

## ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ФАНЕРОЗОЙСКИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТУВЫ

© 2020 Д.В. Коваленко<sup>1</sup>, М.В. Бузина<sup>1</sup>, Х. Цээдулам<sup>2</sup>, Ц. Оюунчимэг<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,  
Москва, Россия, 119017; e-mail: Dmitry@igem.ru

<sup>2</sup>Монгольский государственный университет науки и технологий, Улан-Батор, Монголия, 11000

<sup>3</sup>Институт геологии Академии наук Монголии, Улан-Батор, Монголия, 13010

Проведены палеомагнитные исследования ордовикских, верхнедевонских и нижнекарбонных толщ Тувы. В породах выделены послескладчатые вторичные и доскладчатые компоненты намагниченности. По доскладчатым компонентам намагниченности были рассчитаны палеомагнитные полюсы: для ордовика —  $\Phi = 41^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 307^\circ$  в.д.,  $A95 = 5.4^\circ$ , если ордовикские толщи формировались в северном полушарии и  $\Phi = -41^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 127^\circ$  в.д.,  $A95 = 5.4^\circ$ , если толщи накапливались в южном полушарии; для нижней части верхнего девона —  $\Phi = 3.7^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 139.8^\circ$  в.д.,  $A95 = 9.3^\circ$ , для верхней части верхнего девона —  $\Phi = 51.7^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 148.8^\circ$  в.д.,  $A95 = 16^\circ$ ; для нижнего карбона:  $\Phi = 53.8^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 141.7^\circ$  в.д.,  $A95 = 9.6^\circ$ . Вероятно, по крайней мере, Тува уже с ордовика, входила в структуру Сибири и испытывала широтное перемещение вместе с нею. Девонские и нижнекарбонные толщи в разной степени развернуты в горизонтальной плоскости относительно Сибири. Вращения могли быть связаны с локальными деформациями пород, но также нельзя исключать вращение крупного геологического блока в связи с действием крупноамплитудных сдвигов после раннего карбона.

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

### ВВЕДЕНИЕ

Центрально-Азиатский складчатый пояс (ЦАСП) является одной из крупнейших геологических структур, развитие которой началось в докембрии и продолжалось в течение всего фанерозоя (Беличенко и др., 1994; Берзин, Кунгурцев, 1996; Гордиенко и др., 2007; Добрецов, 2007; Добрецов, Буслов, 2007; Коваленко и др., 1989; Моссаковский и др., 1993 и др.). Детальные исследования этого пояса имеют огромное значение для понимания закономерностей развития складчатых и магматических поясов, распределения полезных ископаемых в них, для решения региональных геологических проблем и понимания глобальных геологических процессов. Пояс характеризуется длительной сложной тектонической и магматической историей. В нем выделяются несколько этапов деформаций. Деформации на границе кембрия и ордовика в ЦАСП связываются с аккреционно-коллизийными процессами, в результате которых были тектонически совмещены докембрийские и

кембрийские геологические комплексы океанических бассейнов, островных дуг, окраинных морей, Дзобханского и Тувино-Монгольского микроконтинентов — образовались так называемые каледониды (каледонский блок) ЦАСП. Каледонские структуры широко распространены в Туве, Монголии, Казахстане и других районах (Беличенко и др., 1994; Берзин, Кунгурцев, 1996; Гордиенко и др., 2007; Добрецов и др., 2003; Казанский, 2002; Коваленко, 2017; Коваленко и др., 1996, 2016; Коваленко, Петров, 2017; Коваленко, Чернов, 2008; Метелкин, 2012 и др.).

На постаккреционное развитие каледонского блока существует две точки зрения. В соответствии с одной из них его постаккреционная история протекала в пределах Сибирского кратона (Берзин, Кунгурцев, 1996; Казанский, 2002; Метелкин, 2012), по другой — каледонский блок самостоятельно существовал в течение раннего фанерозоя и лишь в девоне был тектонически совмещен с Сибирским континентом (Коваленко и др., 1996). Вторая гипотеза основывается на том, что девонские толщи Тувы и ряда других

районов сильно деформированы, вплоть до вертикальных и опрокинутых залеганий пород и перекрываются практически горизонтальными раннекарбонowymi толщами.

Для того, чтобы разрешить эти противоречия в настоящее время по фанерозойским толщам Тувы проводятся исследования палеомагнитным методом.

## ГЛАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТУВЫ

В геологической структуре Тувы выделяются комплексы пород, участвующие в аккреционной складчато-надвиговой структуре и менее деформированный постаккреционный чехол.

В аккреционной структуре участвуют докембрийские и раннепалеозойские толщи Тувино-Монгольского массива, фрагменты нижней части вендской офиолитовой ассоциации и кембрийские вулканогенно-осадочные комплексы.

Тувино-Монгольский массив представляет собой систему тектонических блоков различного возраста и мощности. Выделяются Нарынский, Моренский и Эрзинский блоки, сложенные осадочными и магматическими породами, метаморфизованными в условиях верхнеамфиболитовой — гранулитовой фаций метаморфизма. Толщи были многократно деформированы и метаморфизованы в раннем кембрии ( $536 \pm 6$  млн лет) и на границе кембрия и ордовика ( $497 \pm 4$ ,  $489 \pm 3$  млн лет) (Salnikova et al., 2001). Последний этап деформаций связан с каледонскими аккреционными событиями в ЦАСП.

Фрагменты офиолитов выявляются в центральной и южной Туве и представлены в основном породами нижней части расслоенного комплекса и дайковым комплексом. По офиолитам Агардагской зоны существует U-Pb датировка возраста по плагиогранитам, которая показывает  $570 \pm 1.7$  млн лет (Pfänder et al., 2001; Pfänder, Kroner, 2004).

Кембрийские вулканогенно-осадочные комплексы включают известняки, кремнистые породы, вулканические брекчии, туфопесчаники, туфоалевролиты, пачки подушечных базальтов, олистостромовые горизонты, которые рассматриваются как фрагменты надсубдукционных систем — Западносаянской или Таннуольской (Берзин, Кунгурцев, 1996). Для известняков имеются раннекембрийские определения возраста по археоциатам и другим видам флоры и фауны (Объяснительная ..., 1958, 1961, 1963, 1966).

Период аккреционных деформаций, в результате которых образовалась каледонская структура Тувы, оценивается по возрасту постаккреционного Каахемского батолита —

500–485 млн лет (Руднев и др., 2015; Сугоракова, 2007) и протекал в позднем кембрии-раннем ордовике. В это время образовывались молассовые толщи с резким угловым несогласием перекрывающие аккреционные структуры (Берзин, Кунгурцев, 1996).

Молассовые толщи ордовикского возраста (Объяснительная ..., 1958, 1961) с резким несогласием залегают на нижнекембрийских толщах. Они сложены мощными пачками красноцветных и сероцветных конгломератов, гравелитов, песчаников, известняков и алевролитов.

Силурийские толщи без видимого несогласия залегают на молассовых толщах. Они представлены песчаниками, алевролитами, конгломератами, гравелитами и известняками (Объяснительная ..., 1958, 1961).

Силурийские толщи с несогласием перекрываются девонскими породами. Нижнедевонские толщи представлены вулканогенно-осадочными породами, включающими туфы, туфобрекчии, лавовые потоки и субвулканические тела основного, среднего и кислого состава, известняки, песчаники, алевролиты, конгломераты и гравелиты (Объяснительная ..., 1958, 1961, 1963, 1966). Средне-, верхнедевонские породы представлены красноцветными песчаниками, алевролитами, конгломератами, гравелитами, сероцветными мергелями, известняками и, реже, вулканическими породами основного и среднего состава.

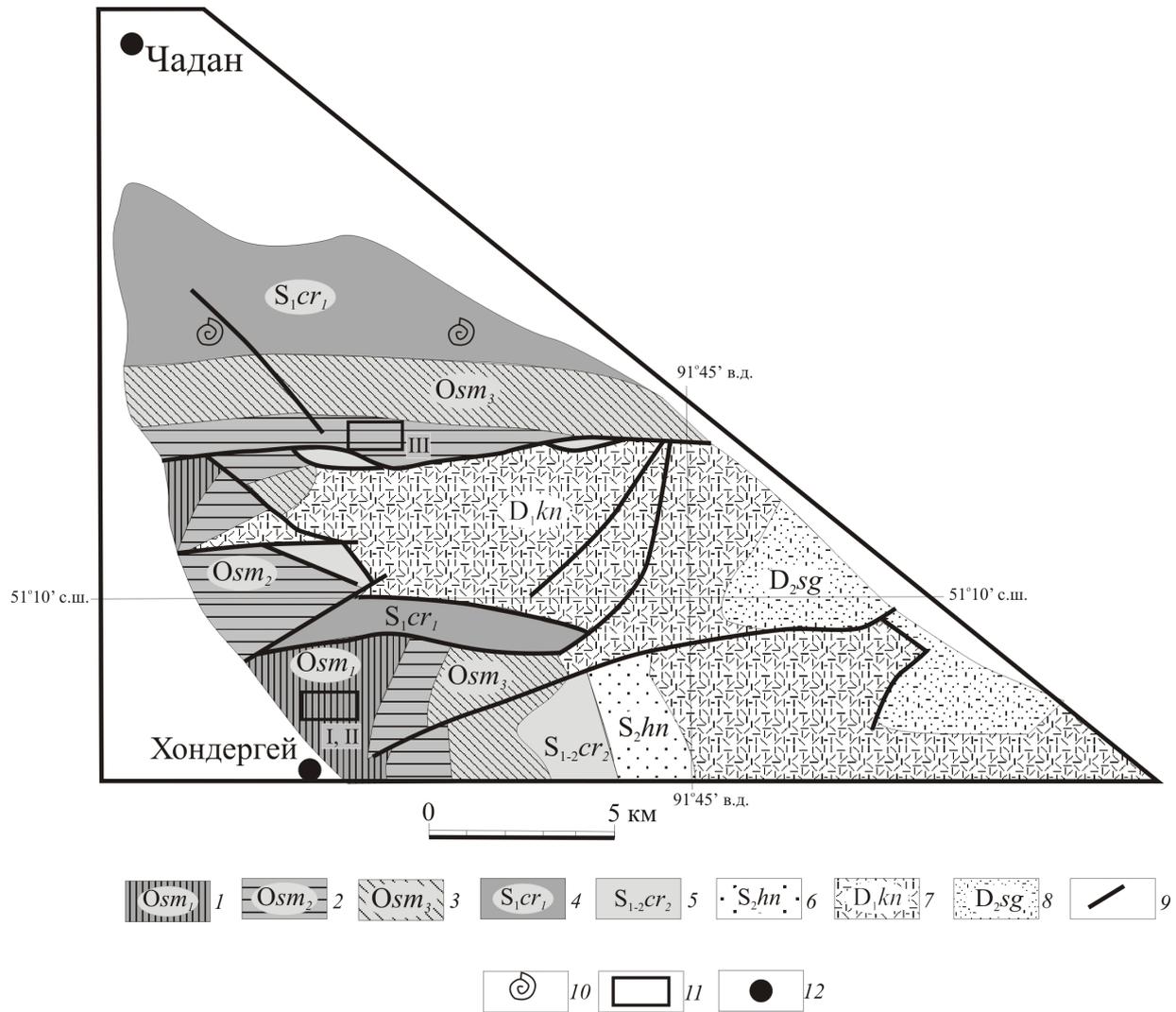
Нижнекаменноугольные толщи с несогласием залегают на девонских и более древних комплексах (Объяснительная ..., 1958, 1961, 1963, 1966). Толщи включают пестроцветные и красноцветные пачки конгломератов, песчаников, алевролитов, аргиллитов.

Среднеюрские породы с несогласием перекрывают все более древние комплексы пород. Толщи сложены сероцветными конгломератами, песчаниками, алевролитами, известняками (Объяснительная ..., 1963, 1966).

Ордовикские, силурийские и девонские толщи в разной степени деформированы, смяты в складки и разбиты разрывными нарушениями на блоки. Раннекарбоновые толщи во многих районах залегают полого (углы падения до  $10^\circ$ ), в некоторых — круто, а юрские толщи деформированы незначительно и в основном залегают практически горизонтально.

## ОБЪЕКТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Палеомагнитные исследования ордовикских толщ проводились в районе между поселками Чадан и Хондергей (рис. 1). Были опробованы три разреза шемушдагской свиты (I — III).



**Рис. 1.** Схема геологического строения района между поселками Чадан и Ундергей: 1–3 — шемусдагская свита (O), нижняя (1), средняя (2) и верхняя (3) подсвиты; 4,5 — чергакская свита (S<sub>1</sub>), нижняя (4) и верхняя (5) подсвиты; 6 — хондергейская свита (S<sub>2</sub>); 7 — кендейская свита (D<sub>1</sub>); 8 — соглинская свита (D<sub>2</sub>); 9 — разломы; 10 — места находок ископаемой флоры и фауны; 11 — опробованные разрезы; 12 — поселки. I, II, III — номера опробованных разрезов.

**Fig. 1.** Scheme of the geological structure of the area between the villages of Chadan and Undergey: 1–3 — shemushdag formation (O), lower (1), middle (2) and upper (3) subformation; 4,5 — cherkak formation (S<sub>1</sub>), lower (4) and upper (5) subformation; 6 — hondergey formation (S<sub>2</sub>); 7 — kendey formation (D<sub>1</sub>); 8 — soglin formation (D<sub>2</sub>); 9 — faults; 10 — places of finds of fossil flora and fauna; 11 — tested sections; 12 — villages. I, II, III — numbers of tested sections.

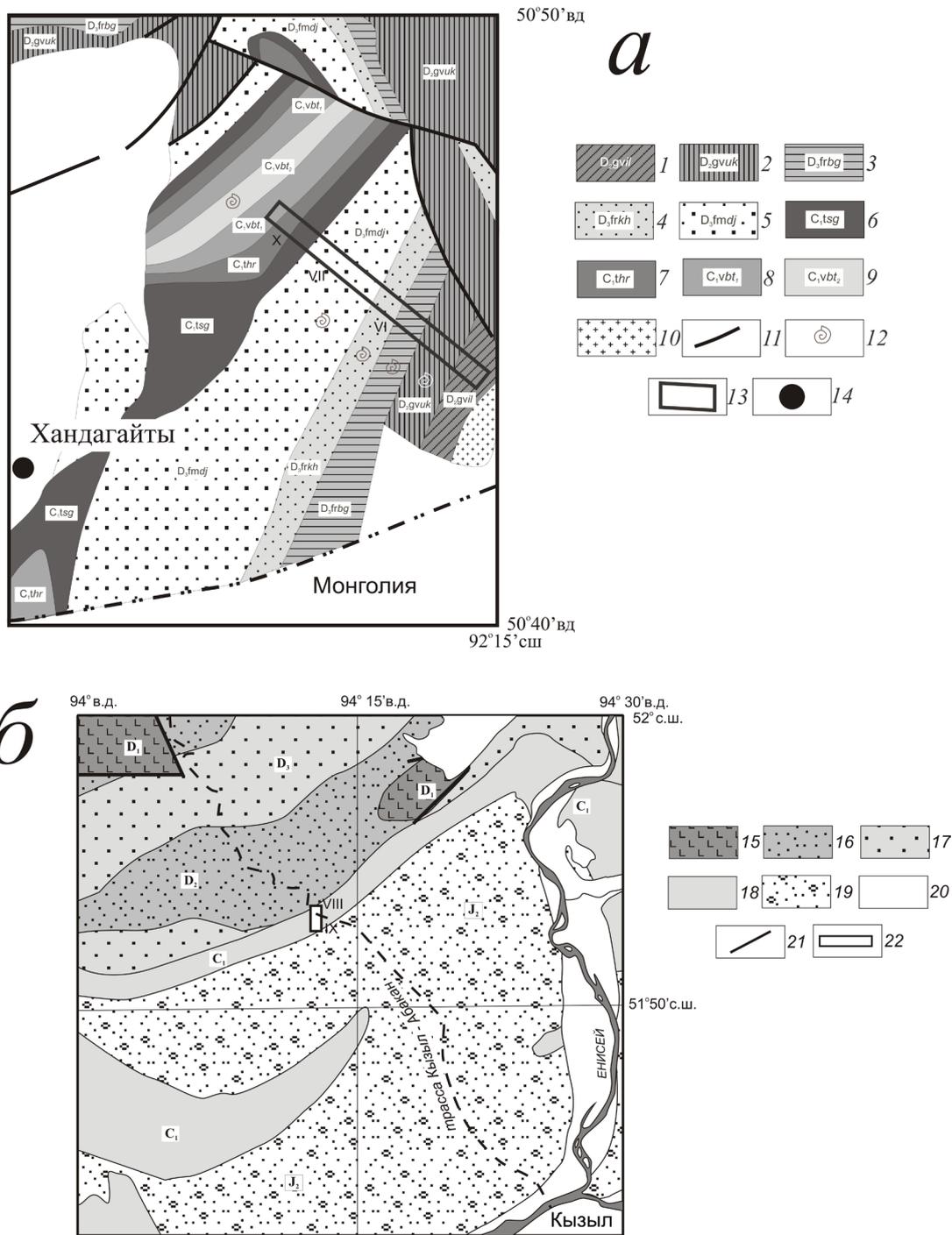
Ордовикский возраст свиты в данном районе определяется на основе находок гастропод (*Scenella* sp., *Proplina* sp.), трилобитов (*Calliops* sp.), наутиллоидей (*Endoceras* sp.), мшанок (*Batostoma variableformis* Wodz. Sp.) (Объяснительная ..., 1958, 1961).

Девонские и нижнекарбоновые толщи изучались в центральной части и на юге Тувы (рис. 2) (Объяснительная ..., 1958, 1961, 1963, 1966). На юге Тувы, на границе с Монголией в районе поселка Хандагайты (рис. 2а) средне-, верхнедевонские и нижнекарбоновые породы согласно залегают в едином стратиграфическом разрезе. В основном они представлены серыми, лиловыми и красными песчаниками, алевролитами,

аргиллитами, реже — конгломератами, туффитами, известняками (Объяснительная ..., 1958, 1961).

В соглинской свите среднедевонских пород были обнаружены остатки растений (*Psilophyton princeps*, *Psilophyton Goldschmidtii* Halle, *Ps. Princeps* Daws, *Protobarinophyton Obrulscheri* An., *Asteroxylon sibiricum* Kryscht, *Tomiphyton Primaerum* zal), на основании которых свита была отнесена к эйфельскому ярусу.

В залегающей выше таштыпской свите были найдены брахиоподы (*Acrospirifer subgregarius*, *Atrypa reticularis* Sin., *Ucinulus Taschtiapiensis* Rzon.), кораллы (*Thamnopora alta*, *Thamnopora reticulata* (Blainville), *T. alta* Tchern, *Favosites*



**Рис. 2.** Схемы геологического строения Тувы в южном (а) и центральном (б) районах: 1–9 — среднефанерозойские свиты: 1 — илеморовская ( $D_2$ gvil); 2 — уюкская ( $D_2$ gvuk); 3 — бегрединская ( $D_2$ frbg); 4 — кохайская ( $D_2$ frkh); 5 — джаргинская ( $D_2$ fmdj); 6 — суглугхемская ( $C_1$ tsg); 7 — хербесская ( $C_1$ thr); 8 — байтагская (нижняя подсвита) ( $C_1$ vbt<sub>1</sub>); 9 — байтагская (верхняя подсвита) ( $C_1$ vbt<sub>2</sub>); 10 — граниты; 11 — разломы; 12 — места находок ископаемой флоры и фауны; 13 — опробованные для палеомагнитного анализа толщи; 14 — поселок Хандагайты. VI, VII, X — опробованные разрезы; 15 — раннедевонские; 16 — среднедевонские; 17 — верхнедевонские; 18 — раннекарбоновые; 19 — среднеюрские; 20 — четвертичные аллювиальные толщи; 21 — разломы; 22 — места отбора палеомагнитных проб. VIII, IX — опробованные разрезы.

**Fig. 2.** Schemes of the geological structure in Tuva in the southern (a) and central (b) regions: 1–9 — Phanerozoic formations: 1 — ilemor ( $D_2$ gvil); 2 — Uyuk ( $D_2$ gvuk); 3 — begredin ( $D_2$ frbg); 4 — kohai ( $D_2$ frkh); 5 — djargin ( $D_2$ fmdj); 6 — suglughem ( $C_1$ tsg); 7 — herbes ( $C_1$ thr); 8 — baytag (lower) ( $C_1$ vbt<sub>1</sub>); 9 — baytag (upper) ( $C_1$ vbt<sub>2</sub>); 10 — granites; 11 — faults; 12 — places of fossil flora and fauna records; 13 — tested sections; 14 — Khandagayty villages. VI, VII, X — tested sections; 15 — Early Devonian; 16 — Middle Devonian; 17 — Upper Devonian; 18 — Early Carboniferous; 19 — Middle Jurassic; 20 — Quaternary alluvial strata; 21 — faults; 22 — paleomagnetic sampling sites. VIII, IX — tested sections.

sublatus Dub.) также соответствующие эйфельскому ярусу.

Илеморовская свита согласно надстраивает таштыпскую. В ней обнаружены филлоподы (*Ulugkemia minusensis*, *Osteolepidae*, *Asmussia membranacea* Pacht, *Ulugkemia barykensis*, *Pseudestheria pogrebovi* (Lutk), *P. Simplex*, *P. Plicata* Lutk., *U. Minusensis*, *U. Chini*, *U. Bobrovi*, *U. Sajanensis*, *U. Sibiriensis*, *U. Sinuate* (Lutk), *Levenkia anatolii*, *L. Margaritae*, *L. Aequipokiensis*, *L. Asiatica*, *L. Tustakensis*, *L. Torgalykensis*, *Rohdendorffium tuvaense*, *R. Sibiricum*, *Torgalykia ovjurenensis*), усоногие (*Ctenoenigma tuvaense*), флора (*Barrandainopsis beliakovii* Krysht) живецкого времени.

В уюкской свите, также отнесенной к живецкому ярусу, выделены комплексы флоры (*Rhobdophyton* sp., *Barrandainopsis beliakovii* Krysht), филлопод (*Erisopsis tuvaensis*, *Pseudestheria Kotbolensis*, *Asmussia bejaensis*, *A. biikemensis*, *A. zubrilini*, *Trigonestheria altaikensis*).

В беглединской свите отнесенной к франскому ярусу верхнего девона обнаружена флора (*Pseudobornia* cf. *Ursine*); ихтиофауна (*Bothriolepis* sp.). В залегающей стратиграфически выше кохайской свите найдена ихтиофауна (*Megistolepis klementzi*, *Bothriolepis sibirica* Obr.), листоногие ракообразные (*Asmussia vulgaris* (Lutk), *A. excentrica* (Lutk), *Sphoerestheria celsa*, *Trigonestheria timanica* (Lutk) франского века. Выше в джаргинской свите обнаружены комплексы флоры (*Archaeopteris*, *Pseudobornia*, *Pseudobornia ursina*) фаменского века.

Нижнекарбоновые толщи согласно залегают на позднедевонских. Снизу вверх они подразделены на суглугхемскую, байтагскую и байтасскую свиты. На основании находок ихтиофауны (*Strepsodus siberiacus*, *Rhizodopsis savenkovi* Obr., *Acanthodes* sp., *Ganolepis* sp., *Cycloptychius* sp.), растений (*Lepidodendropsis asiaticum*) суглугхемская и байтагская свиты были отнесены к турнейскому ярусу. Байтасская свита была отнесена к визейскому ярусу на основании находок флоры (*Arctodendron Kidstoni*, *Pteridorachis f. modica* Radcz., *Protolpidodendron megaphyllum* Rodct., *Angarodendron* sp., *A. tetragonum* aff. *Kidstonii* Nath., *Tomiodendron schmalhauseni* (Chache) Radcz.).

Образцы для палеомагнитных исследований отбирались из тонкослоистых песчаников, алевролитов и аргиллитов из средне-, верхнедевонских (рис. 2а, разрезы VI, VII) и нижнекарбоновых (рис. 2а, разрез X) толщ. Всего было отобрано 39 образцов из нижнекарбоновых толщ, 80 образцов из верхнедевонских и 59 образцов из среднедевонских толщ. Все образцы в разрезах были взяты с различных стратиграфических уровней.

В центральной части Тувы (рис. 2б) нижнекарбоновые толщи делятся на два яруса — турнейский и визейский (Объяснительная ..., 1963, 1966). К первому из них толщ отнесены на основании находок рыб (*Strepsodus siberiacus* Chab, *Rhizodopsis Savencovi* Obr., *Pataeontscoidei* inc fam., *Cladodm* sp. ind.) и растений (*Lepidodendron Schmalhauseni* chachl., *Knorria* sp.). Ко второму — на основании находок растений (*Lepidodendropsis asiaticum* sp., *Pteridora f. modica* f., *Angarodendron*, *Bothrodendron*), рыб (*Rhabdoderma* sp.). Для палеомагнитных исследований были опробованы разрезы нижнекаменноугольных толщ вдоль автодороги г. Кызыл — г. Абакан (51° 56.4' с.ш., 94° 19.3' в.д). Было отобрано 60 образцов из пестроцветных тонких песчаников и алевролитов (рис. 2б, разрез VIII) и 42 — из красноцветных тонких песчаников, алевролитов и аргиллитов (рис. 2б, разрез IX). Все образцы в разрезах были взяты с различных стратиграфических уровней.

#### 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 в зависимости от величины магнитной восприимчивости образца. Каждый кубик подвергался термочистке в интервале температур 20–680°C. 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 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. По данным термочистки для каждого кубика строились диаграммы Зийдверельда (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). При расчетах использовались компьютерные программы созданные R.J. Enkin. 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  $40^\circ$ . 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 географической (ССК) и древней стратиграфической (ДСК) системах координат (Храмов и др., 1982; Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Ордовик.** В ордовикских породах в основном выделяются две компоненты намагниченности (рис. 3). На диаграммах Зийдервельда прямолинейный участок, связанный с наиболее высокотемпературной компонентой иногда не направлен в начало координат. Поэтому можно предполагать присутствие в намагниченности некоторых образцов еще более высокотемпературных компонент намагниченности. Низкотемпературная компонента (ЛТ) выделяется в интервале температур от  $20^\circ\text{C}$  до  $300\text{--}440^\circ\text{C}$ . Высокотемпературная компонента намагниченности (НТ) выделяется в интервале от  $300$  до  $660^\circ\text{C}$ .

Низкотемпературные компоненты намагниченности ордовикских пород на сфере группируются около направления кайнозойского магнитного поля Земли в районе Тувы (рис. 4, таблица). Высокотемпературные компоненты образуют достаточно четкие группы в основном одной полярности (рис. 4). Только в разрезе III выявлены два вектора намагниченности противоположной полярности (рис. 4, разрез III).

Направления НТ-компонент намагниченности, выделенных в разрезах ордовикских пород, различаются в ССК и статистически совпадают в ДСК (рис. 5). Тест складки, проведенный методом сравнения средних направлений (Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981), показал, что средние направления НТ-компонент намагниченности пород этих разрезов статистически равны в ДСК и отличаются в ССК (таблица).

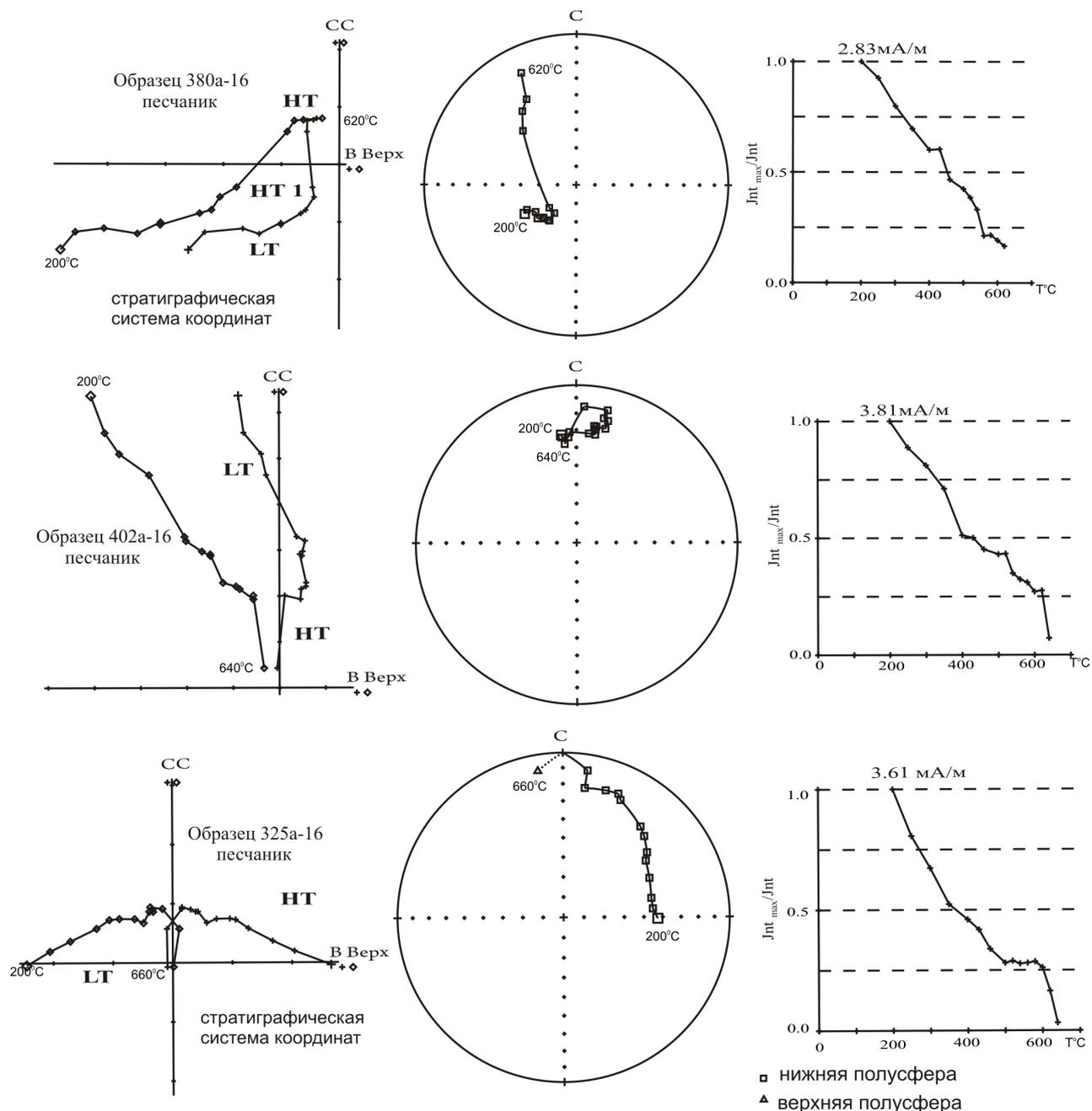
Тест на «синскладчатость», показал, что намагниченность этих разрезов могла образоваться при  $100\%$  распрямлении складок:  $N=2$ ,  $D=332^\circ$ ,  $I=15.6^\circ$ ,  $K=116$ ,  $\alpha_{95}=23^\circ$ . Таким образом, в ордовикских разрезах была выделена доскладчатая высокотемпературная намагниченность, возможно, близкая к первичной.

По направлению высокотемпературной компоненты намагниченности ордовикских толщ (НТ I+III, таблица) были рассчитаны координаты палеомагнитных полюсов:  $\Phi = 41^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 307^\circ$  в.д.,  $A_{95} = 5.4^\circ$ , если ордовикские толщи формировались в северном полушарии и  $\Phi = -41^\circ$ ,  $\Lambda = 127^\circ$  в.д.,  $A_{95} = 5.4^\circ$ , если толщи накапливались в южном полушарии. Палеоширота формирования ордовикских толщ —  $4\text{--}8\text{--}12^\circ$  (минимальная-средняя-максимальная) северной или южной широты.

Сравнение рассчитанных нами ордовикских полюсов Тувы с опубликованными в работе (Павлов, 2016) ордовикскими полюсами Сибири, показало, что палеоширота формирования толщ значительно отличается от «ожидаемой» палеошироты, рассчитанной из ордовикских палеомагнитных полюсов Сибири —  $F = -20^\circ \pm 11.2^\circ$  (тремадок),  $F = -26^\circ \pm 7.9^\circ$  (лланвирн),  $F = -18^\circ \pm 11.2^\circ$  (лландейло), если ордовикские толщи Тувы накапливались в северном полушарии. Если ордовикские толщи Тувы накапливались в южном полушарии, то их палеошироты статистически не отличаются от Сибирских —  $F = 3.5^\circ \pm 11.2^\circ$  (тремадок),  $F = -3^\circ \pm 7.9^\circ$  (лланвирн),  $F = 5^\circ \pm 11.2^\circ$  (лландейло).  $F$  — разность ожидаемых и рассчитанных наклонов намагниченности (Beck, 1980; Demarest, 1983).

Сравнение склонений намагниченности полученных для ордовикских толщ нами и рассчитанных из ордовикских полюсов Сибири (Павлов, 2016), показало, что ордовикские толщи слабо развернуты в горизонтальной плоскости относительно Сибири, если они формировались в южном полушарии —  $R = 5.2^\circ \pm 11.5^\circ$  (тремадок),  $R = 22^\circ \pm 8.2^\circ$  (лланвирн),  $R = 27.6^\circ \pm 11.5^\circ$  (лландейло). Если же толщи накопились в северном полушарии, то они развернуты относительно Сибири на углы более  $180^\circ$  —  $R = 185^\circ \pm 11.5^\circ$  (тремадок),  $R = 202^\circ \pm 8.2^\circ$  (лланвирн),  $R = 207^\circ \pm 11.5^\circ$  (лландейло).  $R$  — разность рассчитанных и ожидаемых склонений намагниченности (Beck, 1980; Demarest, 1983).

**Девон, нижний карбон.** В верхнедевонских и нижнекарбонных породах в этом районе в основном выделяются две, иногда — три компоненты намагниченности (рис. 6а-в). Низкотемпературная компонента (ЛТ) выделяется в интервале температур от  $20^\circ\text{C}$  до  $300\text{--}460^\circ\text{C}$ . Высокотемпературная компонента намагниченности (НТ) выделяется в интервале от  $300$  до  $580^\circ\text{C}$ . В ряде образцов также выделяются компоненты намагниченности в интервале  $580\text{--}660^\circ\text{C}$ . В большинстве образцов среднедевонских пород выделяется одна высокотемпературная компонента ( $20\text{--}660^\circ\text{C}$ ), в некоторых — две высокотемпературные компоненты намагниченности (от  $20^\circ\text{C}$  до  $400\text{--}500^\circ\text{C}$ ,  $400\text{--}660^\circ\text{C}$ ).



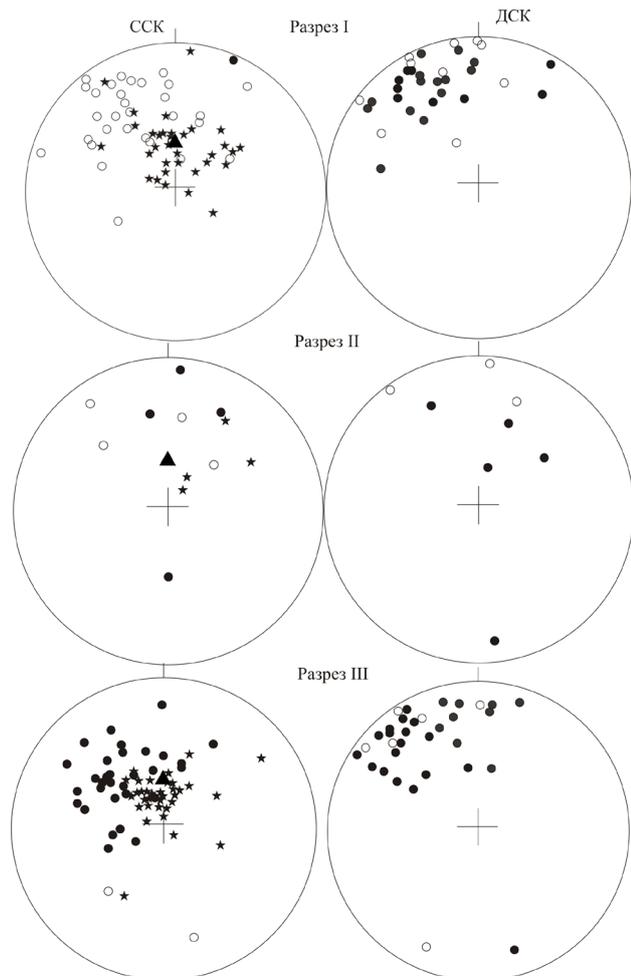
**Рис. 3.** Результаты терморазмагничивания образцов ордовикских пород. НТ, ЛТ — высокотемпературная и низкотемпературная компоненты намагниченности.  $J_{nt\_max}/J_{nt}$  — отношение максимальной остаточной намагниченности образца к намагниченности образца после разных этапов термочистки.

**Fig. 3.** Results of thermal demagnetization of the Ordovician rock samples. НТ, ЛТ are high temperature and low temperature magnetization components.  $J_{nt\_max}/J_{nt}$  — the ratio of the maximum remanent magnetization of the sample to the magnetization of the sample after different stages of thermal cleaning.

Низкотемпературные компоненты намагниченности девонских и нижнекарбонных пород на сфере группируются около направления кайнозойского магнитного поля Земли в районе Тувы (рис. 7, 8, таблица). Высокотемпературные компоненты среднедевонских пород распределены хаотически. Высокотемпературные компоненты намагниченности верхнедевонских пород имеют обратную полярность и образуют отчетливые группы (рис. 7). Причем породы верхнего

сегмента верхнедевонского разреза характеризуются более высокими наклонениями, чем породы нижнего сегмента верхнедевонского разреза (таблица). Большинство высокотемпературных компонент намагниченности нижнекарбонных пород образуют группу обратной полярности, два вектора имеют прямую полярность (рис. 8).

В породах из разреза раннекарбонных пород, изученных вдоль трассы г. Абакан — г. Кызыл, так же выделяются две компоненты

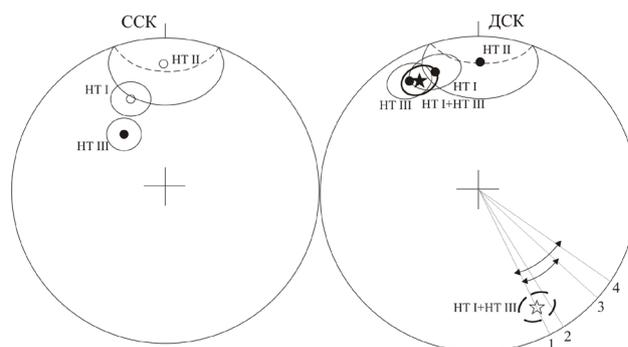


**Рис. 4.** Распределение единичных векторов намагниченности в ордовикских разрезах I, II, III. Кружки — направления НТ компонент намагниченности, звездочки — направления ЛТ компонент намагниченности. Залитые и открытые символы — прямая и обратная полярность, соответственно. Треугольник — кайнозойское направление магнитного поля в районе Тувы. ССК, ДСК — современная и древние системы координат, соответственно.

**Fig. 4.** The distribution of the unit vectors of the magnetization in the Ordovician sections I, II, III. Circles denote directions of НТ magnetization component, asterisks denote directions of ЛТ magnetization component. Flooded and open symbols denote direct and reverse polarity, respectively. Triangle denotes Cenozoic direction of the magnetic field in the region of Tuva.

(рис. 6б). Низкотемпературная компонента (ЛТ) выделяется в интервале температур от 20 до 560°C в красноцветной части разреза и от 20 до 520°C в пестроцветной части. Высокотемпературная компонента намагниченности (НТ) в красноцветной части разреза выделяется в интервале от 300 до 660°C, в пестроцветной — от 250 до 600°C.

В пестроцветной части разреза ЛТ-компоненты в ССК группируются вокруг направления современного магнитного поля в Туве. В красноцветной части они распределены



**Рис. 5.** Распределения средних направлений намагниченности с кругами доверия ордовикских разрезов. Кружки — средние направления намагниченности по отдельным разрезам I, II, III, звездочки — среднее направление намагниченности по разрезам I и III. Залитые и открытые символы — прямая и обратная полярность, соответственно. Радиальная линия 1 — склонение Н I+Н III компоненты намагниченности, радиальные линии 2–4 — склонения намагниченности, рассчитанные из палеомагнитных ордовикских полюсов Сибири: 2 — тремадок, 3 — арениг-лланвирн, 4 — лландейло.

**Fig. 5.** Distributions of average magnetization directions with circles of confidence of Ordovician sections. Circles denote the average direction of magnetization in single sections, stars denote the average direction of magnetization in sections I and III. Flooded and open symbols denote direct and reverse polarity, respectively. Radial line 1 denotes declination Н I+Н III magnetization components, radial lines 2–4 — declination magnetization calculated from paleomagnetic Ordovician poles of Siberia: 2 — tremadoc, 3 — arenig — llanvirn, 4 — llandeilo.

вдоль большого круга от направления современного магнитного поля в Туве до направлений НТ-компоненты (рис. 8). Векторы НТ-компоненты в красноцветной части разреза в ДСК образуют группу обратной полярности (рис. 8, НТ IX, таблица). Векторы НТ-компоненты в пестроцветной части разреза с большим разбросом распределены вдоль большого круга. Круг начинается от направления современного магнитного поля в Туве и заканчивается направлением близким к направлению НТ-компоненты красноцветной толщи.

Направления НТ-компонент намагниченности, выделенных в разрезах нижнекарбониферных пород, в ССК различаются по склонению и наклонению, а в ДСК близки по склонениям и наклонениям (рис. 8, 9). Тест складки, проведенный методом сравнения средних направлений (Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981), показал, что средние направления НТ-компонент намагниченности пород этих разрезов статистически равны в ДСК и отличаются в ССК (НТ IX+НТ X, таблица).

Тест на «синскладчатость», показал, что намагниченность этих двух разрезов могла обра-

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ФАНЕРОЗОЙСКИХ

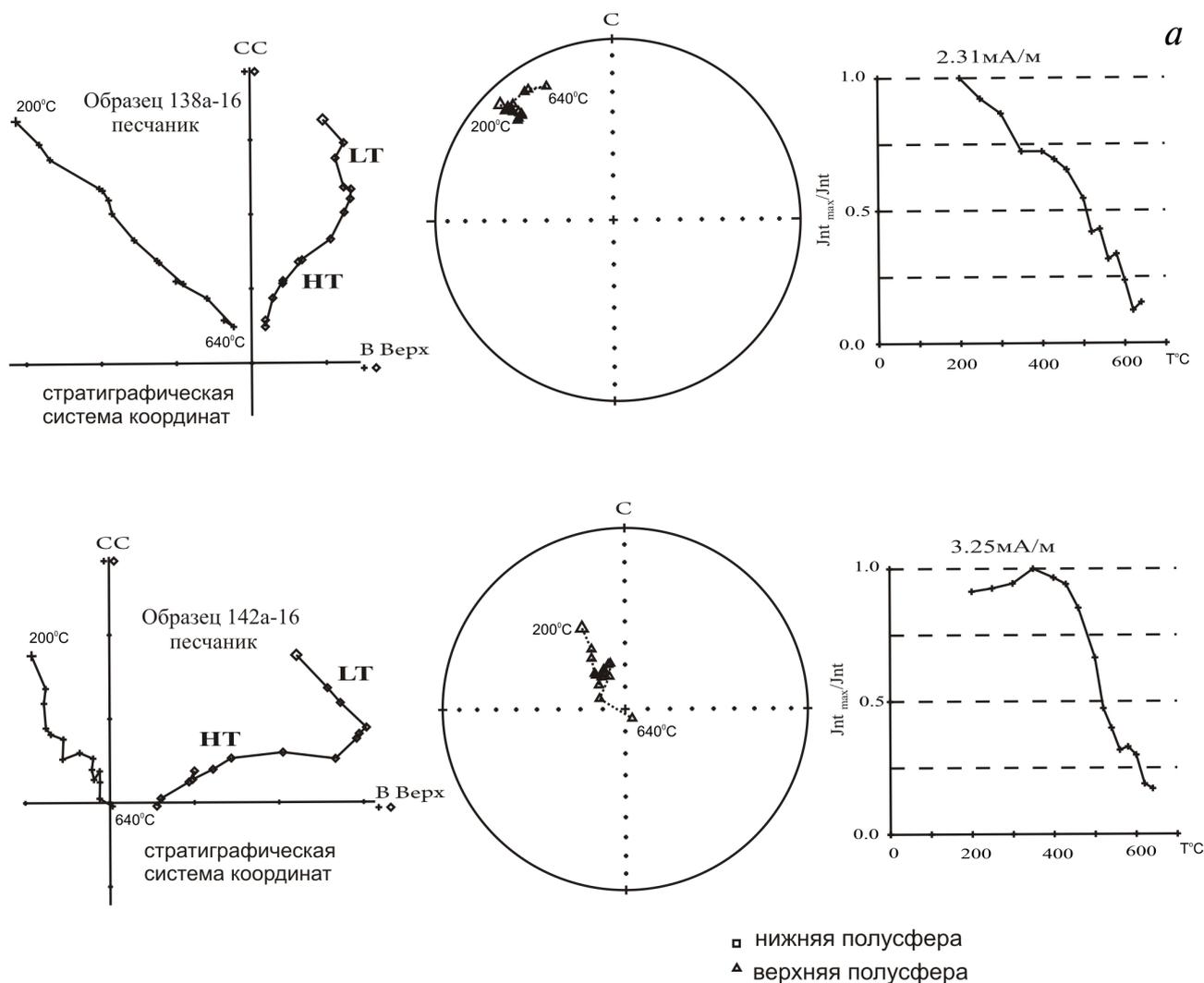
Средние направления компонент намагниченности палеозойских толщ Тувы  
Average directions of magnetization component of the Paleozoic strata of Tuva

Компоненты намагниченности, разрезы	N	Dc,°	Ic,°	Kc	αc,°	Dд,°	Iд,°	Kд	αд,°
<b>Ордовик</b>									
LT I	34	5	62	9	8	118	59	9	8
HT I	29	339	-36	6.5	10	338	16	5	11.5
LT II	4	40	55	11	21	100	55	11	21
HT II	8	359	-19	4	25.5	359	18	4	25
LT III	34	356	71	16	6	348	35	16	6
HT III	32	324	52	8	9	327	15	6	10
<b>Результаты применения теста складки (сравнение средних)</b>									
HT I+HT III	61	332	12	2.5	11	332	15.5	6	7.6
F <sub>кр</sub> =0,052			F <sub>с</sub> =1.6			F <sub>д</sub> =0,020			
HT I+HT II+HT III	69	336	8	2.5	10.5	335	16	5	7.5
F <sub>кр</sub> =3.6			F <sub>с</sub> =46.9			F <sub>д</sub> =2.03			
<b>Средний девон (Коваленко, Лобанов, 2018)</b>									
HT IV	44	58	-44	6	9	353	-42	6	8.5
HT V	19	333	-30	6	14	334	-42	5.5	14
<b>Поздний девон</b>									
LT VI	28	349	72	7	10	314	27	7	10
HT VI (с низкими наклонениями)	37	302	9	6,5	9	303	-47	6,5	9
LT VII	17	316	45	11	10	313	1	11	10
HT VII (с высокими наклонениями)	23	286	-34	9	10	246	-71	9	10
<b>Ранний карбон</b>									
LT VIII	64	23	77	29	3.3	146	6.1	17	4.2
HT VIII конец круга	9	163	-4	13	13	257	-73	13	13
LT IX	Распределена по дуге большого круга								
HT IX	35	154	-8	8	8	222	-71	6,5	9
LT X	31	339	60	15	6.5	324	20	14	6.6
HT X	29	295	-35	26	5	262	-75	27	5
<b>Результаты применения теста складки (сравнение средних)</b>									
Компоненты HT IX+HT X	64	202	-47	1,7	13	245	-74	10	5,6
F <sub>кр</sub> =0.05			F <sub>с</sub> =4.26			F <sub>д</sub> =0.088			
Компоненты HT IX+HT X+HT VII	87	241	-50	2	11	241	-73	9,5	5
F <sub>кр</sub> =3.6			F <sub>с</sub> =154.6			F <sub>д</sub> =1.68			
Компоненты HT VI+HT IV+HT V (по наклонениям)	100		-22	3	6,8		-44	6	5,6
F <sub>кр</sub> =3.6			F <sub>с</sub> =21.6			F <sub>д</sub> =0.227			

Примечание. N — количество векторов, участвующих в расчетах, D° — склонение намагниченности, I° — наклонение намагниченности, K — кучность, α° — угол доверия. Буквы с и д соответственно обозначают ССК и ДСК. LT I — LT X и HT I — HT X — низкотемпературные и высокотемпературные компоненты намагниченности, выделяемые в разрезах I — X (рис. 1, 2). Направления HT IV и HT V взяты из работы (Коваленко, Лобанов, 2018). F — статистический параметр, использующийся при сравнении средних. F<sub>кр</sub>, F<sub>с</sub>, F<sub>д</sub> — критическая величина параметра F и величины этого параметра в ССК и ДСК (Шипунов, 1995; McFadden, Jones, 1981).

Notes. N — number of vectors involved in calculations, D° — declination of magnetization, I° — inclination of magnetization, K — the precision parameter, α° — the radius that the mean direction lies within 95% confidence. The letters c and d respectively denote geographic (c) and stratigraphic (d) coordinates. LT I — LT X and HT I — HT X are low-temperature and high-temperature magnetization components isolated in I — X sections (Fig. 1, 2). Directions HT IV and HT V are taken from the work (Kovalenko, Lobanov, 2018). F is a statistical parameter used to compare averages. F<sub>кр</sub>, F<sub>с</sub>, F<sub>д</sub> — the critical value of the parameter F and the value of this parameter in geographic and stratigraphic coordinates (Shipunov, 1995; McFadden, Jones, 1981).

*a*



**Рис. 6.** Результаты терморазмагничивания образцов: нижней части верхнедевонских пород (6а), верхней части верхнедевонских пород (6б), нижнекарбониферозных пород (6в). Обозначения см. на рис. 3.

**Fig. 6.** Results of thermal magnetization of samples: the lower part of the Upper Devonian rocks (Fig. 6a), the upper part of the Upper Devonian rocks (Fig. 6b), Lower Carboniferous rocks (Fig. 6c).

зоваться при 110% распрямлении складок:  $N=2$ ,  $D=66^\circ$ ,  $I=74^\circ$ ,  $K=17$ ,  $\alpha_{95}=64^\circ$ . Таким образом, мы считаем, что на основании тестов складки в раннекарбониферозных разрезах была выделена доскладчатая высокотемпературная намагниченность близкая к первичной.

Средние направления верхней и нижней частей верхнедевонского разреза различаются (рис. 7, 9, направления НТ VI, НТ VII, таблица). Среднее направление НТ-намагниченности верхней части разреза (направление НТ VII) совпадает в ССК и ДСК с направлением НТ-намагниченности нижнекарбониферозных пород (таблица). Тестскладки, проведенный по направлениям НТ-намагниченности верхней части верхнедевонского и нижнекарбониферозных разрезов, положительный (рис. 9, таблица). Среднее направление НТ-намагниченности нижней части верхнедевонского разреза (направление НТ VI) характеризуется более низким наклоном и близко к направле-

ниям НТ-намагниченности среднедевонских пород центральной части Тувы (Коваленко, Лобанов, 2018) (таблица). Тест складки, проведенный только по наклонениям НТ-намагниченности перечисленных разрезов, показал, что намагниченность доскладчатая (таблица).

Для расчета палеомагнитных полюсов и палеоширот использовались средние направления НТ IX+НТ X (ранний карбон), НТ VII (конец позднего девона), НТ VI (начало позднего девона) (таблица). По ним были рассчитаны координаты палеомагнитных полюсов:  $\Phi = 53.8^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 141.7^\circ$  в.д.,  $A_{95} = 9.6^\circ$  (ранний карбон),  $\Phi = 51.7^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 148.8^\circ$  в.д.,  $A_{95} = 16^\circ$  (конец позднего девона),  $\Phi = 3.7^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 139.8^\circ$  в.д.,  $A_{95} = 9.3^\circ$  (начало позднего девона).

Анализ наклонений высокотемпературной намагниченности показал, что раннекарбониферозные толщи были сформированы на высоких широтах:  $51-60-70.5^\circ$  с.ш. (минимальная – средняя – максимальная палеоширота), породы верхней части

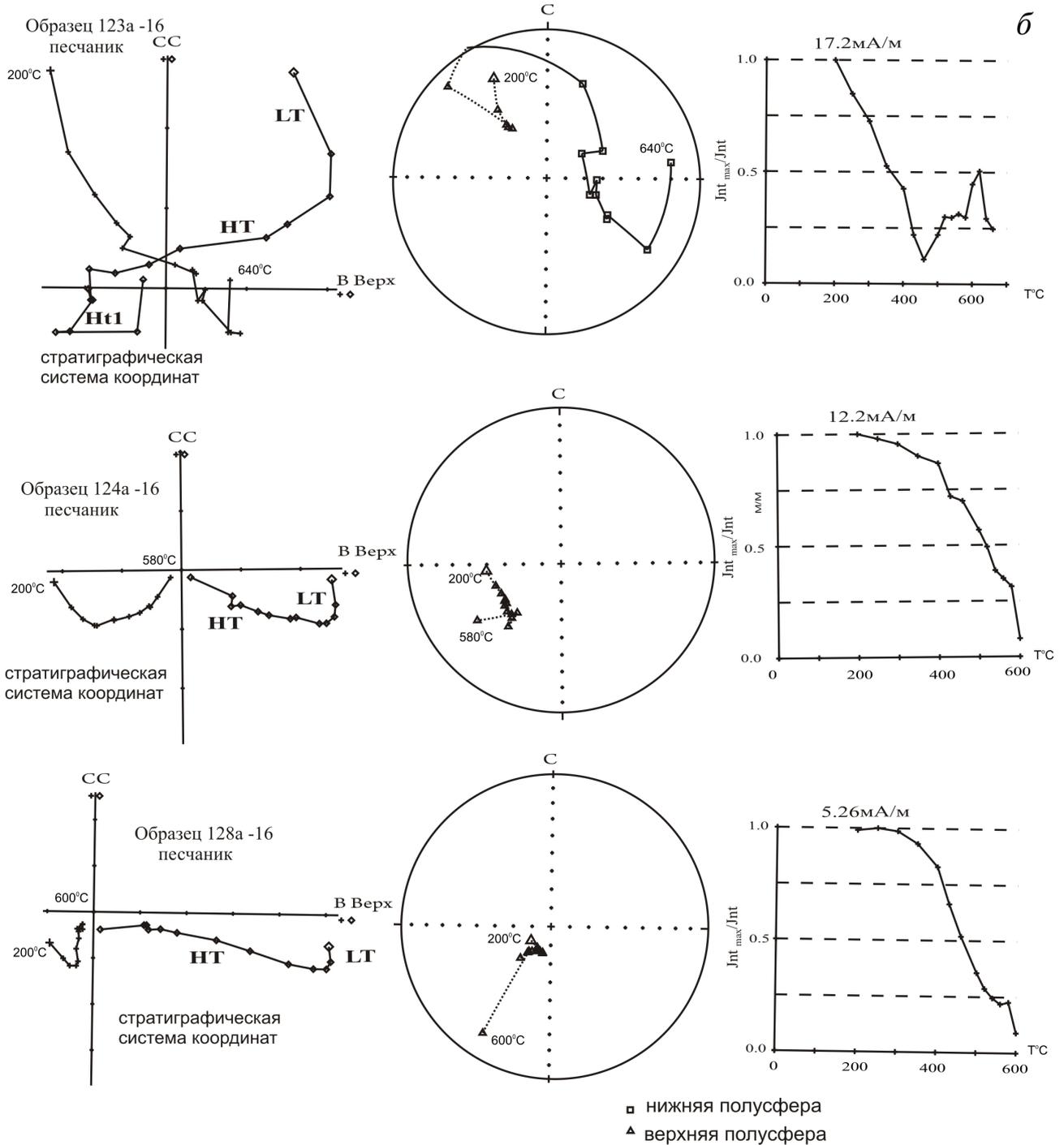


Рис. 6. Продолжение  
Fig. 6. Continued

верхнедевонских толщ — в интервале широт 42–55–72° с.ш., а нижней части верхнедевонских толщ — в интервале 21–28–36° с.ш.

Сравнение полученных нами данных с опубликованными в работе (Павлов, 2016) девонскими и раннекарбовыми полюсами Сибири, показало, что в раннем карбоне и в начале позднего девона исследованные геологические толщи находились в структуре Сибири:  $F = 2.8 \pm 7.9^\circ$  (ранний карбон),  $F = 3^\circ \pm 9^\circ$  (начало позднего девона) (Beck, 1980; Demarest, 1983).

Склонения НТ-компонент намагниченности, показывающие степень вращения пород в плоскости слоев, в разной степени отличаются от склонений намагниченности, рассчитанных из палеомагнитных полюсов для Сибири: для направления НТ VI  $R = 12.6 \pm 13.3$ , для направления НТ VII  $R = -44 \pm 24$ , для направления НТ IX + НТ X  $R = -77 \pm 29.7$  (Beck, 1980; Demarest, 1983). То есть, исследованные толщи в разной степени развернуты относительно Сибири в горизонтальной плоскости. Возможно, эти вра-

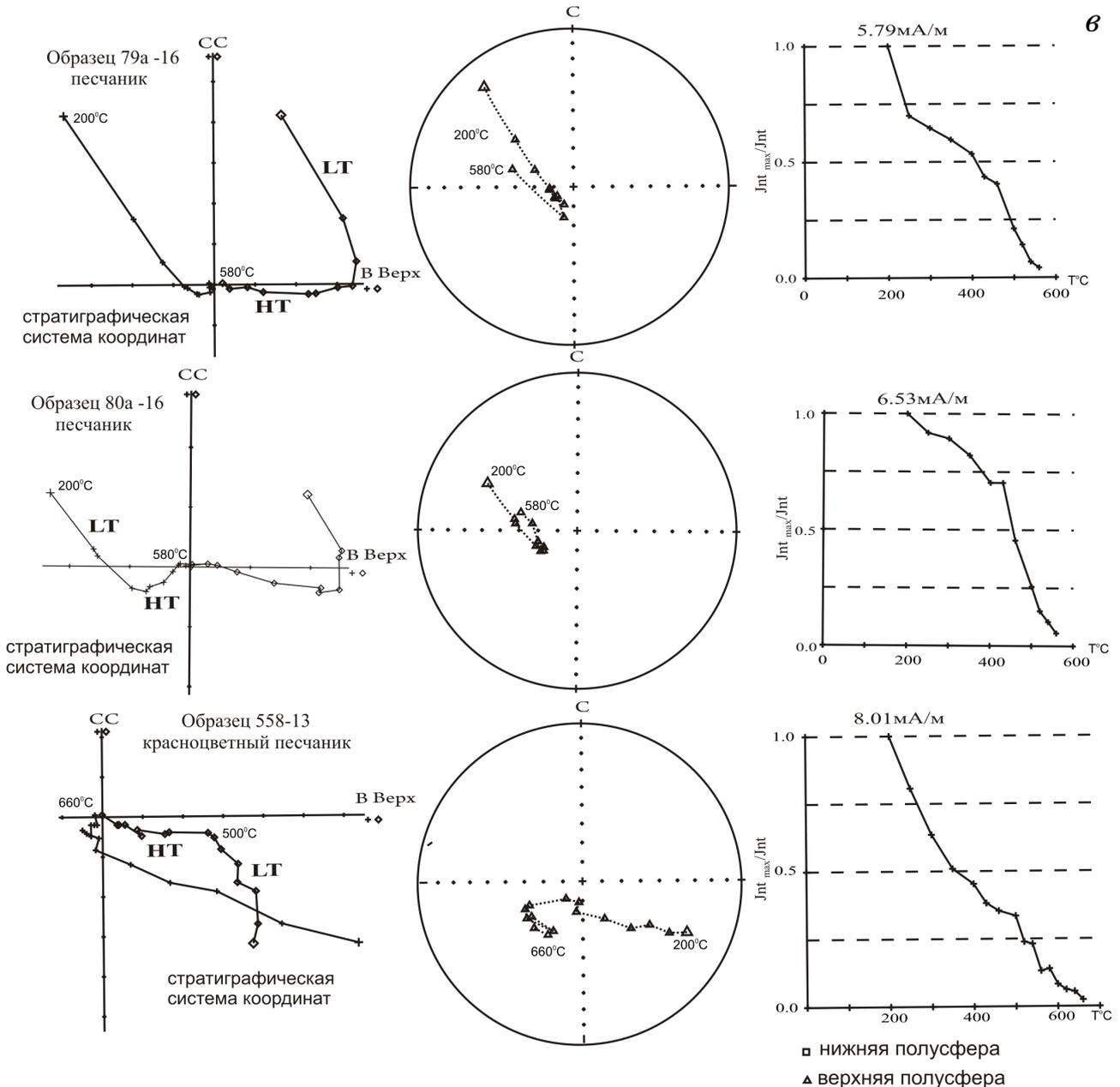


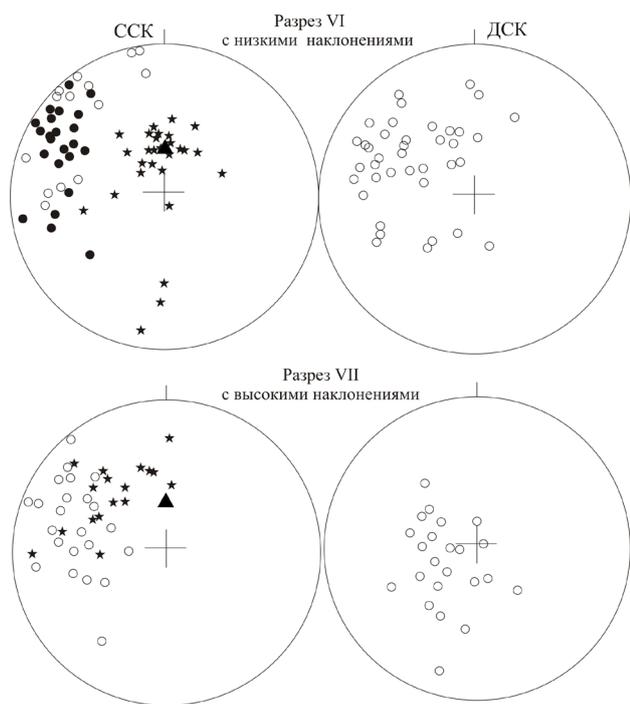
Рис. 6. Окончание

Fig. 6. Continued

щения связаны с локальными деформациями пород. Тем не менее, надо отметить, что расстояние между раннекарбонными разрезами на юге (разрез X) и в центральной части Тувы (разрез IX) составляет около 400 км. Совпадение в ДСК направлений НТ-компонент намагниченности этих раннекарбонных разрезов показывает, что исследованные толщи не были развернуты в горизонтальной плоскости друг относительно друга. Этот факт дает основания предположить, что после раннего карбона в Туве не было локальных деформаций, приводящих к вращению толщ в горизонтальной плоскости. Об этом же свидетельствует пологое (от 0 до 20°) залегание большинства раннекарбонных

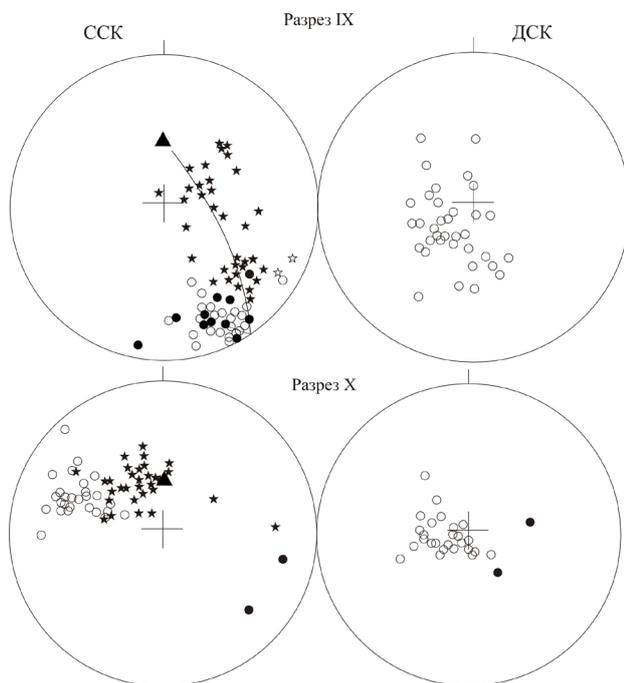
толщ в Туве. Тем не менее, толщи развернуты на 77° против часовой стрелки относительно Сибири:  $R = -77 \pm 29.7^\circ$  (Beck, 1980; Demarest, 1983). То есть, возможно, после раннего карбона вращался крупный геологический блок, включающий оба изученных раннекарбонных разреза. Если предположенная гипотеза верна, то пострanneкарбонные вращения «Тувинского» геологического блока могли быть связаны с действием крупноамплитудных левых сдвигов после раннего карбона.

На рис. 10 показаны палеошироты, рассчитанные для фанерозойских толщ Тувы. Очевидно, что палеошироты Тувинских толщ в общем совпадают с «Сибирскими» палеоши-



**Рис. 7.** Распределение единичных векторов намагниченности в девонских разрезах VI и VII. Обозначения см. на рис. 4.

**Fig. 7.** Distribution of unit vectors of magnetization in the Devonian sections VI and VII. See Fig. 4.



**Рис. 8.** Распределение единичных векторов намагниченности в нижнекарбониферозных разрезах IX и X. Жирная линия — большой круг перемagnetизации, вдоль которого распределены ЛН компоненты намагниченности. Остальные обозначения см. на рис. 4.

**Fig. 8.** Distribution of single vectors of magnetization in the Lower Carboniferous sections IX and X. The fat line denotes a large circle of magnetization along which LH magnetization components are distributed. For the legend see Fig. 4.

ротами. Отсюда пока можно сделать вывод, что, по крайней мере, Тува с ордовика уже входила в структуру Сибири и испытывала широтное перемещение вместе с нею.

## ВЫВОДЫ

В ордовикских, верхнедевонских и нижнекарбониферозных толщах Тувы выделены послескладчатые вторичные и доскладчатые, вероятно, близкие к первичным компоненты намагниченности. Направления вторичных компонент намагниченности близки к направлению кайнозойского магнитного поля в районе Тувы.

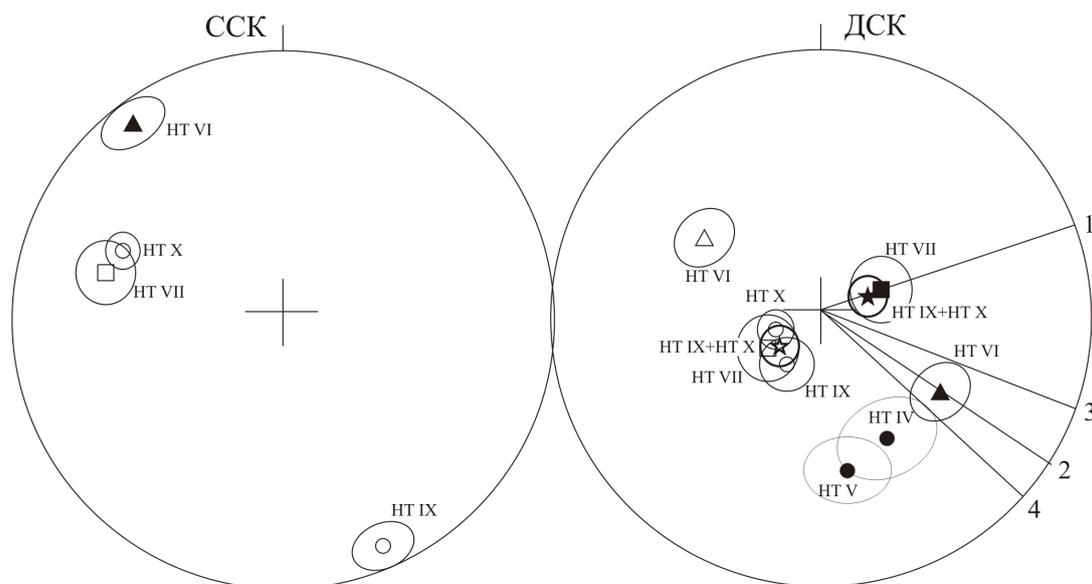
По доскладчатым компонентам намагниченности были рассчитаны палеомагнитные полюса и палеошироты формирования ордовикских, верхнедевонских и нижнекарбониферозных толщ Тувы.

Ордовикские толщи накапливались в интервале широт от 4 до 12° северной или южной широты. Координаты ордовикского палеомагнитного полюса для Тувы —  $\Phi = 41^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 307^\circ$  в.д.,  $A95 = 5.4^\circ$ , если ордовикские толщи формировались в северном полушарии и  $\Phi = -41^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 127^\circ$  в.д.,  $A95 = 5.4^\circ$ , если толщи накапливались в южном полушарии.

Сравнение палеомагнитных ордовикских полюсов Тувы с ордовикскими полюсами Сибири (Павлов, 2016), показало, что палеоширота формирования ордовикских толщ значительно отличается от «Сибирской» палеошироты, если ордовикские толщи Тувы накапливались в северном полушарии. Если ордовикские толщи Тувы накапливались в южном полушарии, то их палеошироты статистически не отличаются от Сибирских. Ордовикские толщи слабо развернуты в горизонтальной плоскости относительно Сибири, если они формировались в южном, и развернуты относительно Сибири на углы более 180°, если они формировались в северном полушарии.

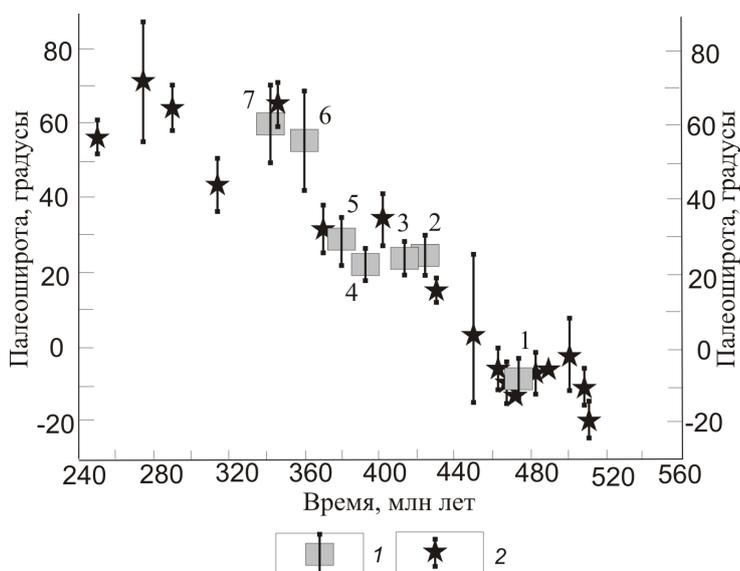
Доскладчатая намагниченность нижней части верхнедевонских толщ характеризуется более низкими наклонениями по сравнению с намагниченностью верхней части верхнедевонских толщ. Координаты палеомагнитных полюсов для нижней части верхнего девона —  $\Phi = 3.7^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 139.8^\circ$  в.д.,  $A95 = 9.3^\circ$ , для верхней части —  $\Phi = 51.7^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 148.8^\circ$  в.д.,  $A95 = 16^\circ$ . Породы нижней части верхнедевонских толщ образовывались в интервале широт от 21 до 36° с.ш., а верхней части верхнедевонских толщ — в интервале широт 42–72° с.ш.

Нижнекарбониферозные толщи накапливались на высоких широтах: 51–70.5° с.ш. Координаты палеомагнитного полюса для нижнего карбона Тувы:  $\Phi = 53.8^\circ$  с.ш.,  $\Lambda = 141.7^\circ$  в.д.,  $A95 = 9.6^\circ$ .



**Рис. 9.** Распределения средних направлений намагниченности с кругами доверия верхнедевонских (VI, VII) и нижнекарбоневых (IX, X) разрезов. Треугольник — разрез VI (нижняя часть верхнедевонского стратиграфического интервала), квадрат — разрез VII (верхняя часть верхнедевонского стратиграфического интервала), кружки — нижнекарбоневые разрезы (IX, X). Звездочка — среднее направление намагниченности по разрезам IX и X. Радиальные линии 1–4: 1 — склонения HT IX+HT X и HT VII компонент намагниченности (таблица), 2 — склонения HT VI компоненты намагниченности (таблица). 3, 4 — склонения намагниченности, рассчитанные из палеомагнитных полюсов Сибири: 3 — позднедевонского, 4 — раннекарбоневых (Павлов, 2016).

**Fig. 9.** Distributions of average directions of magnetization with circles of confidence of the Upper Devonian (VI, VII) and Lower Carboniferous (IX, X) sections. Triangle denotes section VI (lower part of the Upper Devonian stratigraphic interval), square denotes section VII (upper part of the Upper Devonian stratigraphic interval), circles denote Lower Carboniferous sections (IX, X). Asterisk denotes the average direction of magnetization for sections IX and X. Radial lines 1–4: 1 — declinations HT IX+HT X and HT VII magnetization component (table), 2 — declinations HT VI magnetization components (table). 3, 4 — declinations of magnetization calculated from paleomagnetic poles of Siberia: 3 — Late Devonian, 4 — Early Carboniferous (Pavlov, 2016).



**Рис. 10.** Широтное положение фанерозойских геологических толщ Тувы и Сибири: 1 — палеошироты с доверительными интервалами фанерозойских толщ Тувы (Коваленко, Лобанов, 2018а; Коваленко, Лобанов, 2018б; Bachtadse et al., 2000; данная статья); 2 — палеошироты с доверительными интервалами, рассчитанные из палеомагнитных полюсов Сибири (Павлов, 2016). Цифры на диаграмме — палеошироты формирования фанерозойских толщ Тувы: 1 — ордовикских (настоящая статья); 2 — силурийских (Коваленко, Лобанов, 2018б); 3 — верхнесилурийских—нижнедевонских (Bachtadse et al., 2000); 4 — среднедевонских (Коваленко, Лобанов, 2018б); 5 — нижней части верхнедевонских (настоящая статья); 6 — верхней части верхнедевонских (настоящая статья); 7 — нижнекарбоневых (настоящая статья).

**Fig. 10.** The latitudinal position of the Phanerozoic geological formations in Tuva and Siberia: 1— paleolatitudes with confidence intervals of the Phanerozoic strata of Tuva (Kovalenko, Lobanov, 2018a; Kovalenko, Lobanov, 2018b; Bachtadse et al., 2000; this article); 2 — paleolatitudes with confidence intervals calculated from paleomagnetic poles of Siberia (Pavlov, 2016). The 1–7 figures in the diagram are paleolatitudes of the formation of the Phanerozoic strata of Tuva: 1 — Ordovician (this article), 2 — Silurian (Kovalenko, Lobanov, 2018b), 3 — Upper Silurian—Lower Devonian (Bachtadse et al., 2000), 4 — Middle Devonian (Kovalenko, Lobanov, 2018b), 5 — lower part of the Upper Devonian (this article), 6 — upper part of the Upper Devonian (this article), 7 — Lower Carboniferous (this article).

В девоне и раннем карбоне исследованные геологические толщи находились в структуре Сибири.

Девонские и нижнекарбоновые толщи в разной степени развернуты в горизонтальной плоскости относительно Сибири. Вращения могли быть связаны с локальными деформациями пород. Также нельзя исключать вращение крупного геологического блока в связи с действием крупноамплитудных сдвигов после раннего карбона.

Сравнение палеоширот формирования фанерозойских толщ Тувы с Сибирскими палеоширотами показало, что, по крайней мере, Тува уже с ордовика, по-видимому, входила в структуру Сибири и испытывала широтное перемещение вместе с ней.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-05-00022.

#### 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. V. 37. № 1. P. 63–81 (in Russian)].
- Беличенко В.Г., Скляр Е.В., Добрецов Н.Л., Томуртогоо О.* Геодинамическая карта Палеоазиатского океана. Восточный сегмент // Геология и геофизика. 1994. Т.35. № 7–8. С. 8–28 [*Belichenko V.G., Sklyarov E.V., Dobretsov N.L., Tomurtogoo O.* Geodynamic map of the Paleasian ocean. Eastern segment // *Geology and Geophysics*. 1994. V. 35. № 7–8. P. 8–28 (in Russian)].
- Гордиенко И.В., Филимонов А.В., Минина О.Р. и др.* Дзидинская островодужная система Палеоазиатского океана: строение и основные этапы геодинамической эволюции в венде-палеозое // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 1. С. 120–140 [*Gordienko I.V., Filimonov A.V., Minina O.R. et al.* Dzhida island-arc system in the Paleasian Ocean: structure and main stages of Vendian-Paleozoic geodynamic evolution // *Geology and Geophysics*. 2007. V. 48. № 1. P. 91–106].
- Добрецов Н.Л.* Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской области в Урало-Монгольском складчатом поясе (Палеоазиатский океан) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 1–2. С. 5–27 [*Dobretsov N.L.* Evolution of structures of the Urals, Kazakhstan, Tien Shan and Altai-Sayan region in the Ural-Mongolian fold belt (Paleoasiatic ocean) // *Geology and Geophysics*. 2003. V. 44. № 1–2. P. 5–27 (in Russian)].
- Добрецов Н.Л., Буслов М.М.* Позднекембрийско-ордовикская тектоника и геодинамика Центральной Азии // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 1. С. 93–108 [*Dobretsov N.L., Buslov M.M.* Late Cambrian-Ordovician tectonics and geodynamics of Central Asia // *Geology and Geophysics*. 2007. V. 48. № 1. P. 71–82].
- 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 the 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 sources of magma ophiolites of the Lake zone (Mongolia) // *Petrology*. 1996. V. 4. № 5. P. 453–495 (in Russian)].
- 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., Mossakovskiy A.A.* Magmatism and geodynamics of the continental stage (on the example of Mongolia). *Geotectonics*. 1989. № 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. 50. № 2. P. 178–195. <https://doi.org/10.1134/S086959111602003X>].
- Коваленко Д.В.* Палеомагнетизм раннепалеозойских геологических комплексов Монголии // Физика Земли. 2017. №3. с.88–106. <https://doi.org/10.7868/S0002333717020077> [*Kovalenko D.V.* Paleomagnetism of early Paleozoic geological complexes of Mongolia // *Physics of the Solid Earth*. 2017. № 3. P. 410–428. <https://doi.org/10.1134/S1069351317020070>].
- Коваленко Д.В., Петров В.А.* Палеомагнетизм Монголии // ДАН. 2017. №3. Т.472. С. 306–310. <https://doi.org/10.7868/S0869565217030185> [*Kovalenko D.V., Petrov V.A.* Paleomagnetism of Mongolia // *Doklady Earth Sciences*. 2017. № 3. V. 472. P. 31–35. <https://doi.org/10.1134/S1028334X17010238>].
- Коваленко Д.В., Чернов Е.Е.* Палеомагнетизм карбон-пермских и раннеюрских геологических комплексов Монголии // Физика Земли. 2008. № 5. С. 81–96 [*Kovalenko D.V., Chernov E.E.* Paleomagnetism of Carboniferous-Permian and Early Jurassic Geological Complexes in Mongolia // *Physics of the Solid Earth*. 2008. № 5. P. 427–441. <https://doi.org/10.1134/S1069351308050078> ].
- Коваленко Д.В., Лобанов К.В.* Палеомагнетизм среднедевонских геологических комплексов центральной Тувы // ДАН. 2018а. Т. 479. С. 298–301. <https://doi.org/10.7868/S086956521809013X> [*Kovalenko D.V., Lobanov K.V.* Paleomagnetism of middle Devonian geological complexes of Central Tuva // *Doklady Earth Sciences*. 2018а. V. 479. № 3, P. 324–327. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18030273>].
- Коваленко Д.В., Лобанов К.В.* Новый палеомагнитный полюс для силурийских геологических толщ Тувы // ДАН. 2018. Т. 483. № 4. С. 417–420. <https://doi.org/10.31857/S086956520003278-8> [*Kovalenko*

- D.V., Lobanov K.V.* A New Paleomagnetic Pole for the Silurian Geological Sequences of Tuva // *Doklady Earth Sciences*. 2018b. V. 483. № 4. P. 1491–1494. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18120048>.
- Метелкин Д.В.* Эволюция структур Центральной Азии и роль сдвиговой тектоники по палеомагнитным данным. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2012. 460 с. [*Metelkin D.V.* Evolution of Central Asian structures and the role of shear tectonics from paleomagnetic data. Novosibirsk: INGG SO RAN, 2012. 460 p. (in Russian)].
- Моссаковский А.А., Руженцев С.В., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н.* Центрально-Азиатский складчатый пояс: геодинамическая эволюция и история формирования // *Геотектоника*. 1993. № 6. С. 3–33 [*Mossakovsky A.A., Ruzhentsev S.V., Samygin S.G., Kheraskova T.N.* Central Asian fold belt: geodynamic evolution and history of formation // *Geotectonics*. 1993. № 6. P. 3–33 (in Russian)].
- Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200000, серия Западно-Саянская, лист М-46-IV (Баян-Коль). ВСЕГЕИ. Москва, 1963. 121 с. [Explanatory note to the geological map of the USSR scale 1: 200000, series West Sayan, sheet M-46-IV (Bayan-Kohl). VSEGEI. Moscow, 1963. 121 p. (in Russian)].
- Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200000, серия Западно-Саянская, лист М-46-V. Москва, Недра. 1966. 94 с. [Explanatory note to the geological map of the USSR scale 1: 200000, series West Sayan, sheet M-46-V. Moscow, Nedra. 1966. 94 p. (in Russian)].
- Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200000, серия Западно-Саянская, лист М-46-VIII. Москва, Недра. 1958. 85 с. [Explanatory note to the geological map of the USSR scale 1: 200000, series West Sayan, sheet M-46-VIII. Moscow, Nedra. 1958. 85 p. (in Russian)].
- Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200000, серия Западно-Саянская, лист М-46-IX. Москва, Недра. 1961. 103 с. [Explanatory note to the geological map of the USSR scale 1: 200000, series West Sayan, sheet M-46-IX. Moscow, Nedra. 1961. 103 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)].
- Руднев С.Н., Серов П.А., Киселева В.Ю. и др.* Вендраннепалеозойский гранитоидный магматизм Восточной Тувы // *Геология и геофизика*. 2015. Т. 56. № 9. С. 1572–1600 [*Rudnev S.N., Serov P.A., Kiseleva V.Yu. et al.* Vendian-Early Paleozoic granitoid magmatism in Eastern Tuva // *Geology and Geophysics*. 2015. V. 56. № 9. P. 1232–1255].
- Сугораклова А.М.* К вопросу о возрасте гранитоидного бреньского комплекса // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания*. Вып. 5. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2007. В 2-х томах. Т. 2. С. 105–106 [*Sugorakova A.M.* On the age of granitoid brenskov complex // *Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from the ocean to the continent): Proceedings of the meeting*. Iss. 5. Irkutsk: Institute of the earth's crust SB RAS. 2007. In 2 volumes. V. P. 105–106 (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. L.: 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)].
- Beck M.E. Jr.* Paleomagnetic record of plate-margin tectonic processes along the western edge of North America // *JGR*. 1980. V. 85. P. 7115–7131.
- 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 // *JGR*. 2000. V. 105. № B6. P. 13509–13518
- Demarest H.H. Jr.* Error analysis for the determination of tectonic rotation from paleomagnetic data // *JGR*. 1983. V. 88. 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. 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.
- Pfänder J.A., Jochum K.P., Kozakov I. et al.* Coupled evolution of back-arc and island arc-like mafic crust in the late-Neoproterozoic Agardagh Tes-Chem ophiolite, Central Asia; evidence from trace element and Sr-Nd-Pb isotope data. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. V. 143. P. 154–174. Tectonic, magmatism, and metallogeny of Mongolia. Routledge, Taylor&Fransis Group, London and New York, 2001. 288 p.
- Pfänder J.A., Kroner A.* Tectono-magmatic evolution, age and emplacement of the Agardagh Tes-Chem ophiolite in Tuva, central Asia: crustal growth by island arc accretion // *Precambrian Ophiolites and Related Rocks*. Edited by Timothy M. Kusky. *Developments in Precambrian Geology*, V. 13 (K.C. Condie, Series Editor). 2004. P. 167–181.
- 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
- 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.

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ФАНЕРОЗОЙСКИХ  
**PALEOMAGNETISM**  
**OF PHANEROZOIC GEOLOGICAL COMPLEXES IN TUVA**

**D.V. Kovalenko<sup>1</sup>, M.V. Buzina<sup>1</sup>, Kh. Ceedulam<sup>2</sup>, C. Oyunchimeg<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>The organization of the Russian academy of sciences institute of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry of RAS, Moscow, Russia, 119017*

*<sup>2</sup>Mongolian state University of science and technology, Ulan-Bator, Mongolia*

*<sup>3</sup>Institute of Geology of the Mongolian Academy of Sciences, Ulan-Bator, Mongolia*

The authors have investigated palaeomagnetically the Ordovician, Upper Devonian and Lower Carboniferous strata in Tuva. In the rocks, postfolding secondary and prefolding magnetization components were isolated. Paleomagnetic poles were calculated from primary magnetization components: for the Ordovician —  $\Phi = 4^\circ \text{ N}$ ,  $\Lambda = 307^\circ \text{ E}$ ,  $A95 = 5.4^\circ$ , if the Ordovician strata were formed in the Northern hemisphere and  $\Phi = -41^\circ \text{ N}$ ,  $\Lambda = 127^\circ \text{ E}$ ,  $A95 = 5.4^\circ$ , if the strata accumulated in the southern hemisphere; for the lower part of the Upper Devonian —  $\Phi = 3.7^\circ \text{ N}$ ,  $\Lambda = 139.8^\circ \text{ E}$ ,  $A95 = 9.3^\circ$ , for the upper part of the Upper Devonian —  $\Phi = 51.7^\circ \text{ N}$ ,  $\Lambda = 148.8^\circ \text{ E}$ ,  $A95 = 16^\circ$ ; for the lower carbon —  $\Phi = 53.8^\circ \text{ N}$ ,  $\Lambda = 141.7^\circ \text{ E}$ ,  $A95 = 9.6^\circ$ . Probably, at least since the Ordovician, Tuva was part of the Siberian structure and was moving latitudinally with it. The Devonian and Lower Carboniferous strata are rotated in different degrees in the horizontal plane in relation to Siberia. The rotations could be associated with local deformations of rocks, but it is also possible that the rotation of a large geological block was caused by large-amplitude shifts after the Early Carboniferous.

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