. Полученные данные позволяют уточнить и время внедрения субвулканических тел, которые секут грубообломочные толщи. Судя по всему, они внедрялись в начале силура, так как они секут грубообломочные толщи, но отсутствуют в раннесилурийских породах.

Грубообломочные толщи были развернуты по часовой стрелке относительно Тувы и Сибири на угол около  $20^\circ$ . Вращение толщ не связано со складчатыми деформациями сжатия, а, вероятно, были развернуты вместе с комплексами

основания при рифтогенных процессах. Формирование рифтовых зон могло быть связано с действием горячей точки, деламинацией литосферы или постколлизийным развалом орогена.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 124022400145-3.

### Список литературы [References]

- Берзин Н.А., Кунгурцев Л.В.* Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 1. С. 63–81 [*Berzin N.A., Kungurtsev L.V.* Geodynamic interpretation of geological complexes of Altai-Sayan region // *Geology and Geophysics*. 1996. Т. 37. № 1. Р. 56–73].
- Буслов М.М., Джен Х., Травин А.В. и др.* Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 10. С. 1600–1627 [*Buslov M.M., Jen H., Travin A.V. et al.* Tectonics and geodynamics of Gornyy Altai and adjacent structures of the Altai–Sayan folded area // *Geology and Geophysics*. 2013. V. 54. № 10. P. 1250–1271].
- Гордиенко И.В., Ковач В.П., Елбаев А.Л. и др.* Возраст и условия формирования коллизионных гранитоидов Джидинской зоны Центрально-Азиатского складчатого пояса, юго-западное Забайкалье // Петрология. 2012. Т. 20. № 1. С. 45–65 [*Gordienko I.V., Kovach V.P., Elbaev A.L. et al.* Collisional granitoids of the Dzhida zone of the Central Asian Fold belt, Southwestern Transbaikalia: Age and conditions of the formation // *Petrology*. 2012. V. 20. № 1. P. 40–58].
- Дергунов А.Б., Лувсанданзан Б., Павленко В.С.* Геология западной Монголии. Труды Советско-Монгольской геологической экспедиции. Вып. 31. М.: Наука, 1980. 195 с. [*Dergunov A.B., Luvsandanzan B., Pavlenko V.S.* Geology of Western Mongolia. Proceedings of the Soviet-Mongolian Geological Expedition. 1980. Iss. 31. Moscow: Nauka, 195 p. (in Russian)].
- Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Федоровский В.С. и др.* Синметаморфические гранитоиды (490 млн лет) — индикаторы аккреционной стадии в эволюции Ольхонского террейна (Западное Прибайкалье) // Геология и геофизика. 2013. т. 54. № 10. С. 1543–1561 [*Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Fedorovsky V.S. et al.* Synmetamorphic granitoids (~490 Ma) as accretion indicators in the evolution of the Ol'khon terrane (western Cisbaikalia) // *Geology and Geophysics*. 2013. V. 54. №.10. P. 1205–1218].
- Дурантэ М.В.* Палеоботаническое обоснование стратиграфии карбона и перми Монголии. Труды Советско-Монгольской геологической экспедиции. М.: Наука, 1976. Вып. 19. 276 с. [*Durante M.V.* Paleobotanical substantiation of the Carboniferous and Permian stratigraphy of Mongolia. Proceedings of the Soviet-Mongolian Geological Expedition. 1976. Iss. 19. Moscow: Nauka, 276 p. (in Russian)].
- Казанский А.Ю.* Эволюция структур западного обрамления Сибирской платформы по палеомагнитным данным: Автореф. дисс. докт. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2002. 25 с. [*Kazanskiy A.Yu.*

- Evolution of structures of the Western frame of the Siberian platform according to paleomagnetic data: Abstract. Doctor. Thesis. Novosibirsk, 2002. 25 p. (in Russian)].
- Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Пухтель И.С. и др.* Магматические породы и источники магм офиолитов Озерной зоны (Монголия) // Петрология. 1996. Т. 4. № 5. С. 453–495 [*Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Pukhtel I.S. et al.* Igneous Rocks and Magma Sources of the Oznaya Zone Ophiolites, Mongolia // Petrology. V. 4. № 5. 1996. P. 420–459].
- Коваленко Д.В., Монгуш А.А., Агеева О.А. и др.* Геодинамические условия формирования и источники венд-раннепалеозойских магматических комплексов хребта Дариби (Западная Монголия) // Петрология. 2014. № 4. С. 389–417. <https://doi.org/10.7868/S0869590314040049> [*Kovalenko D.V., Mongush A.A., Ageeva O.A. et al.* Sources and Geodynamic Environments of Formation of Vendian–Early Paleozoic Magmatic Complexes in the Daribi Range, Western Mongolia // Petrology. 2014. № 4. P. 389–417 (in Russian)].
- Коваленко Д.В., Бузина М.В., Лобанов К.В.* Палеомагнетизм ордовикских и раннекарбонатовых геологических комплексов Тувы // ДАН. 2021. Т. 498. № 2. С. 124–130. <https://doi.org/10.31857/S2686739721060104> [*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. 459–464. <https://doi.org/10.1134/S1028334X21060106>].
- Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Моссаковский А.А.* Магматизм и геодинамика континентальной стадии (на примере Монголии) // Геотектоника. 1989. № 4. С. 3–20 [*Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Mossakovsky A.A.* Magmatism and geodynamics of the continental stage (on the example of Mongolia). Geotectonics. 1989. № 4. P. 3–20 (in Russian)].
- Коваленко Д.В., Лебедев В.И., Монгуш А.А. и др.* Геодинамические условия формирования и источники раннекембрийских доаккреционных магматических комплексов западной Монголии // Петрология. 2016. Т. 24. № 2. С. 194–211. <https://doi.org/10.7868/S0869590316020035> [*Kovalenko D.V., Lebedev V.I., Mongush A.A. et al.* Geodynamics and sources of preaccretionary magmatism in western Mongolia // Petrology. 2016. V. 24. № 2. P. 178–195. <https://doi.org/10.1134/S086959111602003X>].
- Козаков И.К., Сальникова Е.Б., Хаин Е.В. и др.* Этапы и тектоническая обстановка формирования кристаллических комплексов ранних каледонид Озерной зоны Монголии: результаты U-Pb и Sm-Nd изотопных исследований // Геотектоника. 2002. № 2. С. 80–92 [*Kozakov I.K., Salnikova E.B., Khain E.V. et al.* Stages and tectonic setting of formation of crystalline complexes of the early Caledonides of the Lake Zone of Mongolia: results of U-Pb and Sm-Nd isotope studies // Geotectonics. 2002. № 2. P. 80–92 (in Russian)].
- Объяснительная записка к отчету о результатах геологической съемки м-ба 1:200000 проведенной в Ховдинском-Гоби-Алтайском районе Монголии, 1988–1995 г. 1995. [Explanatory note to the report on the results of geological survey scale 1:200000 conducted in the Khovdinsky-Gobi-Altai region of Mongolia. 1988–1995 (in Russian)].
- Объяснительная записка к отчету о геологосъемочных и поисковых работах масштаба 1:200000, проведенных Улангомской партией № 5 в котловине Больших Озер в 1974–75 г.г. 1977 [Explanatory note to the report on geological survey and exploration work at a scale of 1:200000, carried out by Ulangom party No. 5 in the Great Lakes basin in 1974–75 г.г. 1977 (in Russian)].
- Павлов В.Э.* Палеомагнетизм Сибирской платформы. Автореф. доктора физ.-мат. наук. Москва. 2015. 48 с. [*Pavlov V.E.* Paleomagnetism of the Siberian platform. Abstract. Doctor Theses. Moscow. 2015. 48 p. (in Russian)].
- Рыцк Е.Ю., Ковач В.П., Коваленко В.И. и др.* Структура и эволюция континентальной коры Байкальской складчатой области // Геотектоника. 2007. № 6. С. 23–51 [*Rytsk E.Yu., Kovach V.P., Kovalenko V.I. et al.* Structure and evolution of the continental crust in the Baikal Fold Region // Geotectonics. 2007. № 6. P. 440–464].
- Рябинин А.Б., Буслов М.М., Жимулев Ф.И. и др.* Позднепалеозойская складчато-покровная структура Тункинских гольцов Восточного Саяна // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 12. С. 2087–2109 [*Ryabinin A.B., Buslov M.M., Zhimulev F.I. et al.* The Late Paleozoic fold-thrust structure of the Tunka bald mountains, East Sayan (southern framing of the Siberian Platform) // Geology and Geophysics. 2011. V. 52. № 12. P. 1643–1661].
- Хераскова Т.Н., Томуртогоо О., Хаин Е.В.* Офиолиты и верхнедокембрийско-нижнепалеозойские образования Озерной зоны хребта Дариби (Западная Монголия) // Известия АН СССР. Сер. Геол. 1985. № 6. С. 25–31 [*Kheraskova T.N., Tomurtogoo O., Khain E.V.* Ophiolites and Upper Precambrian–Lower Paleozoic formations of the Lake zone of the Daribi ridge (Western Mongolia) // Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Ser. Geol. 1985. № 6. P. 25–31 (in Russian)].
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др.* Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с. [*Khramov 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)].
- Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П. и др.* Ранние стадии формирования Палео-Азиатского океана: результаты геохронологических, изотопных и геохимических исследований позднерифейских и венд-кембрийских комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса // ДАН. 2006. Т. 410. № 5. С. 657–662 [*Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., Kovach V.P. et al.* Early stages of the formation of the Paleo-Asian Ocean: results of geochronological, isotopic and geochemical studies of the Late Riphean and Vendian–Cambrian complexes of the Central Asian folded belt // Doklady Akademii Nauk. 2006. V. 410. № 5. P. 657–662 (in Russian)].

- Ярмолюк В.В., Ковач В.П., Коваленко В.И. и др. Состав, источники и механизмы формирования континентальной коры Озерной зоны каледонид Центральной Азии: 1. Геологические и геохронологические данные // Петрология. 2011. Т. 19. № 1. С. 56–79 [Yarmolyuk V.V., Kovacs V.P., Kovalenko V.I. et al. Composition, sources, and mechanism of continental crust growth in the Lake zone of the Central Asian Caledonides: I. Geological and geochronological data // Petrology. 2011. V. 19. № 1. P. 55–78].
- 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. 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. P. 4121–4328.
- Enkin R.J. A Computer Program Package for Analysis and Presentation of Paleomagnetic Data, Sidney: Pacific Geosci. Centre, Geolog. Surv. Canada, 1994. 16 p.
- Fisher R.A. Dispersion on a sphere. Proc. Roy. Soc. Lond. A. 1953. 217. 295–305.
- Jian P., Kröner A., Jahn B. et al. Zircon dating of Neoproterozoic and Cambrian ophiolites in West Mongolia and implications for the timing of orogenic processes in the central part of the Central Asian Orogenic Belt // Earth-Science Reviews. 2014. V. 133. P. 62–93.
- Kirschvink J.L. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data // Geophys. J. R. Astron. Soc. 1980. V. 62. P. 699–718.
- McFadden P.L., Jones D.L. The fold test in palaeomagnetism // Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. 1981. V. 67. P. 53–58.
- Salnikova E.B., Kozakov I.K., Kotov A.B. et al. Age of Palaeozoic granites and metamorphism in the Tuvino-Mongolian Massif of the Central Asian Mobile Belt: loss of a Precambrian microcontinent // Precambrian Research. 2001. V. 110. P. 143–164.
- Tectonic, magmatism, and metallogeny of Mongolia. Routledge, Taylor & Francis Group, London and New York, 2001. 288 p.
- Vladimirov V.G., Karmysheva I.V., Yakovlev V.A. et al. Thermochronology of mingling dikes in western Sangilen (southeastern Tuva): evidence for a breakdown of a collisional system on the northwestern margin of the Tuva–Mongolian massif // Geodynamics & Tectonophysics. 2017. V. 8. № 2. P. 283–310. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0242>
- Volkova N.I., Stupakov S.I., Babin G.A. et al. Mobility of Trace Elements during Subduction Metamorphism as Exemplified by the Blueschists of the Kurtushibinsky Range, Western Sayan // Geochemistry International. 2009. V. 47. № 4. P. 380–392. <https://doi.org/10.1134/S0016702909040053>
- Zijderveld J.D.A. A.C. 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 EARLY PALEOZOIC COARSE-GRAINED STRATA OF THE KHAN-KHUKHEI RIDGE (NORTHWESTERN MONGOLIA)

L.V. Kovalenko, M.V. Busina, A.D. Kovalenko

*Institute of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry RAS, Moscow, Russia*

Received August 04, 2025; revised November 11, 2025; accepted December 25, 2025

Paleomagnetic studies of post-accretionary Early Phanerozoic coarse-clastic strata in the western part of the Khan-Khuhei Ridge in northwestern Mongolia were carried out. Based on high-temperature magnetization, a paleomagnetic pole was calculated with the coordinates  $\Phi = -27.3^\circ$ ,  $\Lambda = 96.4^\circ$ ,  $A95 = 3.5^\circ$ , and paleolatitudes of formation of the strata – from  $10^\circ$  N to  $15^\circ$  N. The coordinates of the paleomagnetic pole are close to the coordinates of the Late Ordovician and Early Silurian paleomagnetic poles of Siberia and differ sharply from the coordinates of the Early and Middle Ordovician paleomagnetic poles of Siberia. This suggests the Late Ordovician–Early Silurian age of the coarse-grained strata. The time of emplacement of subvolcanic bodies that cut the coarse-grained strata has been specified. They were intruded at the beginning of the Silurian, since they crosscut the coarse-grained strata, but are absent in the early Silurian rocks. The coarse-grained strata were rotated clockwise relative to Tuva and Siberia by an angle of about  $20^\circ$ . The rotation of the strata is not associated with compressional folding. It is likely that the strata were rotated together with the basement complexes during rifting. The formation of rift zones could be associated with the action of a hot spot, delamination of the lithosphere, or post-collisional collapse of the orogen.

*Keywords: magnetization, paleolatitude, tectonic emplacement, declination, inclination.*