Научная статья
УДК 550.384.5
DOI: 10.31084/2619-0087/2022-2-5

ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКОЕ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ — НЕЗАВИСИМЫЙ ИНДИКАТОР ПРОТЕКАНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

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

Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2

Анализ компонент вторичной намагниченности (позднепалеозойское перемагничивание) позволяет проследить формирование Южно-Уральской складчатой системы. В работе представлены новые данные по позднепалеозойскому перемагничиванию пород Южного Урала. Результаты палеомагнитного изучения пород в различных структурных зонах Южного Урала, полученных, начиная с 2009 года, были заново пересмотрены и дополнены для выделения вторичной компоненты намагниченности. Совместный анализ полученных результатов и ранее опубликованных данных по позднепалеозойскому перемагничиванию показывает, что в западном сегменте западного склона Южного Урала среднетемпературная компонента намагниченности (СТК) была приобретена до или на начальных стадиях деформации. Напротив, СТК, наблюдаемая в восточном сегменте, возникла после складчатости. В западной части Магнитогорской зоны в породах девонского возраста средняя по всем сайтам СТК послескладчатая. Деформации здесь произошли задолго до заключительной стадии развития Урала, скорее всего, в конце девона — начале карбона. В Магнитогорско-Богдановском грабене в породах раннекаменноугольного возраста СТК возникла в процессе деформации или незадолго до него и на начальных его этапах. Фиксируемое в палеомагнитной записи позднепалеозойское перемагничивание имеет региональный характер и, вероятно, отражает коллизионное событие заключительного этапа эволюции Уральского палеоокеана. Коллизионные процессы, происходившие на Южном Урале с позднего девона до поздней перми, несомненно, оставили свой след в западных структурах (в современных координатах). В пределах пассивной окраины Балтики коллизия привела к формированию латеральной серии складчато-надвиговых структур. Они начинались от Главного Уральского разлома на запад, с возможным постепенным прекращением этого процесса в направлении Предуральского краевого прогиба. Палеомагнитные результаты данной работы подтверждают эти предположения.

Ключевые слова: палеомагнетизм, Южный Урал, позднепалеозойское перемагничивание.

Благодарности: Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2022–0013.

Original article

LATE PALEOZOIC REMAGNETISATION AS AN INDEPENDENT INDICATOR OF TECTONIC PROCESSES IN THE SOUTHERN URALS

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

Analysis of secondary magnetization components (Late Paleozoic remagnetization) makes it possible to trace the formation of the Southern Urals folded system. The paper presents new data on the Late

Для цитирования: *И. В. Голованова, К. Н. Данукалов, Р. Ю. Сальманова* Позднепалеозойское перемагничивание — независимый индикатор протекания тектонических процессов на Южном Урале // Геологический вестник. 2022. №2. С. 56–68. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-2-5

For citation: I. V. Golovanova, K. N. Danukalov, R. Yu. Sal'manova (2022) Late paleozoic remagnetisation as an independent indicator of tectonic processes in the Southern Urals. *Geologicheskii vestnik*. 2022. No. 2. P. 56–68. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-2-5

Paleozoic remagnetization of rocks in the Southern Urals. The results of the paleomagnetic study of rocks in various structural zones of the Southern Urals, obtained since 2009, were revised and supplemented again to identify the remagnetization component. Combined analysis of the newly obtained results and previously published data on Late Paleozoic remagnetization shows that in the western segment of the western slope of the South Urals the intermediate-temperature magnetization component (ITC) was acquired prior to or at the initial stages of deformation. In contrast, the ITC observed in the eastern segment arose after folding. In the western part of the Magnitogorsk zone in Devonian-age rocks, the average for all sites is post-folding. Deformations here occurred long before the final stage of the development of the Urals, most likely in late Devonian — early Carboniferous. In the Magnitogorsk-Bogdanovsky graben, in the early Carboniferous rocks, ITC has arisen during the process of deformation or shortly before it and at its initial stages. The Late Paleozoic remagnetisation identified in the paleomagnetic records is regional in nature and probably reflects a collisional event of the final stage of the evolution of the Ural Paleocean. Collision processes which occurred in the Southern Urals from the Late Devonian until the Late Permian time had undoubtedly left their trace in the western structures (in present-day coordinates). Within the passive margin of Baltica the collision resulted in the formation of a lateral series of fold-and-thrust structures. They started from the Main Uralian Fault westward, with possible gradual termination of this process towards the Pre-Uralian Foredeep. Paleomagnetic results of this research work support these assumptions.

Keywords: paleomagnetism, South Urals, Late Paleozoic remagnetization.

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the State Assignment of IG UFIC RAS No. FMRS-2022–0013.

Введение

Палеомагнитные данные могут помочь в изучении истории формирования орогенов, в том числе в определении характера и масштабов деформаций на завершающих стадиях. Палеомагнитные исследования на Южном Урале показали, что практически во всех изученных разрезах и палеозойских, и докембрийских отложений присутствует позднепалеозойская компонента намагниченности [Данукалов и др., 1983; Храмов и др., 1982; Свяжина и др., 2003; Levashova et al., 2013]. Известно всего несколько работ, в которых обобщаются и анализируются данные о вторичной намагниченности пород для отдельных участков [Levashova et al., 2013; Голованова и др., 2017], однако систематический анализ для всей территории не проводился. Авторам известна только работа С. В. Шипунова [1998], который проанализировал последовательность складчатости в этом регионе на примере катавской свиты, считая ее намагниченность метахронной. Однако возраст естественной остаточной намагниченности пород катавской свиты, направление которой близко к направлениям позднепалеозойского возраста ставится под сомнение. В последнее время получены доказательства синхронности намагниченности пород катавской свиты времени ее образования [Павлов, Галле, 2009; Данукалов и др., 2020]. В данной работе представлен новый анализ наших данных о вторичных позднепалеозойских компонентах намагниченности пород в различных структурных зонах Южного Урала, полученных начиная с 2009 года. Предпринята попытка использования позднепалеозойского перемагничивания для изучения времени и последовательности деформаций, происходивших в пределах пассивной континентальной окраины Восточно-Европейской платформы (палеоконтинент Балтика) и западной и центральной частей Магнитогорской зоны при формировании Уральского орогена.

Объекты и методика исследований

В самых общих чертах Урал является результатом коллизии докембрийского Восточно-Европейского и палеозойского Казахстанского континентов и отчетливо распадается на две части, разделенные Главным Уральским разломом [Пучков, 2003]. Западно-Уральская окраина Восточно-Европейского континента начала формироваться в позднем кембрии-раннем ордовике, оставалась пассивной вплоть до конца девона, а в карбоне и перми была деформирована при формировании Уральского складчато-надвигового пояса. Восточная часть Урала представляет собой сложный коллаж океанических, островодужных и микроконтинентальных блоков, формировавшийся с позднего девона. Ранее было показано, что, поскольку западные тектонические образования Урала являются частью кратонной окраины Балтики, деформированной в пермское время [Пучков, 2003], мы можем экстраполировать палеомагнитные данные с западного склона Урала на всю Балтику [Levashova et al., 2013; Голованова и др., 2017].

Нами проводились палеомагнитные исследования верхнепротерозойских и палеозойских пород различного состава в нескольких тектонических зонах Южного Урала (рис. 1). По возможности рассматривались тектонически ненарушенные разрезы, представляющие собой полные последовательности и комплексно охарактеризованные различными группами фауны. Образцы отбирались в каждой из изученных структурных зон в субмеридиональной полосе для того, чтобы охарактеризовать зону. Полученные по отдельным зонам данные сравнивались между собой.

В западной части Западно-Уральской мегазоны было опробовано 14 разрезов на участке протяженностью 210 км в меридиональном направлении [Голованова и др., 2017]. В каждом разрезе отбиралось от 14 до 40 образцов, ориентированных с помощью горного компаса. В некоторых случаях большие коллекции из единого разреза делились на сайты (от одного до нескольких сайтов). В пределах Западно-Уральской зоны передовой складчатости были изучены мергели и органогенные известняки франского (D_3fr) и фаменского (D_3fm) ярусов и темно-серые известняки каменноугольного возраста вдоль новой дороги Стерлитамак-Магнитогорск недалеко от села Макарово, а также вдоль рек Раузяк, Куккараук, Сиказа. Опробован разрез песчаников и известняков девонской системы, охватывающий интервал от такатинской свиты (D_1tk) и до мендымской толщи (D_3md), вдоль железной дороги близ деревни Габдюково. В пределах Башкирского мегантиклинория отобраны глауконитовые песчаники нижнеукской подсвиты укской свиты верхнего рифея (RF_3uk_1) близ деревни Кулмас, вдоль дороги Уфа-Белорецк. В Зилаирском синклинории в западном крыле синклинория вдоль широтного течения р. Белой отобраны доломиты силурийского и девонского возрастов в окрестностях деревень Максютово и Иргизлы. В пределах Каратауского поднятия отобраны образцы алевролитов и песчаников зиганской свиты позднего венда вдоль железной дороги в окрестностях г. Усть-Катав; темно-серых органогенных известняков фаменского яруса (D_3fm) близ деревни Орловка; доломитизированных известняков франского яруса (D_3fr) вдоль дороги Симская-Миньяр); нижнепермских мелкозернистых песчаников с карбонатным цементом на разрезе «Доменный» в окрестностях г. Сим.

В Центрально-Уральской мегазоне изучены верхнепротерозойские и палеозойские разрезы

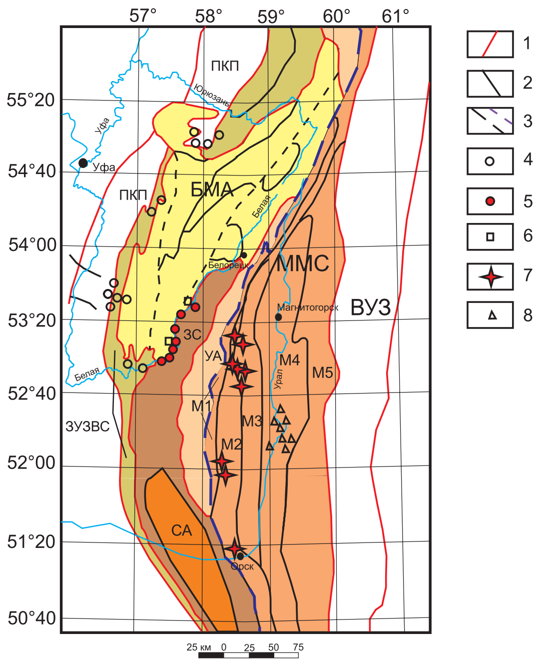

Рис. 1. Структурно-тектоническая карта Южного Урала по [Геологическая…, 2002] с упрощением.

Условные обозначения и сокращения: 1 — граница между структурами 1 порядка; 2 — граница между структурами 2 порядка; 3 — крупнейшие тектонические разломы; толстая пунктирная линия — Главный Уральский разлом; 4–8 — опробованные разрезы: 4 — в западной части Западно-Уральской мегазоны; 5 — в Центрально-Уральской мегазоне, вдоль западной части Зилаирского синклинория; 6 — там же, данные Е. В. Виноградова [2016]; 7 — в Западно-Магнитогорской зоне; 8 — в Магнитогорско-Богдановском грабене в Центрально-Магнитогорской зоне.

Обозначения на карте: ПКП — Предуральский краевой прогиб. ЗУЗВС — Западно-Уральская зона внешней складчатости. БМА — Башкирский мегантиклинорий. ЗС — Зилаирский синклинорий. УА — Уралтауский антиклинорий. ММС — Магнитогорский мегасинклинорий: М1, М2, М3 — Западно-Магнитогорская зона (М1 — Вознесенско-Присакмарская подзона; М2 — Ирендыкская подзона; М3 — Кизило-Уртазымская подзона); М4 — Центрально-Магнитогорская зона; М5 — Восточно-Магнитогорская зона; ВУЗ — Восточно-Уральская зона.

Fig. 1. Schematic map of the South Urals after [Geologicheskaya…, 2002], simplified.

Legend: 1 — boundary between the 1-order structures; 2 — boundary between the 2-order structures; 3 — the largest tectonic faults, thick dashed line is the Main Uralian Fault. 4–8 — sampling sites: 4 — in the western part of the West Ural megazone; 5 — in the Central Ural megazone, along the western part of the Zilair synclinorium; 6 — ibid., data of E. V. Vinogradov [2016]; 7 — in the West Magnitogorsk zone; 8 — in the Magnitogorsk-Bogdanovsky graben in the Central Magnitogorsk Zone.

Designations on the map: ПКП — Pre-Uralian foredeep (PUF); ЗУЗВС — West Uralian frontal folding zone (WUFFZ); БМА — Bashkir Meganticlinorium (BMA); ЗС — Zilair Synclinorium (ZS); УА — Uraltau Anticlinorium (UA); ММС — Magnitogorsk Megasynclinorium (MMS): M1, M2, M3 — West Magnitogorsk zone (M1 — Voznesensk-Prisakmarskaya Subzone; M2 — Irendyk Subzone; M3 — Kizil-Urtazym Subzone); M4 — Central Magnitogorsk Zone; M5 — East Magnitogorsk Zone; ВУЗ — East Uralian Zone (EUZ).

различных типов пород вдоль западной части Зилаирского синклинория в широтном и верхнем меридиональном течении р. Белая [Golovanova et al., 2019]. В разрезах Апшак и Кривая Лука опробованы верхнерифейские и вендские песчаники, алевролиты и аргиллиты, а также дайка диабазов. Осадочные породы ордовика изучены в разрезах у деревень Набиево, Кургашлы, Миндигулово и Киекбаево — доломиты, доломитистые песчаники и аргиллиты. Силурийские отложения исследованы в разрезах у д. Миндигулово — доломиты и аргиллиты, и у д. Киекбаево — доломиты окварцованные. Осадочные породы девона изучены в разрезах Кага и Миндигулово. В долине р. Белой у пос. Кага отобраны известняки иргизлинской свиты, кварцевые песчаники ваняшкинской свиты, черные битуминозные известняки с глинистыми прослоями вязовской свиты и койвинские известняки. Однако песчаники ваняшкинской свиты оказались непригодными для лабораторных исследований, т. е. не дали палеомагнитных результатов. Небольшая группа образцов доломитов нижнего девона была отобрана в разрезе Миндигулово. Всего отобрано 239 образцов, сгруппированных в 24 сайта.

В Западно-Магнитогорской зоне Магнитогорского мегасинклинория были отобраны образцы нижне-среднедевонского возраста в полосе протяженностью ~250 км с севера на юг [Голованова и др., 2018 и новые данные]. Все изученные толщи датированы по конодонтовой фауне [Маслов, Артюшкова, 2010]. Опробованы разрезы на участках Хворостянка, Шанхай, Кулукасовская мельница, Байдаган, Старый Сибай, Юлдашевском, Репинском, в районе д. Мустаево, г. Траташ, г. Бугалгор (Бугылыгыр). Породы имеют возраст в интервале D_1e_2 — D_2ef_2. Изученные породы в первую очередь представлены основными вулканитами и красноцветными яшмоидами, встречаются кислые лавы, туфопесчаники. Опробовано около 900 образцов вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, разбитых на 85 сайтов, из 15 разрезов.

В Центрально-Магнитогорской зоне в пределах Магнитогорско-Богдановского грабена опробовано 7 разрезов основных и кислых лав (C_1) на участках, расположенных в районе р. Урал от устья р. Греховка до устья р. Караганка. Всего изучено более 400 образцов, сгруппированных в 51 сайт, [Данукалов и др., 2018; Golovanova et al., 2019].

Отбор образцов производился вручную — штуфами. Ориентировка образцов осуществлялась с использованием горного компаса.

Лабораторные палеомагнитные исследования выполнялись в Институте геологии УФИЦ РАН (Уфа) в соответствии со стандартной методикой [Zijderveld, 1967; Храмов и др, 1982; McFadden, McElhinny, 1990; Enkin, 1994; Tauxe et al., 2016]. Для выделения компонент естественной остаточной намагниченности был выбран метод температурной чистки, подразумевающий разделение вектора естественной остаточной намагниченности J_n на компоненты по их стабильности к воздействию высоких температур. Все образцы были подвергнуты детальной температурной чистке до полного размагничивания, обычно до 600–700°C. Число шагов чистки составляло 15–20. Для размагничивания образцов использовалась немагнитная печь TD-48 (ASC Scientific, США), с остаточным магнитным полем в области размещения образцов не более 10 нТл. Естественная остаточная намагниченность (J_n) и ее компоненты, выделяемые при магнитной чистке, измерялись на спин-магнитометрах JR-4 и JR-6 (AGICO, Чехия), уровень шума 0.005 mA/m. Для части коллекции (разрезы Кага, Набиуллино, Кургашлы, Миндигулово) измерения естественной остаточной намагниченности выполнены на криогенном (SQUID) магнитометре в Лаборатории Главного геомагнитного поля и Петромагнетизма Института физики Земли РАН имени О. Ю. Шмидта. Обработка результатов измерений выполнялась при помощи пакетов программ Р. Энкина и Ж.-П. Конье [Enkin, 1994; Cogne, 2003], которые при выделении компонент используют метод PCA [Kirschvink, 1980]. В предыдущих работах основное внимание уделялось выделению высокотемпературной компоненты намагниченности и обоснованию ее первичности. В данной работе результаты были заново пересмотрены и дополнены для анализа вторичной компоненты намагниченности.

Результаты

Изученные породы Западно-Уральской и Центрально-Уральской мегазон слабомагнитны. Естественная остаточная намагниченность отложений (J_n) варьирует от 0.1 до 12.3 мА/м, большей частью не превышая 1.5 мА/м. Магнитная восприимчивость меняется от 0.1 до 20 × 10^{-5} СИ, обычно не выше 2.5 × 10^{-5}. При нагреве до 200–250°C разрушается нестабильная компонента намагниченности, направления которой хаотичны (рис. 2). Вероятнее всего, она является суммой вязкой и так называемой лабораторной намагниченно-

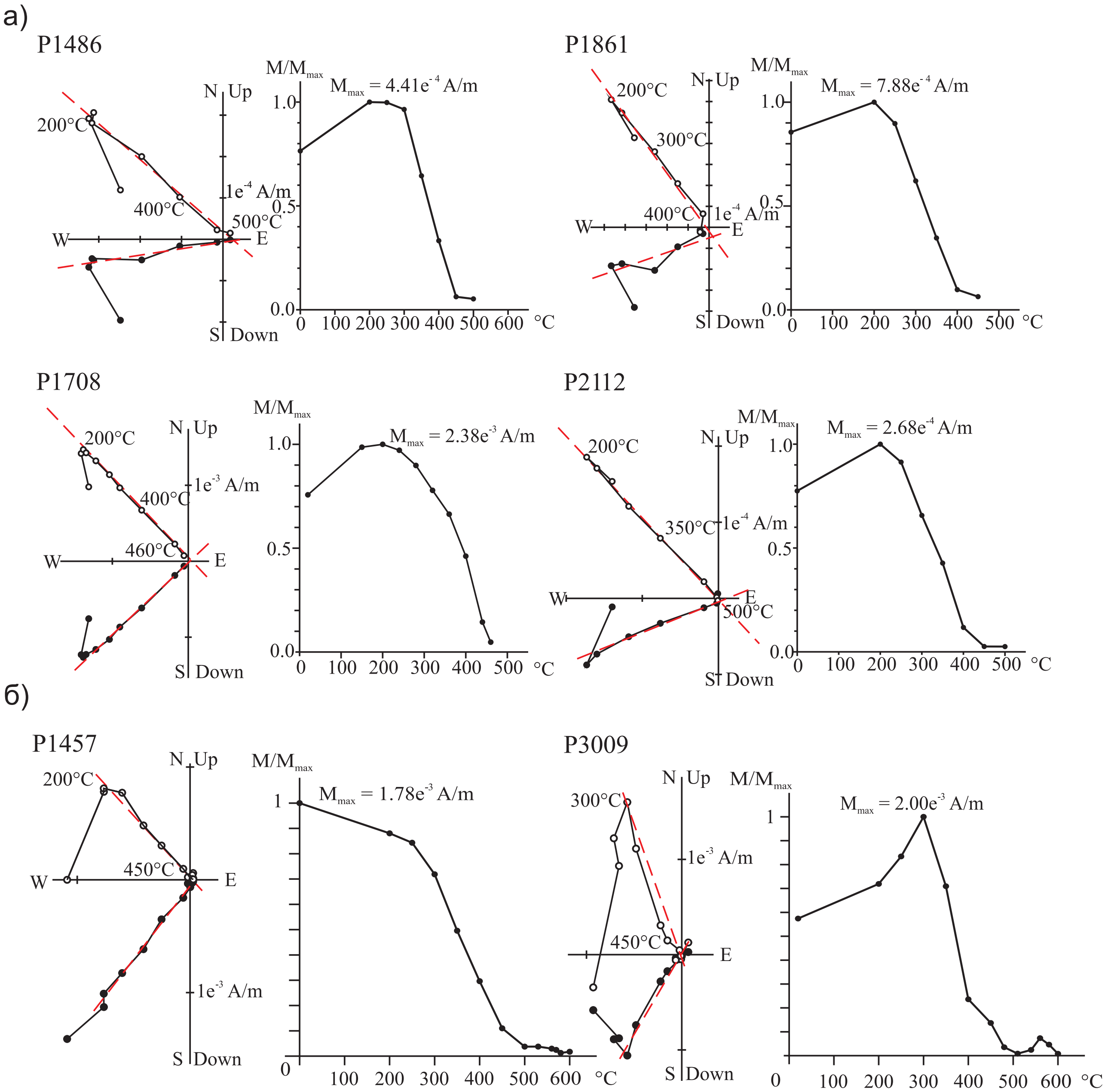

Рис. 2. Примеры температурной чистки образцов из разрезов Западного склона Южного Урала: а) в западной части Западно-Уральской мегазоны; б) в Центрально-Уральской мегазоне.

Показаны диаграммы Зийдервельда в древней системе координат и нормализованные кривые разрушения J_n. Пунктиром показаны выделенные компоненты намагниченности. Светлые символы — проекции векторов J_n на вертикальную, темные — на горизонтальную плоскости. Температуры даны в °С.

Fig. 2. Examples of thermal demagnetization plots of the samples from sections of the Western slope of the Southern Urals: a) in the western part of the Western Urals megazone; b) in the Central Ural megazone.

The Zijderveld diagrams in the stratigraphic coordinate system and the normalized destruction curves of natural magnetization are shown. The dashed line shows the selected magnetization components. The light and dark symbols correspond to the projections of the J_n vectors on the horizontal and vertical planes, respectively. Temperatures are given in °C.

стей. В некоторых образцах при нагреве выше 250°С другие компоненты не выделяются, однако в большей части коллекции надежно выделяется среднетемпературная компонента (СТК) намагниченности в интервале от 300–350 до 510–540°С, иногда до 600°С, часто составляющая более 90% остаточной намагниченности. Во всех изученных образцах СТК имеет обратную полярность. После ее удаления намагниченность уменьшается практически до нуля, и только в единичных образцах можно подозревать присутствие еще одной компоненты в интервале температур от 450 до 600°С, но определить ее направление не удается. Аналогичные результаты получены Е. В. Виноградовым [Виноградов, 2016], при изучении образцов из 6 сайтов, отобранных в ордовикско-силурийских отложениях Западно-Зилаирской зоны. Судя по результатам терморазмагничивания и петромагнитным данным из предшествующих работ [Данукалов и др., 1983; Стратотип …, 1982], носителем СТК во всех образцах является магнетит.

Отметим, что наши результаты не всегда совпадают с опубликованными данными предшественников. И. А. Свяжина, изучавшая палеомагнетизм отложений ордовика в районе д. Байназарово (район д. Набиево и д. Кургашлы) [Свяжина и др., 2003], выделяла также более высокотемпературную компоненту намагниченности после нагревов до 600 °С. С этой компонентой она связывала первичную намагниченность, образовавшуюся в ордовикское время. Однако, как уже отмечалось, в изученной нами коллекции выделить высокотемпературную компоненту не удается. Кроме того, результаты термомагнитного анализа не выявили присутствия гематита в исследованных нами образцах.

Исследователи, ранее работавшие в районе Каги, не пришли к единому мнению. В. Бахтадзе [Bachtadse et al., 1998], изучавший здесь кроме отложений девона также и ордовикские и силурийские, считает, что палеомагнитные направления, выделенные в результате нагревов или воздействия на образцы переменного магнитного поля в разновозрастных породах, соответствуют геомагнитному полю конца палеозоя. В.С. Буртман и др. [2000] получили другое направление, значительно отличающееся по палеонаклонению. Опираясь на данные тестирования, авторы сделали вывод о первичности выделенной ими высокотемпературной компоненты. Г. А. Петров и И. А. Свяжина [2006] предполагают доскладчатую природу средне- и высокотемпературной компонент J_n.

Надо отметить, что мы исключили из рассмотрения многочисленные имеющиеся данные по известнякам верхнерифейской катавской свиты, направления характеристической намагниченности которых близки к позднепалеозойским. Также не обсуждаются данные по верхневендским басинской и зиганским свитам. В породах перечисленных свит очень редко выделяется среднетемпературная компонента, и можно выделить интерпретируемую характеристическую высокотемпературную компоненту намагниченности. Носителем намагниченности, в основном, является гематит, реже магнетит. Характеристическая компонента имеет обе полярности, чем резко отличается от наших данных, всюду имеющих одну полярность.

В Западно-Магнитогорской зоне и в Магнитогорско-Богдановском грабене абсолютная величина естественной остаточной намагниченности образцов варьирует в широких пределах: от $4*10^{-5}$ до 48 А/м, но в целом для лавовых потоков и яшмоидов характеризуется высокими значениями. На диаграммах Зийдервельда (рис. 3, а) выделяются от 1 до 3 компонент намагниченности. Низкотемпературная компонента разрушается при нагреве до 200–250 °С, и ее среднее направление соответствует направлению современного магнитного поля. В существенном количестве изученных сайтов выделяется среднетемпературная компонента намагниченности, соответствующая широко распространенному на Урале позднепалеозойскому перемагничиванию (см. рис. 3). В значительной части изученных образцов выделена также высокотемпературная компонента намагниченности, иногда биполярная, которую можно интерпретировать как синхронную времени образования пород.

Обсуждение результатов

В западной части Западно-Уральской мегазоны и для палеозойских, и для неопротерозойских пород, средние по сайтам направления СТК сгруппированы лучше в стратиграфических координатах, чем в географических, (рис. 4). При ступенчатом пропорциональном распрямлении складок (напр., [McClelland, Brown, 1983]) максимальное значение кучности (= минимум дисперсии) данных достигается при распрямлении около 80%, причем нигде разница между максимальной кучностью и кучностью в древней системе координат не является значимой. При оптимальном распрямлении осредненные по сайтам направления СТК составляют: N = 31, D = 238.7°, I = –47.5°, k = 69.7, α_{95} =

3.5°. Такая картина позволяет сделать вывод о том, что среднетемпературная компонента намагниченности возникла незадолго до складкообразования или на начальных этапах деформации в кунгурское время (279–272 млн. лет назад) [Голованова и др., 2017; Levashova et al., 2013].

В Центрально-Уральской зоне по нашим данным и для палеозойских, и для неопротерозойских пород средние по сайтам направления СТК сгруппированы лучше в географических координатах, чем в стратиграфических (рис. 5). При ступенчатом пропорциональном распрямлении складок максимальное значение кучности (= минимум дисперсии) данных достигается при распрямлении 4.3%. Разница между максимальной кучностью и кучностью в современной системе координат не является значимой. Это свидетельствует о том, что соответствующая компонента намагниченности послескладчатая. В изученных породах неопротерозойско-нижнепалеозойского возраста первичная компонента намагниченности не сохранилась.

В Магнитогорской зоне в большей части изученных сайтов выделяется среднетемпературная компонента намагниченности, соответствующая позднепалеозойскому перемагничиванию. В западной части Магнитогорской зоны в породах девонского возраста средние по всем сайтам направления этой компоненты значительно лучше группируются в современной системе координат (рис. 6), т. е. эта компонента послескладчатая [Голованова и др., 2016]. Этот результат позволяет предположить, что деформации здесь произошли задолго до заключительной стадии развития Урала, скорее всего, в конце девона — начале карбона, что, в целом, совпадает с представлениями геологов о времени деформаций в этой части Урала.

В Магнитогорско-Богдановском грабене в Центрально-Уральской зоне в породах нижнекаменноугольного возраста значения кучности для средних по всем сайтам направлений СТК в изученных разрезах близки в обеих системах координат (рис. 7) в отличие от большей части разрезов Западно-Магнитогорской зоны, при этом направление в древней системе координат ближе к пермскому. Максимальная кучность направлений получается в разных разрезах при распрямлении складки от 50% до 80%. По всем изученным в этой части разрезам при оптимальном распрямлении 50% осредненные по сайтам направления СТК составляют: N = 32, D = 228.7°, I = –33.7°, k = 50.1, α_{95} = 3.6°, что свидетельствует о возникновении этой намагниченности в процессе деформации или незадолго до него и на начальных его этапах. Таким образом, можно предположить, что тектонические деформации на изучаемой территории центральной части Магнитогорской зоны происходили на заключительной стадии развития Урала, в средней перми, в кунгурское время. Следует отметить, что в отдельных разрезах (например, Соколки) направление среднетемпературной компоненты намагниченности совпадает с пермским в современной системе координат. Это позволяет сделать предположение о сложном характере деформаций в изучаемом регионе, однако в целом деформации здесь произошли позже, чем в изученных нами разрезах Западно-Магнитогорской зоны, что не противоречит представлениям геологов о времени проявления тектонических процессов в Магнитогорско-Богдановском грабене.

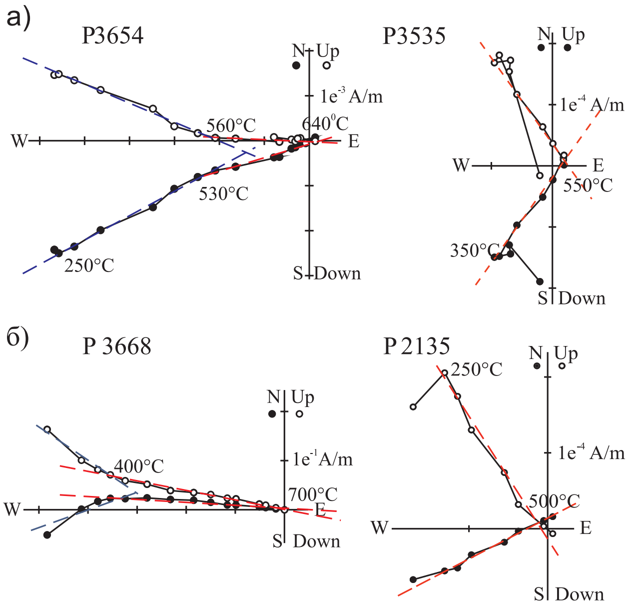

Рис. 3. Примеры диаграмм Зийдервельда образцов из разрезов Восточного склона Южного Урала:
а) в Западно-Магнитогорской зоне, D_1e_2 — D_2ef_2; б) в Магнитогорско-Богдановском грабене, C_1. Пунктиром показаны выделенные компоненты намагниченности. Светлые символы — проекции векторов J_n на вертикальную, темные — на горизонтальную плоскости. Температуры даны в °C.

Fig. 3. Examples of Zijderveld diagrams for samples from sections of the Eastern slope of the Southern Urals:
a) in the West Magnitogorsk zone, D_1e_2 — D_2ef_2; b) in the Magnitogorsk-Bogdanovsky graben, C_1. The dashed line shows the selected magnetization components. The light and dark symbols correspond to the projections of the J_n vectors on the horizontal and vertical planes, respectively. Temperatures are given in °C.

Сравнение средних направлений СТК намагниченности со стереограммой опорных направлений, пересчитанных из кривой кажущейся миграции палеомагнитного полюса для палеоконтинента

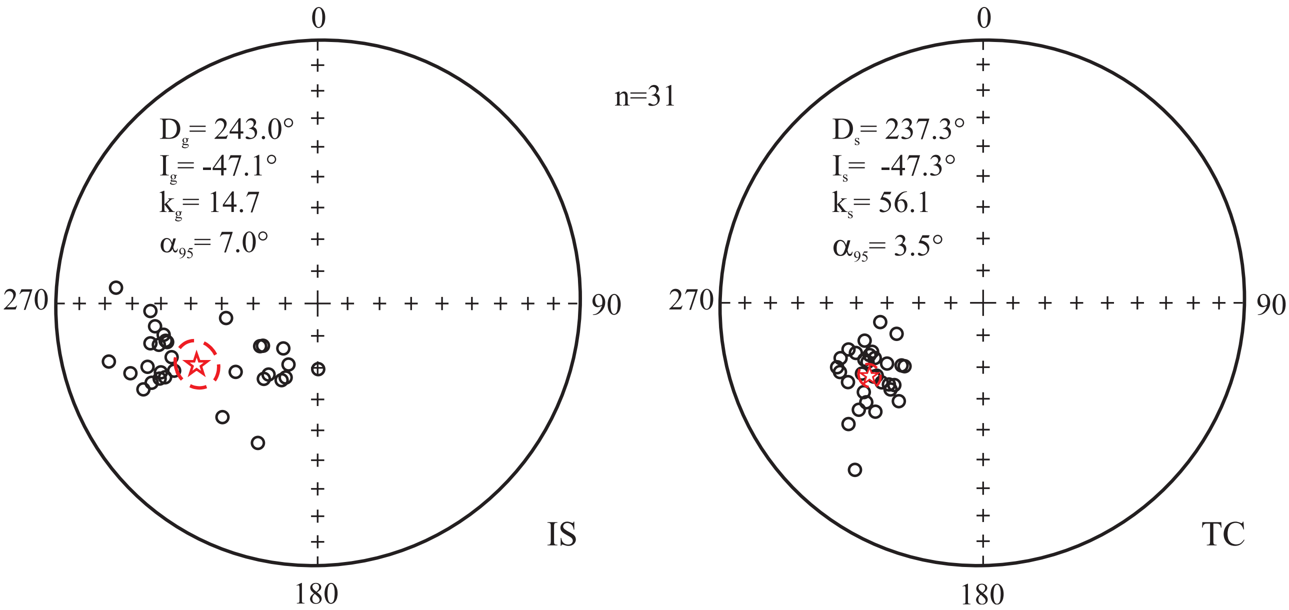

Рис. 4. Направления позднепалеозойского перемагничивания (СТК) в осадочных породах западной части Западно-Уральской мегазоны в современной (IS) и древней (TC) системе координат.

Незалитые кружки — средние направления по сайтам, спроецированные на верхнюю полусферу; овалы доверия α_{95} для сайтов не показаны для читаемости. Звездочкой с овалом доверия показано общее среднее направление.

Fig. 4. Stereoplots of intermediate-temperature component, ITC, site-mean directions in situ (IS) and after tilt correction (TC) in sediment rocks studied from the western part of the West Ural megazone.

The open circles indicate site-average directions projected onto the upper hemisphere.; α_{95} confidence ovals for the sites are not shown for better visibility. The asterisk with the confidence oval shows the overall average direction.

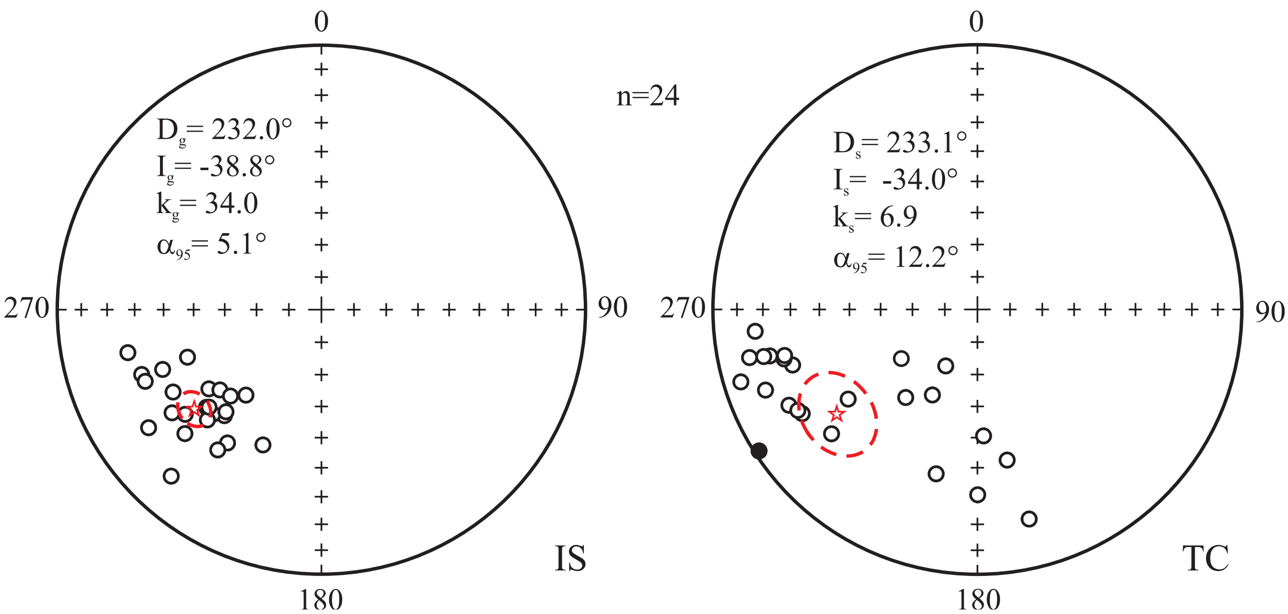

Рис. 5. Направления позднепалеозойского перемагничивания (СТК) в породах Центрально-Уральской зоны западного склона Южного Урала в современной (IS) и древней (TC) системе координат.

Условные обозначения — см. рис. 4.

Fig. 5. Stereoplots of intermediate-temperature component, ITC, site-mean directions in situ (IS) and after tilt correction (TC) in sediment rocks studied from the Central Ural zone of the western slope of the Southern Urals.

For symbols, see Fig. 4.

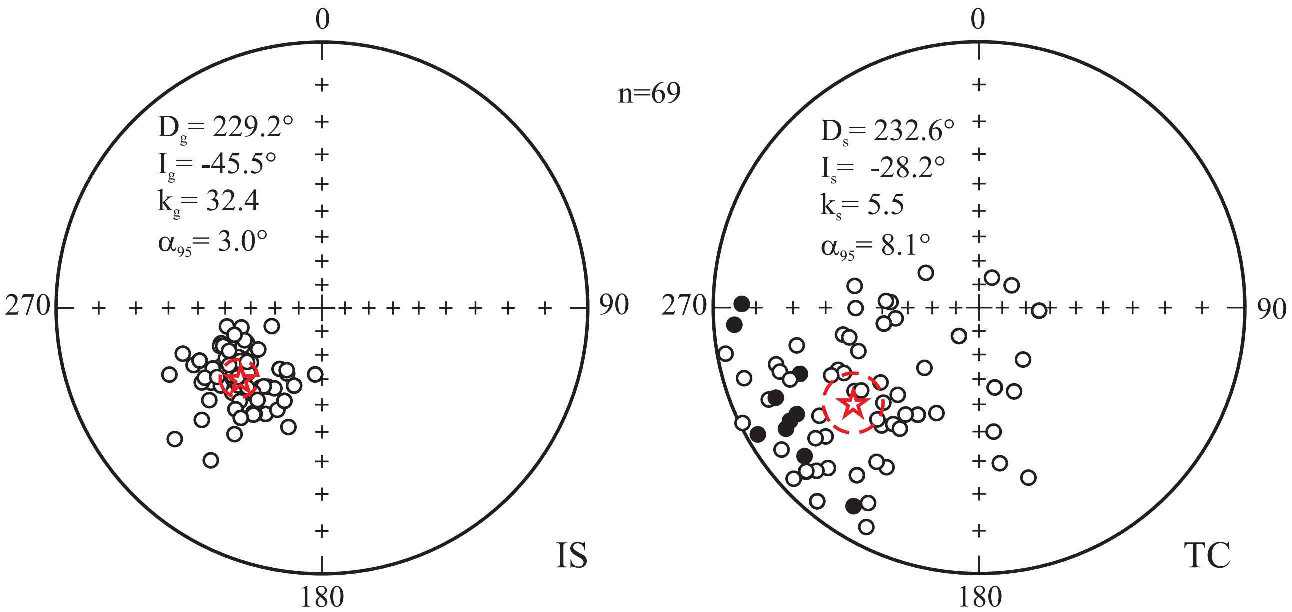

Рис. 6. Направления позднепалеозойского перемагничивания (СТК) в породах девонского возраста западной части Магнитогорской зоны в современной (IS) и древней (TC) системе координат.
Условные обозначения — см. рис. 4.

Fig. 6. Stereoplots of intermediate-temperature component, ITC, site-mean directions in situ (IS) and after tilt correction (TC) in Devonian-age rocks of the western part of the Magnitogorsk zone.
For symbols, see Fig. 4.

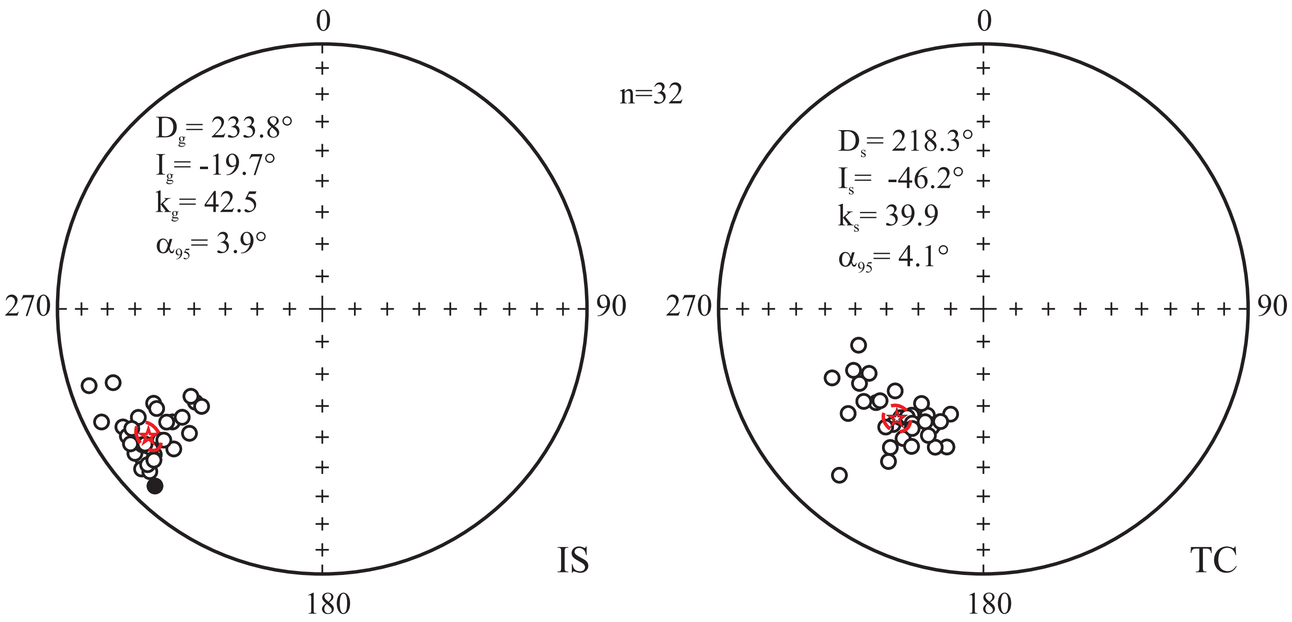

Рис. 7. Направления позднепалеозойского перемагничивания (СТК) в породах нижнекаменноугольного возраста в Магнитогорско-Богдановском грабене в современной (IS) и древней (TC) системе координат.
Условные обозначения — см. рис. 4.

Fig. 7. Stereoplots of intermediate-temperature component, ITC, site-mean directions in situ (IS) and after tilt correction (TC) in Lower Carboniferous rocks of the Magnitogorsk-Bogdanovsky graben.
For symbols, see Fig. 4.

Балтика [Torsvik et al., 2012] для общей точки 54° с. ш., 58° в. д. показало, что во всех случаях средние направления СТК лучше всего согласуются с референтным результатом с возрастом 270–290 млн лет (рис. 8). Такой возраст СТК согласуется и с повсеместной обратной полярностью этой компоненты, что указывает на ее возникновение во второй половине суперхрона Киама обратной полярности, и с геологическими данными о кунгурском (272–279 млн лет) возрасте завершающей стадии деформаций на Урале [Пучков, 2003].

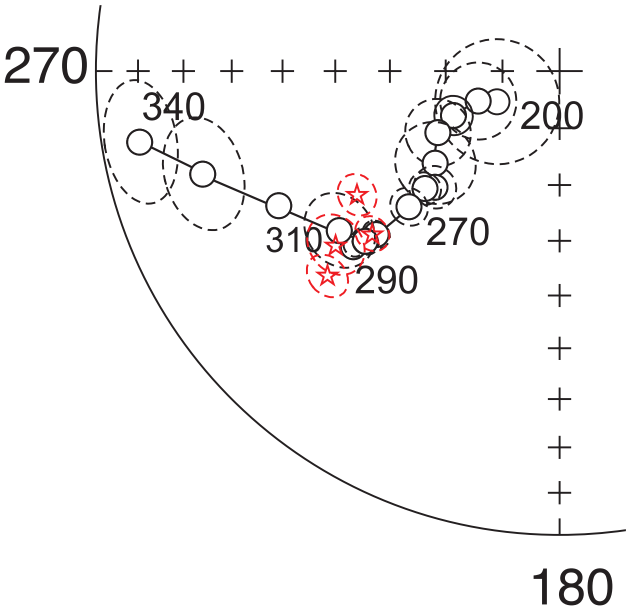

Рис. 8. Стереграмма обратных опорных направлений (круги, соединенные тонкой линией для интервалов 10 млн лет, пересчитанных по сегменту 200–340 млн лет кривой кажущейся миграции полюса Балтики по [Torsvik et al., 2012] в среднюю точку на 54° с. ш., 58° в. д.).

Тонкие пунктирные линии представляют собой доверительные круги для опорных направлений. Красные звездочки и толстые пунктирные линии обозначают общие средние направления для изученных групп разрезов с соответствующими доверительными кругами. Незаштрихованные символы и пунктирные линии проецируются на верхнюю полусферу.

Fig. 8. Stereoplot of reverse reference directions (circles connected by thin line for 10 Ma intervals recalculated from 200 to 340 Ma segment of the APWP for Baltica [Torsvik et al. 2012] to the midpoint at 54°N, 58°E).

Thin dashed lines represent the confidence circles for the reference directions. Red asterisks and thick dotted lines indicate the overall mean directions for the studied groups of sections, with their respective confidence circles. Open symbols and dotted lines are projected onto the upper hemisphere

Заключение

Процесс перемагничивания затронул практически весь Южный Урал. Анализ полученных нами результатов и опубликованных данных других авторов показывает, что почти во всех изученных палеозойских разрезах породы перемагничены в позднем палеозое. Такая же компонента намагниченности выделяется и в верхнерифейских и вендских породах. В части разрезов перемагничивание доскладчатое, в некоторых — послескладчатое. Таким образом, фиксируемое в палеомагнитной записи позднепалеозойское перемагничивание имеет региональный характер и, вероятно, отражает коллизионное событие заключительного этапа эволюции Уральского палеоокеана.

Анализ имеющихся данных по позднепалеозойскому перемагничиванию позволяет проследить формирование структур Уральской складчатой области на завершающих стадиях закрытия Уральского палеоокеана и, в частности, формирование западного сегмента Южного Урала, как деформированной окраины Восточно-Европейской платформы. В пределах пассивной окраины Балтики вследствие коллизии образовывался латеральный ряд складчато-надвиговых структур, формирование которых начиналось от Главного Уральского разлома и шло на запад, с возможным постепенным затуханием этого процесса в сторону Предуральского краевого прогиба.

По современным представлениям о формировании восточного сегмента Урала [Пучков, 2000; 2010] в девоне в Палеоуральском океане напротив южноуральской части пассивной окраины континента Балтика сформировалась Магнитогорская островная дуга, находившаяся над зоной субдукции, падавшей от континента (в современных координатах — к востоку). В позднем девоне произошло столкновение континента и островной дуги (мягкая коллизия), в результате чего Магнитогорская островодужная система аккретировала к окраине Восточно-Европейского континента, нарастив его. К концу фаменского времени процесс раннего этапа окраинно-континентальной аккреции завершился. Граница формирующейся окраины континента переместилась в область современного Тургайского прогиба. Здесь в раннем карбоне сформировалась новая зона субдукции, имеющая падение в сторону континента и образовавшая активную окраину формирующегося континента. В тылу активной окраины образовалась рифтовая зона, с которой связано накопление субщелочных контрастных вулканитов березовской и греховской свит

Центрально-Магнитогорской зоны. Палеомагнитные данные в отмеченном возрастном интервале могут служить дополнительным независимым тестом оценки этих геологических представлений.

Палеомагнитные данные свидетельствуют о том, что в результате субдукции и коллизии Магнитогорская островная дуга и пассивная окраина континента соединились уже к началу карбона и, таким образом, пассивная окраина нарастилась за счёт дуги [Пучков, 2000, 2010, Голованова и др., 2018]. В дальнейшем эта территория развивалась совместно с окраиной палеоконтинента, деформации здесь произошли задолго до заключительной стадии развития Урала, скорее всего, в конце девона — начале карбона. В Магнитогорско-Богдановском грабене изученные породы сформировались в раннем карбоне и деформации здесь произошли позже, чем в изученных нами разрезах Западно-Магнитогорской зоны.

Приведенные в данной работе палеомагнитные результаты подтверждают эти представления.

Список литературы:

Буртман В. С., Гурарий Г. З., Дворова А. З. Кузнецов Н. Б., Шипунов С. В. Уральский палеоокеан в девонское время (по палеомагнитным данным) // Геотектоника. — 2000. — № 5. — С. 61–70.

Виноградов Е. В. Палеомагнетизм ордовикско-силурийских отложений Западно-Зилаирской зоны Южного Урала / Материалы международной школы-семинара «Проблемы палеомагнетизма и магнетизма горных пород» / ФГБУН Институт Физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Санкт-Петербургский государственный университет. — Ярославль: Филигрань, 2016. — с. 18–23.

Голованова И. В., Данукалов К. Н., Кадыров А. Ф., Хидиятов М. М., Сальманова Р. Ю., Шакуров Р. К., Левашова Н. М., Баженов М. Л. Палеомагнетизм осадочных толщ и происхождение структур западного склона Южного Урала // Физика Земли. — 2017. — № 2. — С. 148–156. Doi: 10.7868/S0002333717010057

Голованова И. В., Данукалов К. Н., Косарев А. М., Хидиятов М. М., Баженов М. Л. Палеомагнетизм девона Магнитогорской зоны Южного Урала. Предварительные результаты // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: Материалы международной школы-семинара «Проблемы палеомагнетизма и магнетизма горных пород». — Ярославль: Филигрань, 2016. — С. 29–35.

Голованова И. В., Данукалов К. Н., Пучков В. Н., Косарев А. М., Сальманова Р. Ю. Палеомагнитные исследования в девонских и каменноугольных породах Южного Урала: независимый тест представлений о коллизии Магнитогорской островной дуги и пассивной окраины континента Лавруссия // Доклады Академии наук. — 2018. — Т. 482. — № 1. — С. 64–67. Doi: 10.31857/S086956520003140–7

Данукалов К. Н., Голованова И. В., Сальманова Р. Ю. Палеомагнитное изучение нижнекаменноугольных вулканитов Магнитогорско-Богдановского грабена // Геологический вестник. — 2018. — № 2. — С. 110–117. Doi: 10.31084/2619–0087/2018-2-8

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

Данукалов Н. Ф., Кондручина Л. С., Черников А. П. Палеомагнетизм палеозоя Южного и Среднего Урала. Уфа: БФАН СССР. — 1983. — 120 с.

Маслов В. А., Артюшкова О. В. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. — Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. — 288 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.

Петров Г. А., Свяжина И. А. Корреляция ордовикско-девонских событий на Уральской и Скандинавской окраинах Балтики: геологические и палеомагнитные данные // Литосфера. — 2006. — № 4. — С. 23–39.

Пучков В. Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. — Уфа: Даурия, 2000. — 146 с.

Пучков В. Н. Уралиды и тиманиды, их структурные связи и место в геологической истории Урало-Монгольского складчатого пояса // Геология и Геофизика. — 2003. — Т. 44, № 1–2. — С. 28–39.

Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). — Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. — 280 с.

Свяжина И. А., Пучков В. Н., Иванов К. С., Петров Г. А. Палеомагнетизм ордовика Урала. — Екатеринбург: УрО РАН. 2003. — 136 с.

Стратотип рифея. Палеонтология. Палеомагнетизм. — М.: Наука, 1982. 176 с. — (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 368).

Храмов А. Н., Гончаров Г. И., Комиссарова Р. А., Писаревский С. А., Погарская И. А., Ржевский Ю. С., Родионов В. П., Слауцитайс И. П. Палеомагнитология. — Л.: Недра, 1982. — 312 с.

Шипунов С. В. История складчатости Южного Урала по палеомагнитным данным // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. — М.: ОИФЗ РАН, 1998. — С. 69–71.

Bachtadse V., Tait J., Soffel H. Paleomagnetism and plate kinematics of the South Urals // Europrobe workshop on Uralides / Programm and Abstracts. — M., 1998. — P. 23.

Cogné J. P. PaleoMac: a Macintosh application for treating paleomagnetic data and making plate reconstructions // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. — 2003. — V. 4, No. 1. — article no. 1007. http://dx.doi.org/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.

Golovanova I., Danukalov K., Sal'manova R. Late Paleozoic Remagnetization: Evaluation of the Sequence of Folding in the South Urals / Recent Advances in Rock Magnetism, Environmental Magnetism and Paleomagnetism, Springer Geophysics, 2019. — P. 13–24. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-90437-5_2

Kirschvink J. L. The least-square line and plane and the analysis of palaeomagnetic data // Geophysical Journal International. — 1980. — Vol. 62, Is. 3. — P. 699–718. Doi:10.1111/j. 1365-246x. 1980. tb02601. x

Levashova N. M., Bazhenov M. L., Meert J. G., Kuznetsov N. B., Golovanova I. V., Danukalov K. N., Fedorova N. M. Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: Paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals // Precambrian Research. — 2013. — Vol. 236. — P. 16–30. Doi: 10.1016/j. precamres. 2013.06.006

McClelland, Brown E. Palaeomagnetic studies of fold development and propagation in the Pembrokeshire Old Red Sandstone // Tectonophysics. — 1983. — Vol. 98. — P. 131–149.

McFadden P. L., McElhinny M. W. Classification of the reversal test in paleomagnetism // Geophys. J. Intern. — 1990. — Vol. 103. — P. 725–729.

Tauxe L., Banerjee S. K., Butler R. F., Van der Voo R. Essentials of Paleomagnetism. 4th Web Edition. 2016.

Torsvik T. H., Van der Voo R., Preeden U., MacNiocaill C., Steinberger B., Doubrovine P. V., van Hinsbergen D. J. J., Domeir M., Gaina C., Tohver E., Meert J. G., McCausland P. J. A., Cocks R. M. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics // Earth Science Reviews. — 2012. — V. 114. — P. 325–368.

Zijderveld J. D. A. AC demagnetization of rocks: analysis of results. // Methods in Palaeomagnetism/Collinson D. W. , Creer, K. M. (Eds.). — Amsterdam: Elsevier, 1967. — P. 254–286.

References:

Burtman, V. S., Gurarii, G. Z., Dvorova, A. V., Kuznetsov, N. B., Shipunov, S. V. (2000). The Uralian Paleoocean in the Devonian (according to paleomagnetic data) // Geotectonics. Vol. 34, No. 5. P. 397–406.

Vinogradov E. V. (2016). Paleomagnetizm ordoviksko-siluriyskikh otlozheniy Zapadno-Zilairskoy zony Yuzhnogo Urala [Paleomagnetism of the Ordovician-Silurian deposits of the West Zilair zone of the Southern Urals] // Materialy mezhdunarodnoy shkoly-seminara «Problemy paleomagnetizma i magnetizma gornykh porod [Proceedings of the International Workshop-School «Problems of Paleomagnetism and Rock Magnetism»]/Shmidt Institute of Physics of the Earth, St. Petersburg State University. Yaroslavl: Filigran. P. 18–23 (in Russian).

Golovanova I. V., Danukalov K. N., Kadyrov A. F., Khidiyatov M. M., Sal'manova R. Y., Shakurov R. K., Levashova N. M., Bazhenov M. L. (2017). Paleomagnetism of sedimentary strata and the origin of the structures in the western slope of South Urals // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. Vol. 53, No. 2. P. 311–319. Doi: 10.1134/S1069351317010050

Golovanova I. V., Danukalov K. N., Kosarev A. M., Khidiyatov M. M., Bazhenov M. L. (2016). Paleomagnetizm devona Magnitogorskoy zony Yuzhnogo Urala. Predvaritelnye rezultaty [Devonian paleomagnetism of the Magnitogorsk Zone in the Southern Urals. Preliminary results] // Materialy mezhdunarodnoy shkoly-seminara «Problemy paleomagnetizma i magnetizma gornykh porod» [Proceedings of the International Workshop-School «Problems of Paleomagnetism and Rock Magnetism»]/Shmidt Institute of Physics of the Earth, St. Petersburg State University. Yaroslavl: Filigran. P. 29–35 (in Russian).

Golovanova I. V., Danukalov K. N., Puchkov V. N., Kosarev A. M., Salmanova R. Yu. (2018). Paleomagnetic Study of Devonian and Carboniferous Rocks of the Southern Urals: An Independent Test of Collision between the Magnitogorsk Island Arc and the Passive Margin of the Continent of Laurussia // Doklady Earth Sciences. Vol. 482. Part 1. pp. 1134–1137. Doi: 10.1134/S1028334X18090052

Danukalov K. N., Golovanova I. V., Sal'manova R. Yu. (2018). Paleomagnetic study of the Lower Carboniferous volcanites in the Magnitogorsk-Bogdanovka graben // Geologicheskii vestnik. No. 2. P. 110–117. (in Russian). Doi: http://doi.org/10.31084/2619–0087/2018-2-8

Danukalov K. N., Golovanova I. V., Sal'manova R. Yu., Parfi r'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

Danukalov N. F., Kondruchina L. S., Chernikov A. P. (1983). Paleomagnetizm paleozoya Yuzhnogo i Srednego Urala [Paleomagnetism of the Paleozoic of the Southern and Middle Urals]. Ufa: BFAN USSR. 120 p. (in Russian).

Maslov V. A., Artjushkova O. V. (2010). Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozheniy Magnitogorskoy megazony Juzhnogo Urala [Stratigraphy and correlation of Devonian sedimentary rocks in the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals]. Ufa: DizaynPoligrafServis Publ.. 288 p. (In Russian).

Pavlov V. E., Galle Y. (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).

Petrov G. A., Svyazina I. A. (2006). Korrelyatsiya ordoviksko-devonskikh sobytiy na Ural'skoy i Skandinavskoy okrainakh Baltiki: geologicheskiye i paleomagnitnyye dannyye [Correlation of Ordovician-Devonian events in the Ural and Scandinavian margins of the Baltic: geological and paleomagnetic data] // Litosfera — Lithosphere. No. 4. P. 23–39.

Puchkov V. N. (2000). Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa: Dauria. 146 p. (in Russian).

Puchkov V. N. (2003). The Uralides and Timanides: their structural relationship and position in the geologic history of the Ural-Mongolian fold belt // Russian Geology and Geophysics. Vol. 44 (1–2). P. 28–39.

Puchkov V. N. (2010). Geologiya Urala i Priuraliya (aktualniye voprosy stratigrafiyi, tektoniki, geodinamiki i metallogeniyi) [Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DesignPoligraphService. 280 p. (in Russian).

Svyazhina, I. A., Puchkov, V. N., Ivanov, K. S., Petrov, G. A. (2003). Paleomagnetizm ordovika Urala [Ordovician paleomagnetism in the Urals]. Ekaterinburg: UrO RAN. 136 p. (In Russian).

Stratotip rifeya. Paleontologiya. Paleomagnetism. [Stratotype of the Riphean. Paleontology. Paleomagnetism.]. Moscow: Nauka, 1983. 176 p. (Trudy GIN AN USSR; Is. 368). (In Russian).

Khramov A. N., Goncharov G. I., Komissarova R. A., Pisarevskii S. A., Pogarskaia I. A., Rzhevskii Iu. S., Rodionov V. P., Slautsitais I. P. (1982). Paleomagnitologiya. [Paleomagnetology]. Leningrad, Nedra Publ.. 312 p. (In Russian).

Shipunov S. V. (1998). Istoriya skladchatosti Yuzhnogo Urala po paleomagnitnym dannym. [History of folding in the Southern Urals according to paleomagnetic data.] // Paleomagnetizm i magnetizm gornykh porod [Paleomagnetism and magnetism of rocks]. M. OIFZ RAN. [UIPE RAS]. P. 69–71. (In Russian).

Bachtadse V., Tait J., Soffel H. (1998). Paleomagnetism and plate kinematics of the South Urals // Europrobe workshop on Uralides / Programm and Abstracts. M.. P. 23.

Cogné J. P. (2003). PaleoMac: a Macintosh application for treating paleomagnetic data and making plate reconstructions // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. V. 4, No. 1. article No. 1007. http://dx.doi.org/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.

Golovanova I., Danukalov K., Sal'manova R. (2019). Late Paleozoic Remagnetization: Evaluation of the Sequence of Folding in the South Urals / Recent Advances in Rock Magnetism, Environmental Magnetism and Paleomagnetism, Springer Geophysics. — P. 13–24. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-90437-5_2

Kirschvink J. L. (1980). The least-square line and plane and the analysis of palaeomagnetic data // Geophysical Journal International. Vol. 62, Is. 3. P. 699–718. Doi: 10.1111/j. 1365-246x. 1980. tb02601. x

Levashova N. M., Bazhenov M. L., Meert J. G., Kuznetsov N. B., Golovanova I. V., Danukalov K. N., Fedorova N. M. (2013). Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: Paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals // Precambrian Research. Vol. 236. P. 16–30. Doi: 10.1016/j. precamres. 2013.06.006

McClelland, Brown E. Palaeomagnetic studies of fold development and propagation in the Pembrokeshire Old Red Sandstone // Tectonophysics. 1983. Vol. 98. P. 131–149.

McFadden P. L., McElhinny M. W. (1990). Classification of the reversal test in paleomagnetism // Geophys. J. Intern. Vol. 103. P. 725–729.

Tauxe L., Banerjee S. K., Butler R. F., Van der Voo R. (2016). Essentials of Paleomagnetism. 4th Web Edition.

Torsvik T. H., Van der Voo R., Preeden U., MacNiocaill C., Steinberger B., Doubrovine P. V., van Hinsbergen D. J. J., Domeir M., Gaina C., Tohver E., Meert J. G., McCausland P. J. A., Cocks R. M. (2012). Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics // Earth Science Reviews. Vol. 114. P. 325–368.

Zijderveld, J. D. A. (1967). AC demagnetization of rocks: analysis of results. // Methods in Paleomagnetism. / Collinson, D. W., Creer, K. M. (Eds.). Amsterdam: Elsevier. P. 254–286.

Сведения об авторах:

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, golovanova@ufaras.ru

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

About the autors:

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, golovanova@ufaras.ru

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

Sal'manova Raushaniya Yurisovna, 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, vrushana@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.04.2022; одобрена после рецензирования 20.06.2022; принята к публикации 14.07.2022

The article was submitted 12.04.2022; approved after reviewing 20.06.2022; accepted for publication 14.07.2022