

ПАЛЕОМАГНИТНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КРАСНОЦВЕТНЫХ ПОРОД ВЕРХНЕГО РИФЕЯ ЮЖНОГО УРАЛА

К. Н. Данукалов, И. В. Голованова, Р. Ю. Сальманова, Н. П. Парфирьев

Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, E-mail: danukalov@mail.ru

В работе приведены результаты палеомагнитного изучения красноцветных известняков катавской свиты верхнего рифея, а также красноцветных песчаников подстилающих и перекрывающих ее зильмердакской и инзерской свит. Всего изучено более 500 ориентированных образцов из 4 разрезов. Лабораторные исследования выполнены в соответствии с общепринятой в настоящее время методикой, включающей в себя температурную магнитную чистку и компонентный анализ намагниченности. Во всех разрезах удалось выделить биполярную ВТК намагниченности, тесты складки и обращения по которой уверенно положительные. Направления намагниченности в разрезах Толпарово и Карамалы смещены приблизительно на 20° по склонению относительно направлений в разрезах Юрюзань и Галиакберово (а также многих других разрезов, изученных как авторами, так и другими исследователями). Возможно, такой результат связан с тектоническими перемещениями. Наблюдается закономерное смещение среднего направления ВТК намагниченности снизу вверх по разрезам в сторону уменьшения наклона от низов катавской свиты до низов инзерской свиты, что является достаточно сильным аргументом в пользу первичности намагниченности пород катавской свиты. Доказательство первичности высокотемпературной компоненты (ВТК) намагниченности катавской свиты, считавшейся ранее метакронной, могло бы стать хорошим палеомагнитным репером в неопротерозойской истории Земли и дало бы важную информацию об особенностях поведения геомагнитного поля в позднем докембрии. В целом полученные результаты подтверждают точку зрения В.Э. Павлова и И. Галле о синхронности ВТК намагниченности известняков катавской свиты.

Ключевые слова: палеомагнетизм, высокотемпературная компонента намагниченности, диаграмма Зийдервейлда, Южный Урал, верхний рифей, катавская свита

PALEOMAGNETIC STUDY OF RED-COLORED ROCKS OF THE UPPER RIPHEAN IN THE SOUTHERN URALS

K. N. Danukalov, I. V. Golovanova, R. Yu. Sal'manova, N. P. Parfir'ev

Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 450077, Russia, Ufa, K. Marx street, 16/2, E-mail: danukalov@mail.ru

The paper presents the results of a paleomagnetic study of red-colored limestones of the Upper Riphean Katav Formation, as well as red-colored sandstones from the underlying and overlying Zilmerdak and Inzer Formations. If the primacy of the high-temperature component (HTC) of the Katav Formation magnetization, which was previously considered metachronous, is proved, this could become a good paleomagnetic reference point in the Neoproterozoic history of the Earth and would provide important information on the features of the behavior of the geomagnetic field in the Late Precambrian. In total,

Для цитирования: Данукалов К.Н., Голованова И.В., Сальманова Р.Ю., Парфирьев Н.П. Палеомагнитное изучение красноцветных пород верхнего рифея Южного Урала // Геологический вестник. 2020. № 3. С. 47–54. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-3.

For citation: Danukalov K.N., Golovanova I.V., Sal'manova R.Yu., Parfir'ev N.P. (2020) Paleomagnetic study of red-colored rocks of the Upper Riphean in the Southern Urals. *Geologicheskii vestnik*. No. 3. P. 47–54. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-3.

more than 500 oriented samples from 4 sections were studied. Laboratory studies were carried out in accordance with the currently generally accepted methodology, including thermal demagnetization and component analysis of the selected directions of magnetization. In all sections, it was possible to identify bipolar HTC of magnetization, the fold and reversal tests for which are confidently positive. The directions of magnetization in the Tolparovo and Karamaly sections are displaced approximately at 20° in declination relative to the directions in the Yuryuzan and Galyakberovo sections (as well as many other sections studied by the authors and other researchers). Perhaps this result is associated with tectonic movements. There is a regular shift in the mean direction of the HTC of magnetization upwards along the sections of Katav and Inzer Formations towards a decrease in inclination, which is a strong enough argument in favor of the primary magnetization of the Katav Formation rocks. In general, the results obtained confirm the point of view of V. Pavlov and I. Galle on the synchronism of Katav Formation limestones magnetization with its sedimentation time.

Key words: paleomagnetism, high temperature component of magnetization, Zijderveld diagram, Southern Urals, Upper Riphean, Katav Formation

Введение

Существует два взгляда на природу высоко-температурной биполярной компоненты намагниченности красноцветов позднерифейской катавской свиты. Начиная с работ Р.А. Комиссаровой и Н.Ф. Данукалова, проводившихся в 60–70-е годы прошлого столетия, принято считать, что эта намагниченность является метахронной [Комиссарова, 1970]. Такая точка зрения основана исключительно на близости направления этой намагниченности к направлению раннекаменноугольно-пермского геомагнитного поля на Южном Урале. В.Э. Павлов и И. Галле в 2009 г., детально изучив разрез катавской свиты в г. Миньяр [Павлов, Галле, 2009], пришли к достаточно аргументированному выводу, что ВТК намагниченности катавских известняков является синхронной породам. Однако, по мнению самих авторов, такая точка зрения требует дополнительного подтверждения.

Высокая вероятность получения достоверного результата при палеомагнитном доизучении известняков катавской свиты обусловлена очень хорошим качеством записи магнитного сигнала в них (в особенности, для таких древних пород), а также наличием в верхней части разреза уникально большого количества смен магнитной полярности. В случае доказательства синхронности образования ВТК намагниченности и катавской свиты эта часть разреза могла бы стать хорошим палеомагнитным репером в неопротерозойской истории Земли, а кроме того, это дало бы важную информацию об особенностях поведения геомагнитного поля в позднем докембрии.

Несмотря на то, что известняки катавской свиты в разное время изучались многими исследователями, систематическое их изучение с приме-

нием современной методики проводилось лишь С.В. Шипуновым [Шипунов, 1991, 1993] и В.Э. Павловым с соавторами. Однако С.В. Шипунов считал намагниченность этих известняков все же в первую очередь метахронной и поэтому отбирал относительно небольшое количество образцов с разных разрезов, а В.Э. Павлов подробно изучил только один миньярский разрез (хоть и очень полный).

Геология

Отложения верхнего рифея (каратавия) широко распространены на Южном Урале. Их мощность достигает 5500 м [Козлов и др., 2011]. В состав каратавской серии входят: зильмердакская, катавская, инзерская, миньярская и укская свиты (рис. 1). Одним из лучших маркирующих горизонтов рифея Южного Урала является катавская свита, благодаря особенностям литологического состава и биостратиграфической характеристике. Свита сложена известняками, часто содержащими строматолиты и микрофитолиты верхнерифейского комплекса, их глинистыми разностями и мергелями, и по особенностям состава и текстурным признакам расчленена на нижнюю и верхнюю подсвиты. Нижняя подсвита разделена на две толщи: нижнюю, представленную строматолитовыми известняками, мощностью до 80 м, и верхнюю, сложенную ленточнослоистыми пестроцветными известняками, мощностью от 150 до 200 м. Верхняя подсвита представлена «струйчатыми» известняками и имеет мощность около 50 м. Общая видимая мощность отложений катавской свиты колеблется от 200 до 400 м. К сожалению, возрастные пределы формирования отложений свиты определены недостаточно хорошо. В целом возраст свиты приблизительно оценивается как 800–900 млн лет. Накопление осадков катавской

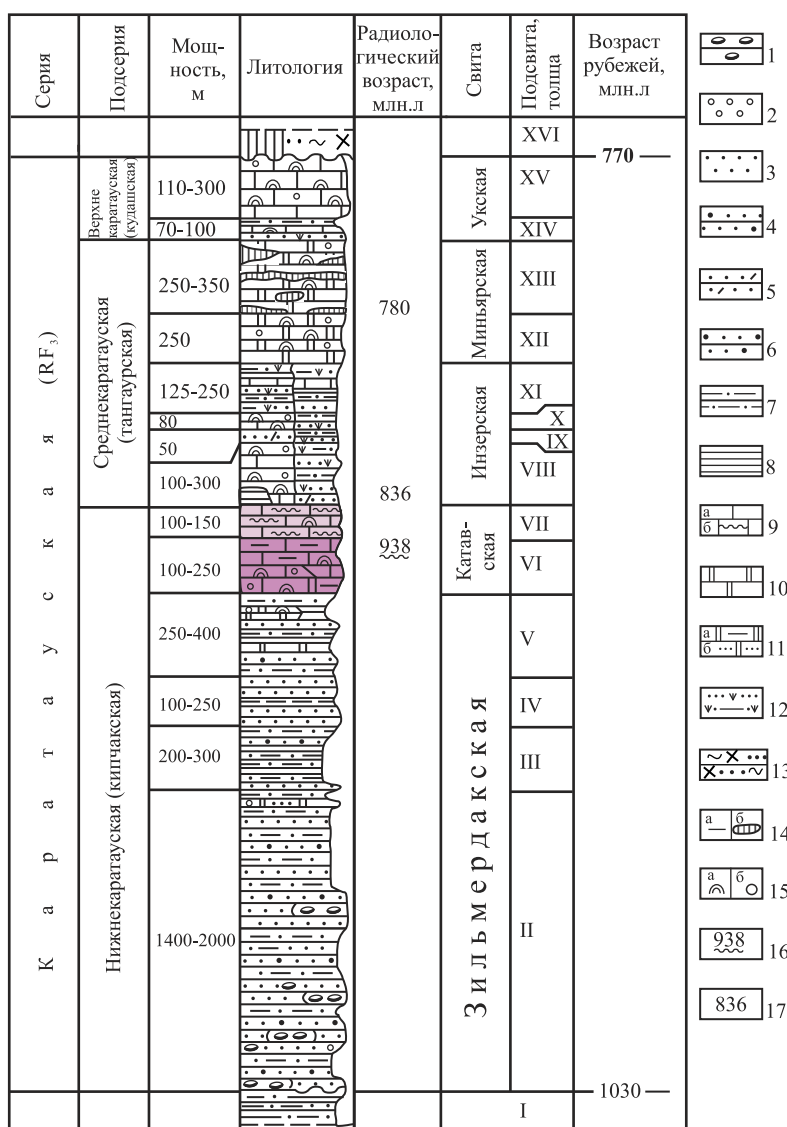


Рис. 1. Сводная стратиграфическая колонка каратауской серии верхнего рифея Южного Урала. По [Пучков и др., 2017]

Условные обозначения: 1 — конгломераты; 2 — гравелиты; 3–6 — песчаники (3 — кварцевые, 4 — полевошпат-кварцевые, 5 — полимиктовые, 6 — аркозовые); 7 — алевролиты; 8 — аргиллиты; 9 — известняки массивные (а) и струйчатые (б); 10 — доломиты; 11 — доломиты глинистые (а) и песчанистые (б); 12 — песчаники и алевролиты с глауконитом; 13 — серицит-хлорит-кварцевые сланцы; 14 — характеристика породы: а — глинистость, б — линзы кремней; 15 — органические остатки: а — строматолиты, б — микрофитолиты; 16–17 — изотопный возраст (млн лет): 16 — глауконита, К-Аг метод; 17 — породы, Rb-Sr метод. Стратиграфические подразделения: I — авзянская свита юрматинской серии среднего рифея; II–XV — свиты: II–V — зильмердакская свита, подсвиты: II — бирьянская, III — нугушская, IV — лемезинская, V — бедерышинская; VI, VII — катавская свита, подсвиты: VI — нижняя, VII — верхняя; VIII–XI — инзерская свита, подсвиты: VIII — нижняя (подинзерские слои), IX–XI — верхняя, толщи: IX — нижняя, X — средняя, XI — верхняя; XII–XIII — миньярская свита, подсвиты: XII — нижняя, XIII — верхняя; XIV, XV — укская свита, подсвиты: XIV — нижняя, XV — верхняя; XVI — байнасская свита аршинской серии завершающего рифея.

Fig. 1. Generalized stratigraphic column of the Karatau series of the Upper Riphean of the Southern Urals. According to [Puchkov et al., 2017].

Legend: 1 — conglomerates; 2 — gravelstones; 3–6 — sandstones (3 — quartz, 4 — feldspar-quartz, 5 — polymictic, 6 — arkozic); 7 — siltstones; 8 — shales; 9 — massive limestones (a) and laminar limestones (b); 10 — dolomites; 11 — dolomites clay (a) and sandy (b); 12 — sandstones and siltstones with glauconite; 13 — sericite-chlorite-quartz schists; 14 — Rock characteristic: a — argillaceous, b — lenses of chert; 15 — organic residues: a — stromatolites, b — microphytolites; 16–17 — isotope age (million years): 16 — glauconite, K-Ar method; 17 — rocks, Rb-Sr method. Stratigraphic subdivisions: I — Avzyan Formation of the Yurmata Series, Middle Riphean; II–XV — Formations: II–V — Zilmerdak Formation, subformations: II — Biryana, III — Nugush, IV — Lemeza, V — Bederysh; VI, VII — Katav, sub-suite: VI — lower, VII — upper; VIII–XI — Inzer Formation, subformations: VIII — lower (sub-Inzer layers), IX–XI — upper, units: IX — lower, X — medium, XI — upper; XII–XIII — Minyar Formation, subformations: XII — lower, XIII — upper; XIV, XV — Uk Formation, subformations: XIV — lower, XV — upper; XVI — Baynass Formation of the Arsha series of the terminal Riphean.

свиты происходило в мелководном морском бассейне в условиях относительно стабильного тектонического режима.

Методика исследований

С целью уточнения представлений о происхождении ВТК намагниченности катавской свиты нами было проведено дополнительное изучение 4 достаточно удаленных друг от друга фрагментов разреза катавских известняков: в окрестностях д. Толпарово (2 разреза: «Толпарово» и «Карамаль»), д. Галиакберово и г. Юрюзань (рис. 2). В разрезе «Галиакберово» изученная мощность отложенных составила 38 м, «Толпарово» — 92 м, «Юрюзань» — 121 м.

Всего было отобрано более 400 образцов известняков катавской свиты и более 100 образцов песчаников ниже- и вышележающих зильмердакской и инзерской свит, сгруппированных в общей сложности в 69 сайтов. Образцы были подвергнуты детальной температурной чистке до 700°C (где это было необходимо). Далее были построены диаграммы Зийдервельда и выполнен компонентный анализ с помощью пакета программ Р. Энкина [Enkin,

1994]. Графические построения проведены при помощи программы Ж.-П. Конье [Cogné, 2003].

Результаты и их обсуждение

На диаграммах Зийдервельда (рис. 3) выделяются, как правило, две компоненты намагниченности: низкотемпературная и высокотемпературная. Направление низкотемпературной компоненты близко к направлению современного геомагнитного поля. Носителями ВТК намагниченности являются преимущественно гематит и реже магнетит. В тех случаях, когда намагниченность обусловлена присутствием обоих минералов, «магнетитовая» и «гематитовая» компоненты намагниченности практически совпадают по направлению. Тесты обращения и складки (последний проведен на ранее отобранном разрезе, находящемся вблизи дороги на с. Бианка) дают уверенно положительный результат.

На стереограмме (рис. 4) приведены осредненные по сайтам направления ВТК намагниченности разреза «Галиакберово» в стратиграфической системе координат, которые неплохо иллюстрируют положительный тест обращения и хорошую кучность направлений в сайтах и с северо-восточными, и с юго-западными значениями магнитного склонения.

На графике (рис. 5) приведено сравнение распределений направлений ВТК намагниченности в разрезе «Миньяр» (по В.Э. Павлову), «Юрюзань» и «Гали-

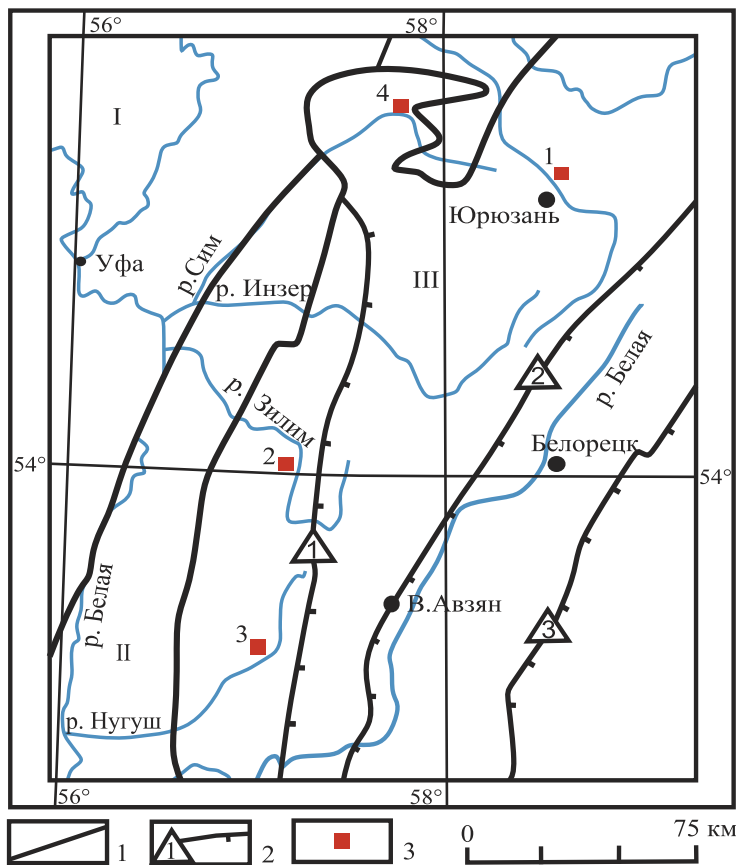


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема Башкирского мегантиклинория Южного Урала и смежных районов с указанием опробованных разрезов

Условные обозначения: 1 — границы основных структурно-тектонических подразделений: I — Восточно-Европейской платформы, II — Предуральянского краевого прогиба, III — Уральской складчатой системы; 2 — главные разломы: 1 — Зильмердакский, 2 — Зюраткульский, 3 — Главный Уральский; 3 — опробованные разрезы: 1 — «Юрюзань», 2 — «Толпарово», 3 — «Галиакберово», 4 — «Миньяр».

Fig. 2. Structural-tectonic scheme of the Bashkir meganticlinorium of the Southern Urals and adjacent areas with indication of the tested sections

Legend: 1 — boundaries of the structural-tectonic divisions: I — East European Platform, II — Preuralian foredeep, III — Uralian foldbelt; 2 — main tectonic faults: 1 — Zilmerdak, 2 — Zuratkul, 3 — Main Uralian; 3 — tested sections: 1 — “Yuryuzan”, 2 — “Tolparovo”, 3 — “Galyakberovo”, 4 — “Minyar”.

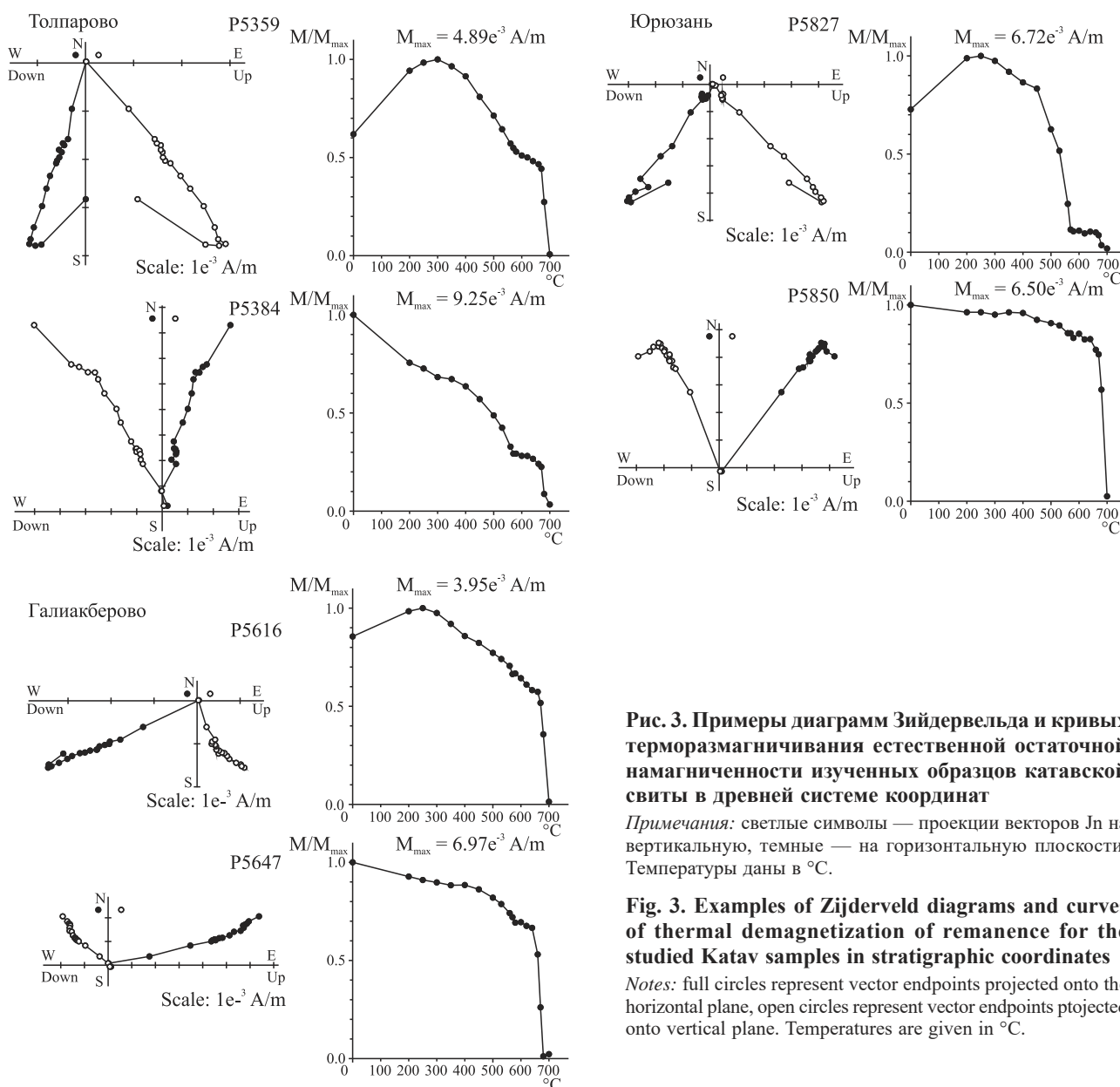


Рис. 3. Примеры диаграмм Зийдервельда и кривых терморазмагничивания естественной остаточной намагниченности изученных образцов катавской свиты в древней системе координат

Примечания: светлые символы — проекции векторов J_p на вертикальную, темные — на горизонтальную плоскость. Температуры даны в °C.

Fig. 3. Examples of Zijderveld diagrams and curves of thermal demagnetization of remanence for the studied Katav samples in stratigraphic coordinates

Notes: full circles represent vector endpoints projected onto the horizontal plane, open circles represent vector endpoints projected onto vertical plane. Temperatures are given in °C.

акберово» (см. рис. 2). На наш взгляд, наблюдается неплохая корреляция между значениями направлений во всех трех разрезах.

Осредненные по сайтам направления ВТК для разных разрезов составляют: $N=19$, $D=219.9^\circ$, $I=-33.2^\circ$, $k=25.6$, $\alpha_{95}=6.8^\circ$ (Юрюзань); $N=13$, $D=224.8^\circ$, $I=-22.9^\circ$, $k=42.1$, $\alpha_{95}=6.5^\circ$ (Галиакберово); $N=14$, $D=201.4^\circ$, $I=-29.5^\circ$, $k=41.6$, $\alpha_{95}=6.2^\circ$ (Толпарово); $N=7$, $D=193.2^\circ$, $I=-33.1^\circ$, $k=81.1$, $\alpha_{95}=6.7^\circ$ (Карамалы).

На стереограмме (рис. 6) видно, что направления ВТК в разрезах «Толпарово» и «Карамалы» смещены приблизительно на 20° по склонению относительно направлений ВТК в разрезах «Юрюзань»

и «Галиакберово» (а также десятка других разрезов, изученных как авторами, так и другими исследователями). Похожее направление по малому количеству образцов получены С.В. Шипуновым в разрезах «Толпарово» и «Карамалы». Возможно, такой результат связан с тектоническими перемещениями (в непосредственной близости находится разлом).

Представляет интерес сравнение направлений ВТК в катавских известняках снизу вверх по разрезу «Юрюзань» (включая верхнюю часть разреза «Галиакберово») и в инзерских песчаниках (разрез «Галиакберово»). Снизу вверх по разрезам наблюдается достаточно закономерное смещение среднего направления в сторону уменьшения наклона

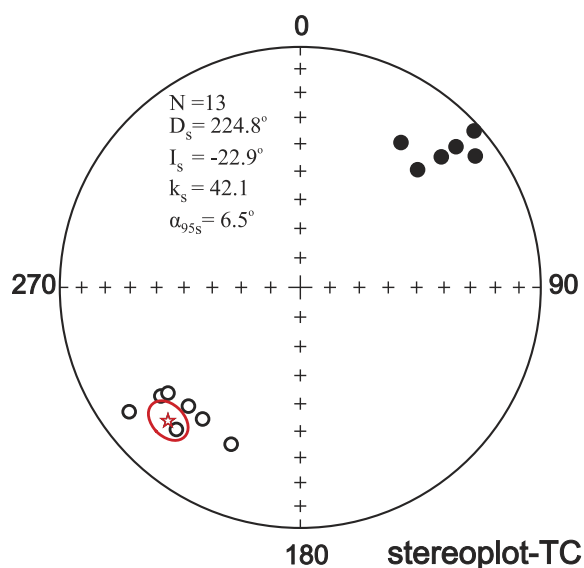


Рис. 4. Направления высокотемпературной компоненты намагниченности разреза «Галиакберово» в стратиграфической системе координат

Примечания: каждая точка представляет отдельный сайт, красная звездочка с овалом доверия — среднее направление по разрезу.

Fig. 4. Directions of the high-temperature magnetization component of the “Galyakberovo” section in stratigraphic coordinates

Notes: each point represents a separate site, a red star with an oval of confidence — the average direction along the section.

(рис. 7), причем общая величина смещения по наклону от низов катавской свиты до низов инзерской свиты составляет почти 40° . Кроме того, средние направления ВТК в верхней части разрезов катавской свиты уже не очень похожи на пермско-позднекаменноугольные, а «инзерские» направления просто совсем не похожи. К сожалению, качество палеомагнитной записи в образцах зильмердакской свиты оставляет желать лучшего. Тем не менее среднее направление ВТК в 4 сайтах из 6 изученных, представляющих эту свиту (даже с учетом очень большого овала доверия), значительно отличается от такового для катавской свиты.

Выводы

1. Получены новые достаточно надежные палеомагнитные данные по четырем удаленным друг от друга разрезам катавской свиты, а также ниже- и вышележащих зильмердакской и инзерской свит.
2. По нашему мнению, полученные результаты, особенно закономерный тренд направлений ВТК снизу вверх по разрезу, являются достаточно сильным аргументом в пользу первичности намагниченности пород катавской свиты.
3. Таким образом, результаты нашей работы дополняют и уточняют данные предыдущих исследова-

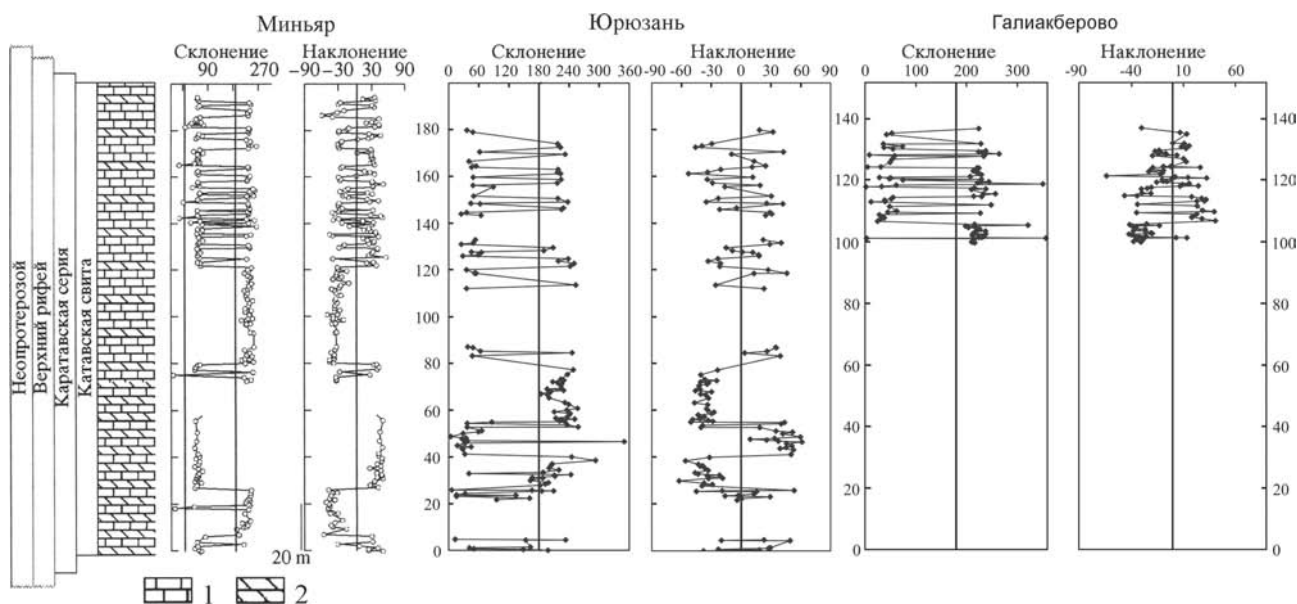


Рис. 5. Сравнение распределений направлений намагниченности в разрезах «Миньяр», «Юрюзьян» и «Галиакберово»

Условные обозначения: 1 — известняки, 2 — мергели и глинистые известняки.

Fig. 5. Comparison of distributions of magnetization directions in the “Minyar”, “Yuryuzan”, and “Galyakberovo” sections

Legend: 1 — limestones, 2 — marls and clayey limestones.

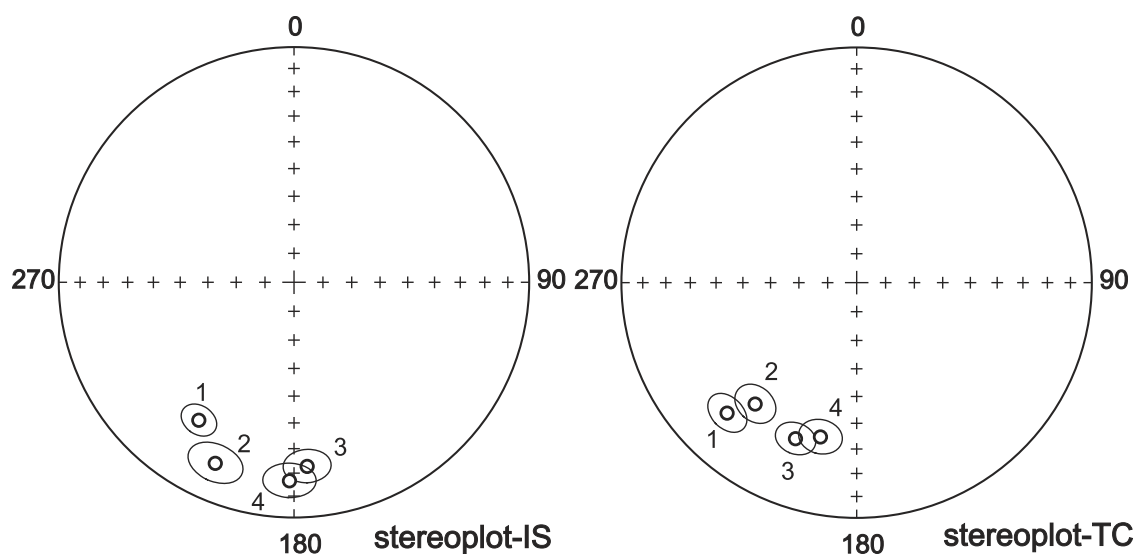


Рис. 6. Средние направления ВТК изученных разрезов катавской свиты в древней системе координат

Примечания: 1 — «Юрюзань», 2 — «Галиакберово», 3 — «Толпарово», 4 — «Карамалы».

Fig. 6. Average directions of high-temperature component (HTC) of the studied Katav sections in stratigraphic coordinates

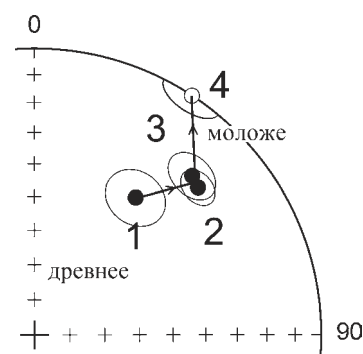
Notes: 1 — “Yuryuzan”, 2 — “Galyakberovo”, 3 — “Tolparovo”, 4 — “Karamaly”.

Рис. 7. Закономерное смещение направления ВТК намагниченности снизу вверх по разрезам катавской (1–3) и инзерской (4) свит

Примечания: 1 — разрез «Юрюзань» (нижняя и средняя части), 2 — разрез «Юрюзань» (верхняя часть), 3 — разрез «Галиакберово» (верхняя часть), 4 — разрез «Галиакберово» (инзерская свита).

Fig. 7. Regular displacement of the HTC direction upwards along the sections of the Katav (1–3) and Inzer (4) Formations

Notes: 1 — “Yuryuzan” section (lower and middle parts), 2 — “Yuryuzan” section (upper part), 3 — “Galyakberovo” section (upper part), 4 — “Galyakberovo” section (Inzer Formation).



дований и в целом подтверждают точку зрения В.Э. Павлова и И. Галле о синхронности ВТК намагниченности известняков катавской свиты.

PS. Прошедшим летом мы еще раз, но более подробно (с интервалом 20 см) отобрали разрез катавской свиты в окрестностях г. Юрюзань. Надеемся, что это позволит получить новую интересную информацию о поведении геомагнитного поля в верхнем протерозое.

Благодарности: Авторы признательны Сергеевой Н.Д. за ценные консультации и практическую помощь при проведении полевых работ.

Палеомагнитная часть работы выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-05-00631, материалы по геологии западной части Южного Урала собраны и обобщены в рамках темы государственного задания № 0246-2019-0087.

Список литературы:

Козлов В.И., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Нехорошева А.Г., Бушарина С.В. Аршиний – новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала // Геологический сборник № 9 / ИГ УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. С. 3–8.

Комиссарова Р.А. Исследование древней намагниченности некоторых осадочных пород Южного Урала в связи с проблемой метахронного перемагничивания: Дис. ... канд. физ.-мат. наук / ИФЗ АН СССР. М., 1970. 140 с.

Павлов В.Э., Галле И. Известняки катавской свиты: уникальный пример перемагничивания или идеальный регистратор неопротерозойского геомагнитного поля? // Физика Земли. 2009. № 1. С. 33–43.

Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А. Стратиграфическая схема стратотипа рифея Южного Урала // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2017. № 23. С. 3–26.

Шипунов С.В. Палеомагнетизм катавской свиты, Южный Урал // Физика Земли. 1991. № 5. С. 38–50.

Шипунов С.В. Основы палеомагнитного анализа: Теория и практика. М.: Наука, 1993. 160 с. (Труды ГИН РАН; Вып. 487).

Cogné J.P. PaleoMac: a Macintosh application for treating paleomagnetic data and making plate reconstructions // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2003. Vol. 4, No. 1. article No. 1007. DOI: 10.1029/2001GC000227.

Enkin R.I. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre. Geological Survey of Canada, 1994. 16 p.

References:

Cogné J.P. (2003) PaleoMac: A Macintosh™ application for treating paleomagnetic data and making plate reconstructions. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 4(1), article 1007, doi:10.1029/2001GC000227.

Enkin R.I. (1994) A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre. Geological Survey of Canada, 16 p.

Komissarova R.A. (1970) *Issledovanie drevnei namagnichennosti nekotorykh osadochnykh porod Yuzhnogo Urala v svyazi s problemoi metakhronnogo peremagnichivaniya. Dis. cand. fiz.-mat. nauk* [Study of the ancient magnetization of some sedimentary rocks of the Southern Urals in connection with the problem of metachronous magnetization reversal.

Cand. phys.-mat. sci. dis.]. Moscow, IFZ AN SSSR, 140 p. (In Russian).

Kozlov V.I., Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Nekhorosheva A.G., Busharina S.V. (2011) Arshinian – new stratigraphic unit of Riphean in stratotypic sequences of the Southern Urals. *Geologicheskii sbornik No. 9 IG UNC RAN* [Geological collection No. 9 IG USC RAS] Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 3-8. (In Russian).

Pavlov V.E., Galle I. (2009) Katav limestones: a unique example of remagnetization or an ideal recorder of the Neoproterozoic geomagnetic field? *Fizika Zemli – Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, (1), 33-43. (In Russian).

Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Krasnobaev A.A. (2017) Stratigraphic scheme of the Riphean standard of the Southern Urals. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnykh resursov AN RB – Geology. Bulletin of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, (23), 3-26. (In Russian).

Shipunov S.V. (1991) Paleomagnetism Katav Formation, Southern Urals. *Fizika Zemli – Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, (5), 38-50. (In Russian).

Shipunov S.V. (1993) *Osnovy paleomagnitnogo analiza: Teoriya i praktika* [Basics of paleomagnetic analysis: Theory and practice]. Moscow, Nauka Publ., 160 p. (proceedings GIN RAS, Issue 487) (In Russian).

Сведения об авторах:

Данукалов Константин Николаевич, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ИГ УФИЦ РАН, E-mail: danukalov@mail.ru

Голованова Инесса Владимировна, доктор физ.-мат. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ИГ УФИЦ РАН, E-mail: golovanova@ufaras.ru

Сальманова Раушания Юрисовна, кандидат физ.-мат. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ИГ УФИЦ РАН, E-mail: vrushana@mail.ru

Парфирьев Никита Петрович, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ИГ УФИЦ РАН, E-mail: Parfirjev nikita@yandex.ru

About the authors:

Danukalov Konstantin Nikolaevich, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, IG UFRC RAS, E-mail: danukalov@mail.ru

Golovanova Inessa Vladimirovna, doctor of physical and mathematical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, IG UFRC RAS, E-mail: golovanova@ufaras.ru

Sal'manova Raushaniya Yurisoovna, candidate of physical and mathematical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, IG UFRC RAS, E-mail: vrushana@mail.ru

Parfir'ev Nikita Petrovich, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, IG UFRC RAS, E-mail: Parfirjev nikita@yandex.ru