

УДК 550.858.5

НОВЫЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ДЕВОН-РАННЕКАРБОНОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТОЛЩ ТУВЫ

© 2020 г. Д. В. Коваленко^{1,*}, М. В. Бузина¹, член-корреспондент РАН К. В. Лобанов¹

Поступило 04.06.2019 г.

После доработки 10.10.2019 г.

Принято к публикации 15.12.2019 г.

Получены новые палеомагнитные данные для девонских и раннекарбонных пород Тувы. Проведен компонентный анализ намагниченности. По направлениям доскладчатой намагниченности толщ были рассчитаны координаты палеомагнитных полюсов: $\Phi = 53.8$, $\Lambda = 141.7$, $A95 = 9.6$ (ранний карбон), $\Phi = 3.7$, $\Lambda = 139.8$, $A95 = 9.3$ (начало позднего девона). Раннекарбонные толщи были сформированы в интервале широт $51\text{--}70.5^\circ$ с.ш., породы верхней части верхнедевонских толщ – $42\text{--}68^\circ$ с.ш., а нижней части верхнедевонских толщ – в интервале $21\text{--}36^\circ$ с.ш. Возможно, крупные геологические блоки Тувы вращались в горизонтальной плоскости в связи с действием крупноамплитудных сдвигов.

Ключевые слова: намагниченность, деформации, сдвиги, вращения в горизонтальной плоскости, склонение намагниченности, наклонение намагниченности

DOI: 10.31857/S268673972003010X

Геологические комплексы Тувы являются элементом структуры Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП). Пояс характеризуется длительной сложной тектонической и магматической историей [1]. Тектоническая история пояса отражена в многочисленных резких структурных и стратиграфических несогласиях, выявленных в фанерозойских толщах пояса. Несогласия выделяются на границе кембрия и ордовика, на границе ордовика и силура, на границе силура и девона, на границе раннего и среднего девона, среднего и верхнего девона, на границе девона и карбона, раннего и среднего карбона, на границе нижней и средней юры, в неогеновых отложениях. Формирование некоторых из них связывается с аккреционно-коллизийными событиями, других – с постаккреционным развитием ЦАСП. Приведенные в статье новые палеомагнитные данные дают дополнительную информацию о характере деформаций горных пород ЦАСП на примере Тувы и возможных их причинах.

Палеомагнитные исследования проводились в центральной части и на юге Тувы. На юге Тувы, на границе с Монголией в районе поселка Хандагайты ($50^\circ 47.456' \text{C}$, $92^\circ 11.476' \text{E}$) верхнеде-

вонские и раннекарбонные породы залегают в едином стратиграфическом разрезе. В основном они представлены серыми, лиловыми и красными песчаниками, алевролитами, аргиллитами, реже – конгломератами, туффитами, известняками [2].

В беглединской свите, отнесенной к франскому ярусу верхнего девона, обнаружена флора (*Pseudobornia* cf. *Ursina*); ихтиофауна (*Bothriolepis* sp.). В залегающей стратиграфически выше кохайской свите найдена ихтиофауна (*Megistolepis klementzi*, *Bothriolepis sibirica* Obr.), листонogie 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.

Нижекарбонные толщи согласно залегают на позднедевонских. Снизу вверх они подразделены на суглугхемскую, хербесскую и байтагскую свиты. Анализ комплексов ихтиофауны (*Strepsoodus siberiacus*, *Rhizodopsis savenkovi* Obr., *Acanthodes* sp., *Ganolepis* sp., *Cycloptychius* sp.), растений (*Lepidodendropsis asiaticum*) позволил отнести суглугхемскую свиту к турнейскому ярусу. Байтагская свита была отнесена к визейскому ярусу на основании находок флоры (*Arctodendron Kidstoni*, *Pteridorachis* f. *modica* Radcz., *Protolpidodendron megaphyllum* Rodct., *Angarodendron* sp.,

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: Dmitry@igem.ru

A. tetragonum aff. *Kidstonii* Nath., *Tomiodendron schmalhauseni* (Chache) Radcz.).

Образцы для палеомагнитных исследований отбирались из тонкослоистых песчаников, алевролитов и аргиллитов из средне-, верхнедевонских и нижнекарбонных толщ. Всего было отобрано 39 образцов из нижнекарбонных толщ, 80 образцов из верхнедевонских и 59 образцов из среднедевонских толщ (рис. 1).

В центральной части Тувы нижнекарбонные толщи делятся на два яруса – турнейский и визейский [3]. 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., *Knorrria* sp.). Ко второму – на основании находок растений (*Lepidodendropsis asiaticum* sp., *Pteridora* f. *modica* f., *Angarodendron*, *Bothrodendron*) и рыб (*Rhabdoderma* sp.). Для палеомагнитных исследований был опробован разрез нижнекарбонных толщ вдоль авто трассы г. Кызыл – г. Абакан (51°56.4' с.ш., 94°19.3' в.д.). Было отобрано 60 образцов из пестроцветных тонких песчаников и алевролитов и 42 – из красноцветных тонких песчаников, алевролитов и аргиллитов. Все образцы в разрезах были взяты с различных стратиграфических уровней.

Обработка палеомагнитных образцов проводилась в палеомагнитной лаборатории ИГЕМ РАН по стандартной методике, описанной в [4–6].

Отчетливые прямолинейные участки на диаграммах Зийдервельда позволили надежно выделить компоненты намагниченности в породах. В верхнедевонских и нижнекарбонных породах в районе пос. Хандагайты в основном выделяются две, иногда – три компоненты намагниченности. Низкотемпературная компонента (ЛТ) выделяется в интервале температур от 20 до 300–460°C. Высокотемпературная компонента намагниченности (НТ) выделяется в интервале от 300 до 580°C. В ряде образцов также выделяются компоненты намагниченности в интервале 580–660°C. В большинстве образцов среднедевонских пород выделяется одна высокотемпературная компонента (20–660°C), в некоторых – две высокотемпературные компоненты намагниченности (20–400–500°C, 400–660°C).

Низкотемпературные компоненты намагниченности девонских и нижнекарбонных пород на сфере группируются около направления кайнозойского магнитного поля Земли в районе Тувы (табл. 1). Высокотемпературные компоненты среднедевонских пород распределены хаотически. В образцах верхнедевонских и нижнекарбонных пород высокотемпературные компоненты намагниченности, выделенные в гематитовом спектре блокирующих температур, также распре-

делены хаотически, а компоненты, рассчитанные в магнетитовом спектре блокирующих температур, на сфере образуют отчетливые группы. Причем породы верхнего сегмента верхнедевонского разреза характеризуются более высокими наклонениями, чем породы нижнего сегмента верхнедевонского разреза (табл. 1). Эти компоненты характеризуются обратной полярностью, два вектора высокотемпературной намагниченности нижнекарбонного разреза имеют прямую полярность (табл. 1).

В породах из разреза нижнекарбонных пород, изученных вдоль трассы г. Абакан–г. Кызыл, так же выделяются две компоненты. 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 вдоль большого круга от направления современного магнитного поля в Туве до направлений НТ-компоненты. Векторы НТ-компоненты в красноцветной части разреза в ДСК образуют группу обратной полярности, статистические характеристики которой приведены в табл. 1. 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 (табл. 1).

Тест складки, проведенный методом сравнения средних направлений [7], показал, что средние направления НТ-компонент намагниченности пород двух нижнекарбонных разрезов статистически равны в ДСК и отличаются в ССК (табл. 1, рис. 2а).

Тест на “синскладчатость” показал, среднее направление намагниченности, рассчитанное по НТ-компонентам намагниченности этих двух разрезов, характеризуется максимальной кучностью при 100% распрямлении складки: $N = 2$, $D = 65.6$, $I = 73$, $K = 16.7$. Таким образом, мы считаем, что на основании тестов складки в нижнекарбонных разрезах была выделена доскладчатая высокотемпературная намагниченность, близкая к первичной.

Средние направления верхней и нижней частей верхнедевонского разреза различаются (рис. 2а). Среднее направление НТ-намагниченности верхней части разреза совпадает в ССК и ДСК с направлением НТ-намагниченности ниж-

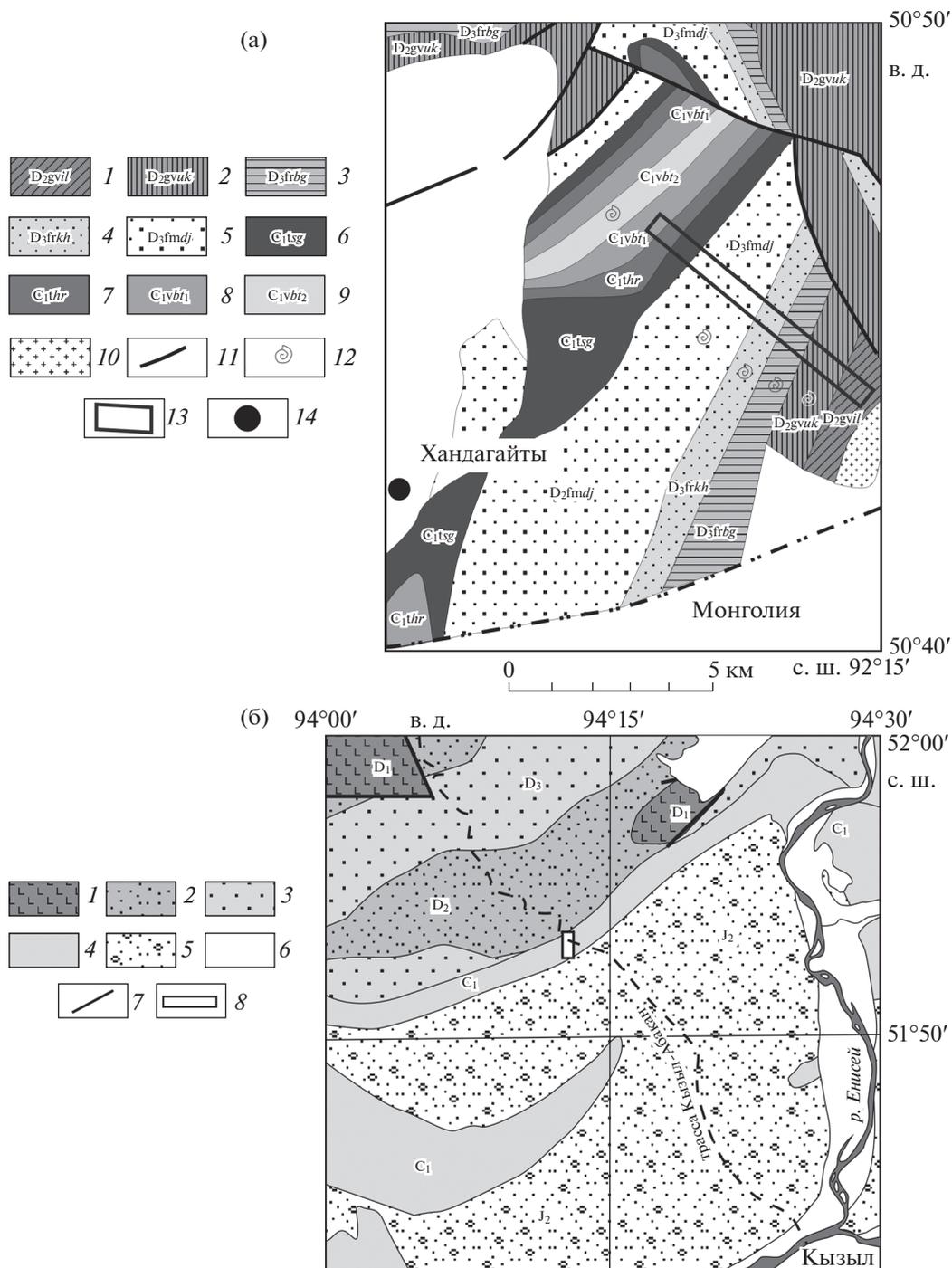


Рис. 1. Схемы геологического строения Тувы в центральной (а) и южных районах (б) [2, 3]: (а) 1–6 – фанерозойские толщи: 1 – раннедевонские; 2 – среднедевонские; 3 – верхнедевонские; 4 – раннекарбоновые; 5 – среднеюрские; 6 – четвертичные аллювиальные толщи; 7 – разломы; 8 – районы отбора палеомагнитных проб: раннекарбоновые породы; (б) 1–9 – среднефанерозойские свиты: 1 – илеморовская (D_{2gv}); 2 – уюкская (D_{2gv}); 3 – берединская (D_{2fr}); 4 – кохайская (D_{2fr}); 5 – джаргинская (D_{2fm}); 6 – суглугхемская (D_{2t}); 7 – хербесская (D_{2t}); 8 – байтагская (нижняя подсвита) (D_{2v}); 9 – байтагская (верхняя подсвита) (D_{2v}); 10 – граниты; 11 – места находок ископаемой флоры и фауны; 12 – опробованные для палеомагнитного анализа толщи; 14 – поселок Хандагайты.

некарбоновых пород (табл. 1). Тест складки, проведенный по направлениям НТ-намагниченности верхней части верхнедевонского и нижнекарбоновых разрезов, положительный (табл. 1, рис. 2а).

Среднее направление НТ-намагниченности нижней части верхнедевонского разреза характеризуется более низким наклоном и близко к направлениям НТ-намагниченности среднедевон-

Таблица 1. Средние направления компонент намагниченности палеозойских толщ Тувы

Разрезы-Компоненты	N	Dc	Ic	Kc	αc	Dд	Iд	Kд	$\alpha д$
Средний девон [5]									
4	44	58	-44	6	9	353	-42	6	8.5
5	19	333	-30	6	14	334	-42	5.5	14
Поздний девон									
X1-ЛТ	28	349	72	7	10	314	27	7	10
X1-НТ-1 (с низкими наклонениями) (I)	37	302	9	6.5	9	303	-47	6.5	9
X2-ЛТ	17	316	45	11	10	313	1	11	10
X2-НТ-h (с высокими наклонениями) (III)	23	286	-34	9	10	246	-71	9	10
Ранний карбон									
Трасса Кызыл-Абакан									
A1-ЛТ	64	23	77	29	3.3	146	6.1	17	4.2
A1-НТ конец круга	9	163	-4	13	13	257	-73	13	13
A2-ЛТ	Распределена по дуге большого круга								
A2-НТ	35	154	-8	8	8	222	-71	6.5	9
Разрез Хандагайты									
X3-ЛТ	31	339	60	15	6.5	324	20	14	6.6
X3-НТ	29	295	-35	26	5	262	-75	27	5
Результаты применения теста складки									
Компоненты A2-НТ и X3-НТ (I)	64	202	-47	1.7	13	245	-74	10	5.6
F _{кр} = 0.05	F _с = 4.26					F _д = 0.088			
Компоненты A2-НТ, X3-НТ и X2-НТ-h	87	241	-50	2	11	241	-73	9.5	5
F _{кр} = 3.6	F _с = 154.6					F _д = 1.68			
Компоненты X1-НТ-1, 4 и 5 (по наклонениям)	100		-22	3	6.8		-44	6	5.6
F _{кр} = 3.6	F _с = 21.6					F _д = 0.227			

Примечания: 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. Направления 4 и 5 для сравнения взяты из работы [5]. F – статистический параметр, используемый при сравнении средних. F_{кр}, F_с, F_д – критическая величина параметра F и величины этого параметра в ССК и ДСК [11]. (I), (II), (III) – направления намагниченности, по которым рассчитывались палеомагнитные полюса.

ских пород центральной части Тувы (рис. 2а) [5]. Тест складки, проведенный только по наклонениям НТ-намагниченности перечисленных разрезов, показал, что намагниченность доскладчатая.

Для расчета палеомагнитных полюсов и палеоширот использовались средние направления I (ранний карбон), II (конец позднего девона), III (начало позднего девона) (табл. 1). По ним были рассчитаны координаты палеомагнитных полюсов: $\Phi = 53.8$, $\Lambda = 141.7$, $A95 = 9.6$ (ранний карбон), $\Phi = 51.7$, $\Lambda = 148.8$, $A95 = 16$ (конец позднего девона), $\Phi = 3.7$, $\Lambda = 139.8$, $A95 = 9.3$ (начало позднего девона).

Анализ наклонений высокотемпературной намагниченности показал, что раннекарбоновые толщи были сформированы на высоких широтах: $51-60-70.5^\circ$ с.ш. (минимальная – средняя – максимальная палеоширота), породы верхней части верхнедевонских толщ – в интервале широт $42-55-72^\circ$ с.ш., а нижней части верхнедевонских толщ – в интервале $21-28-36^\circ$ с.ш.

Сравнение полученных нами данных с опубликованными в работе [8] девонскими и раннекарбоновыми полюсами Сибири показало, что в раннем карбоне и в начале позднего девона исследованные геологические толщи находились в структуре Сибири: $F = 2.8 \pm 7.9$ (ранний карбон), $F = 3 \pm 9$ (начало позднего девона). С учетом литературных палеомагнитных данных по девону и силуру Тувы [5, 9, 10] можно сделать вывод, что тектоническое совмещение комплексов ЦАСП и Сибири было не позднее раннего девона (рис. 3).

Склонения НТ-компонент намагниченности, показывающие степень вращения пород в горизонтальной плоскости (вокруг вертикальной оси), значительно отличаются от склонений намагниченности, рассчитанных из палеомагнитных полюсов для Сибири (рис. 2). То есть исследованные толщи в разной степени развернуты относительно Сибири в горизонтальной плоскости. Возможно, эти вращения связаны с локальными деформациями пород. Но нельзя также исключать, что вращения раннекарбоновых разрезов связаны с более масштабными процессами.

Расстояние между нижнекарбоновыми разрезами на юге (пос. Хандагайты) и в центральной части Тувы (трасса Кызыл-Абакан) составляет около 400 км. Совпадение в ДСК направлений НТ-компонент намагниченности этих нижнекарбоновых разрезов показывает, что исследованные толщи не были развернуты в горизонтальной плоскости друг относительно друга, и что, скорее всего, 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 нижнекарбоновых толщ в Туве. Тем

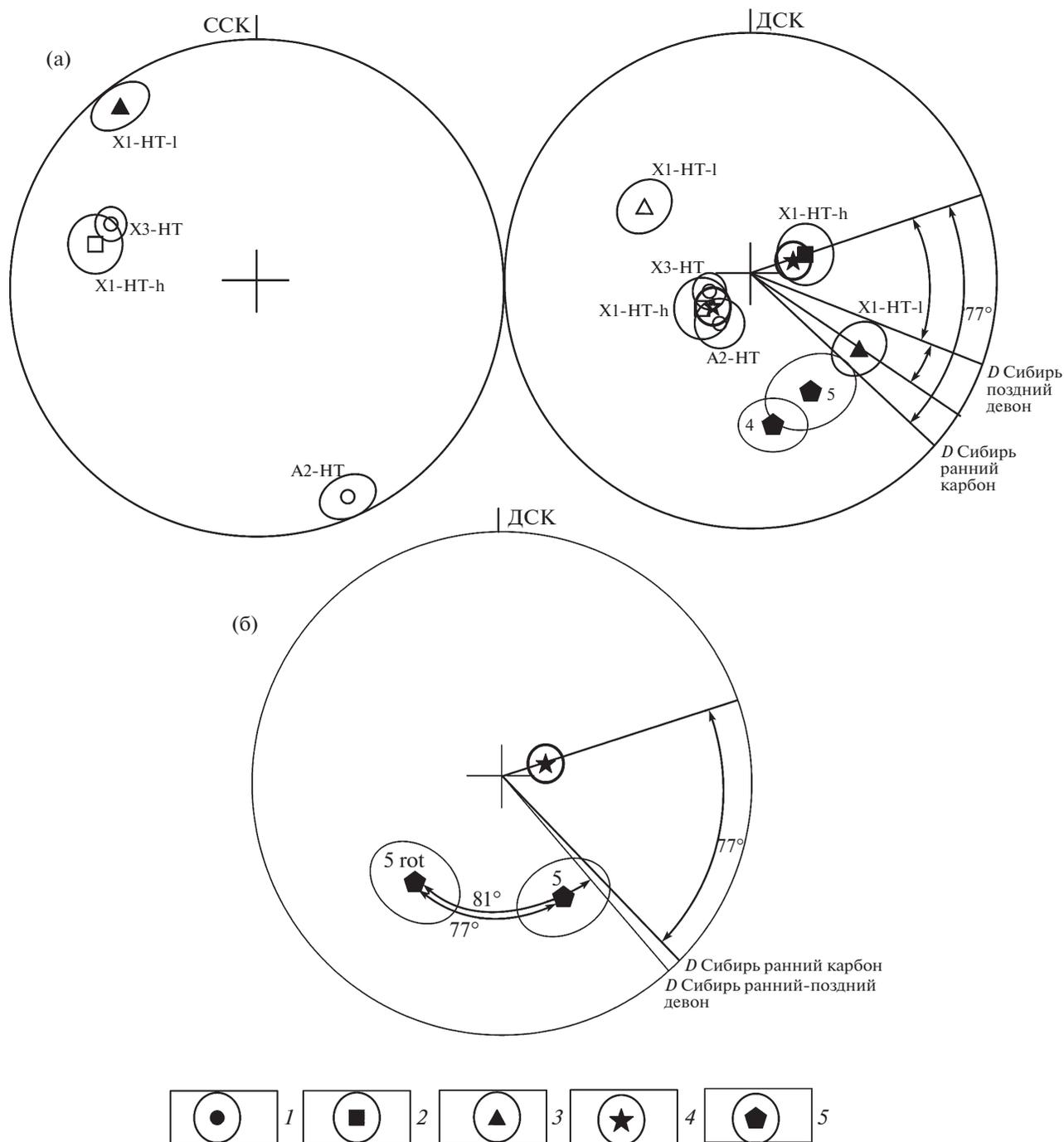


Рис. 2. а – Распределение на равноплощадной стереопроекции средних направлений высокотемпературной намагниченности с кругами доверия девонских и раннекарбоновых толщ (табл. 1). 1–5 – средние направления намагниченности с кругами доверия для: 1 – нижнекарбоновых толщ, 2 – верхней части верхнедевонских толщ, 3 – нижней части верхнедевонских толщ, 4 – нижнекарбоновых разрезов А2-НТ и Х3-НТ вместе, 5 – среднедевонских толщ [5] (табл. 1). Открытые символы – обратная полярность, залитые – эти же направления, переведенные в прямую полярность. D Сибирь поздний девон, D Сибирь ранний карбон, D Сибирь ранний-средний девон – склонения намагниченности, рассчитанные из позднедевонских, раннекарбоновых и ранне-среднедевонских полюсов для Сибири соответственно [8]. Стрелки – углы между склонениями намагниченности пород Тувы и склонениями, рассчитанными из палеомагнитных полюсов Сибири; б – Реконструкция направления намагниченности среднедевонского разреза 5 до вращения блока Тувы против часовой стрелки после раннего карбона. 5rot – направление намагниченности разреза 5 после реконструкции.

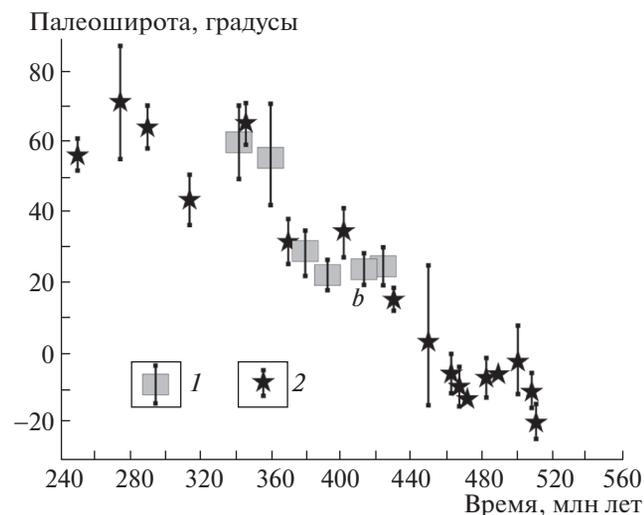


Рис. 3. Широтное положение палеозойских толщ Тувы. (1) Палеошироты формирования толщ Тувы с доверительными интервалами; (2) Палеошироты с доверительными интервалами, рассчитанные из палеомагнитных полюсов Сибири [8] для центральной части Тувы. Палеоширота с обозначением “b” взята из работы [9].

не менее толщ развернуты на 77° против часовой стрелки относительно Сибири: $R = -77 \pm 29.7$. То есть, возможно, после раннего карбона вращался крупный геологический блок, включающий оба изученных раннекарбонных разреза.

Разрез среднедевонских пород 5 слабо деформирован [5]. Углы падения пород не превышают 17° . Следовательно, не было локальных деформаций пород этого разреза, которые могли бы привести к вращениям толщ в горизонтальной плоскости. Если геологический блок, включающий среднедевонский разрез 5, был развернут вместе с раннекарбонными толщами в пострanneкарбонное время на 77° против часовой стрелки, то до

этого разворота среднедевонские толщ были развернуты относительно Сибири по часовой стрелке на $75^\circ-85^\circ$ (рис. 26): $R = 81 \pm 17.5$.

Если указанные вращения не связаны с локальными деформациями пород, то пострanneдевонские и пострanneкарбонные вращения “Тувинского” геологического блока могли быть связаны с действием крупноамплитудных правых сдвигов после среднего девона и левых сдвигов после раннего карбона.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Моссаковский А.А. // Геотектоника. 1989. № 4. С. 3–20.
2. Объяснительная записка к геологической карте СССР 1 : 200 000, серия Западно-Саянская, М-46-IX, 1961.
3. Объяснительная записка к геологической карте СССР 1 : 200 000, серия Западно-Саянская, М-46-V, 1961.
4. Коваленко Д.В. // Физика Земли. 2017. № 2. С. 1–19.
5. Коваленко Д.В., Лобанов К.В. // ДАН. 2018. Т. 479. № 3. С. 298–301.
6. Коваленко Д.В., Чернов Е.Е. // Физика Земли. 2008. № 5. С. 81–96.
7. Шипунов С.В. // Физика Земли. 1995. № 4. С. 67–74.
8. Павлов В.Э. Автореф. на соиск. ученой степени доктора физ.-мат. наук. Москва. 2015.
9. Bachtadse V. et al. // J. Geophys. Res. 2000. V. 105. № B6. P. 13,509–13,518.
10. Коваленко Д.В., Лобанов К.В. // ДАН. 2018. V. 483. P. 1491–1494.
11. McFadden P. L., Jones D. L. // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1981. V. 67. P. 53–58.

A NEW PALEOMAGNETIC POLE FOR THE SILURIAN GEOLOGICAL STRATA OF TUVA

D. V. Kovalenko^{a, #}, M. V. Buzina^a, and K. V. Lobanov^a

^a Institute of ore Deposit Geology, petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

[#] E-mail: Dmitry@igem.ru

New paleomagnetic data for Devonian and early Carbonaceous rocks of Tuva were obtained. The component analysis of magnetization is carried out. The coordinates of the paleomagnetic poles were calculated: $\Phi = 53.8$, $\Lambda = 141.7$, $A95 = 9.6$ (early carbon), $\Phi = 3.7$, $\Lambda = 139.8$, $A95 = 9.3$ (the beginning of the late Devonian). early Carbonaceous rocks were formed in the interval of latitudes $51-70.5^\circ$ N, rocks of the upper part of the upper Devonian strata – $42-68^\circ$ N, and the lower part of the upper Devonian strata in the interval $21-36^\circ$ N. It is possible that large geological blocks of Tuva rotated in the horizontal plane due to the action of large-amplitude shifts.

Keywords: magnetization, deformations, shear, rotation in the horizontal plane, the declination of magnetization, inclination of the magnetization