

## ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ИНТРУЗИВНЫХ ТЕЛ РУБЕЖА РАННЕГО – СРЕДНЕГО РИФЕЯ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ): ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2019 г. А. В. Латышев, М. Б. Аносова, А. О. Хотылев

**Реферат.** В работе изложены результаты палеомагнитных и петромагнитных исследований рифейских интрузивных тел Башкирского мегантиклинория. По 8 маломощным интрузиям рассчитан новый палеомагнитный полюс для рубежа раннего – среднего рифея Восточно-Европейской платформы ( $1349 \pm 11$  млн лет):  $P_{lat} = 8.4^\circ$ ;  $P_{long} = 162.4^\circ$ ;  $A_{95} = 4.1^\circ$ . Нами приводятся доводы в пользу первичности остаточной намагниченности и отсутствия значительных тектонических дислокаций в районе изученных интрузий. Также по 11 интрузивным телам рассчитан полюс позднепалеозойского син-коллизийного перемагничивания. Сравнение средних палеомагнитных направлений, полученных по разным районам исследования, указывает на отсутствие значимых относительных перемещений блоков в регионе в позднепалеозойское время. Интерпретация результатов измерений анизотропии магнитной восприимчивости в интрузиях демонстрирует значительную роль зон разрывных нарушений при внедрении магматического расплава. Показано, что Бакало-Саткинский региональный разлом в конце раннего – начале среднего рифея действовал как долгоживущая магмоподводящая зона, контролируя формирование Бердяшского массива гранитоидов рапакиви и дайковых тел.

**Ключевые слова:** палеомагнетизм, Башкирский мегантиклинорий, Южный Урал, рифей, дайковые комплексы, анизотропия магнитной восприимчивости, траектория кажущейся миграции полюса, палеотектонические реконструкции

## PALEOMAGNETISM OF THE EARLY-MIDDLE RIPHEAN INTRUSIONS FROM THE BASHKIRIAN MEGAZONE (THE SOUTHERN URALS): IMPLICATIONS FOR THE PALEOTECTONIC RECONSTRUCTIONS OF THE EAST EUROPEAN CRATON

A. V. Latyshev, M. B. Anosova, A. O. Khotylev

**Abstract.** We present the results of the detailed paleomagnetic and rock-magnetic investigation of the Riphean intrusions from the Bashkirian meganticlinorium (Southern Urals). The new paleomagnetic pole for the boundary of the Lower and Middle Riphean of the East European Craton ( $1349 \pm 11$  Ma) is calculated from 8 thin sheet intrusions.  $P_{lat} = 8.4^\circ$ ;  $P_{long} = 162.4^\circ$ ;  $A_{95} = 4.1^\circ$ . Arguments in favor of the primary origin of the remanence and the absence of significant tectonic dislocations near the sampled intrusions are discussed. Besides, from 11 intrusive bodies we obtained the pole of Late Paleozoic syn-collisional remagnetization. The comparison of mean paleomagnetic directions for the different studied regions demonstrates the absence of any traces of essential rotation of blocks within the Bashkirian megazone in the Later Paleozoic. Analysis of the anisotropy of magnetic susceptibility revealed the significant role of the shear zones during the emplacement of intrusions. It was shown that the regional Bakal-Satka shear acted as the long-lived magma feeder zone and controlled the emplacement of the Berdyash rapakivi pluton and dikes in the Lower – Middle Riphean.

**Keywords:** Paleomagnetism, Bashkirian meganticlinorium, Southern Urals, Riphean, dike swarms, anisotropy of magnetic susceptibility, apparent polar wander path, paleotectonic reconstructions

**Для цитирования:** Латышев А.В., Аносова М.Б., Хотылев А.О. Палеомагнетизм интрузивных тел рубежа раннего – среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал): значение для палеотектонических реконструкций Восточно-Европейской платформы // Геологический вестник. 2019. № 1. С. 113–132. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-1-9>.

**For citation:** Latyshev A.V., Anosova M.B., Khotylev A.O. Paleomagnetism of the Early-Middle Riphean intrusions from the Bashkirian megazone (the Southern Urals): Implications for the paleotectonic reconstructions of the East European craton // Geologicheskii vestnik. 2019. No. 1. P. 113–132. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-1-9>.

## Введение

Исследование докембрийских магматических образований Башкирского мегантиклинория (Башкирской мегазоны) Южного Урала представляет исключительный интерес по нескольким причинам. Во-первых, именно на этой территории был выделен стратотип рифея, поэтому детальная расшифровка истории развития региона и уточнение возрастных границ основных стратиграфических подразделений имеет глобальное значение. Рифейские магматические комплексы, распространенные в пределах мегантиклинория, обеспечивают возможность возрастной привязки. Во-вторых, неоднократные проявления магматизма в рифее на западном склоне Урала связываются с этапами рифтогенеза на Восточно-Европейской платформе и маркируют периоды распада суперконтинентов [Ernst et al., 2006; Puchkov et al., 2013]. В связи с этим восстановление пространственно-временной эволюции каждого из магматических событий крайне важно для глобальных палеотектонических реконструкций. Наконец, для этой же цели необходима максимально детальная и надежная информация о положении Восточно-Европейской платформы в рифее. Многочисленные базитовые тела Башкирского мегантиклинория представляют собой потенциальные объекты для получения такой информации на базе палеомагнитных данных.

На настоящий момент в рифейской истории Башкирского мегантиклинория зафиксировано несколько магматических событий. Наиболее масштабным эпизодом магматизма в стратиграфической последовательности рифейских отложений отвечают айская свита, залегающая в основании нижнего рифея, а также машакская и кувашская свиты, маркирующие основание среднего рифея. Кроме того, на северо-востоке мегантиклинория распространены вулканиты терминального рифея [Пучков, 2010]. Помимо стратифицированных вулканитов, в пределах мегантиклинория известны многочисленные комагматичные им интрузивные тела, отнесенные к различным комплексам. Рифейские интрузии представлены, с одной стороны, крупными многофазными массивами (Бердяушский, Кусино-Копанский и др.), и с другой стороны, мелкими базитовыми дайковыми телами. Несмотря на длительную историю изучения дайковых комплексов [Алексеев, 1984; Носова и др., 2012; Ковалев и др., 2015; Хотылев и др., 2017], временные границы каждого из этапов магматической активности, а также пространственные масштабы их

проявления требуют уточнения; кроме того, отнесение конкретных интрузивных тел к тому или иному комплексу часто является проблематичным.

Несмотря на обилие объектов, перспективных для палеомагнитных исследований, получение надежных палеомагнитных данных по западному склону Урала связано с рядом сложностей. Наиболее остро стоит проблема позднепалеозойского синколлизонного перемагничивания, широко проявленного по всей территории Башкирского мегантиклинория и Южного Урала в целом (например, [Шипунов, 1993; Свяжина и др., 2003; Иосифиди и др., 2012]). Кроме того, если учитывать, что породы мегантиклинория с рифейского времени претерпели по меньшей мере два этапа тектогенеза — вендский и позднепалеозойский [Пучков, 2010], при анализе палеомагнитных данных всегда следует иметь в виду возможность вращений отдельных блоков относительно друг друга. Это обуславливает сложности при доказательстве первичности остаточной намагниченности и возможности использования палеомагнитных результатов, полученных по породам Башкирского мегантиклинория, для Восточно-Европейской платформы, даже при наличии данных, отвечающих современным аппаратно-методическим требованиям надежности [Павлов, Галле, 2009; Голованова и др., 2011; Levashova et al., 2015]. Что касается рифейских интрузивных тел, то авторам известно лишь одно определение, полученное с использованием современной методики палеомагнитных исследований [Лубнина, 2009]. Тем не менее, палеомагнитный полюс, приведенный в цитируемой работе, получен по ограниченному количеству пространственно удаленных и разнородных объектов с различным или вовсе не определенным изотопным возрастом. Учитывая все вышесказанное, на данный момент имеет место нехватка надежных палеомагнитных данных по рифейским магматическим телам региона.

В рамках данной работы решались следующие задачи:

1. Получение надежных палеомагнитных данных по рифейским базитовым интрузиям Башкирского мегантиклинория и анализ возможности их использования для разработки траектории кажущейся миграции полюса Восточно-Европейской платформы.

2. Измерения анизотропии магнитной восприимчивости для реконструкции направления движения магматического расплава и поиска локальных центров магматизма.

3. Изучение петролого-геохимических характеристик опробованных магматических тел для отнесения их к известным дайковым комплексам и определения условий формирования магм.

### Объекты исследования

Опробованные магматические тела расположены в трех районах: в окрестностях городов Бакал и Куся, а также пос. Бердюаш (западная часть Челябинской области). В тектоническом плане все изученные интрузии приурочены к осевой зоне северной части Башкирского мегантиклинория

и локализованы к востоку от Бакало-Саткинского разлома (рис. 1). Интрузивные тела представлены маломощными (0.5–2 м) дайками, реже — более крупными телами неправильной формы и силлами (5–14 м), прорывающими нижнерифейские отложения бакальской и саткинской свит. На основании такой геологической позиции, а также петрографических, геохимических характеристик (см. ниже) и изотопных датировок большая часть интрузий отнесена нами к ранне-среднерифейскому машакскому этапу магматизма, хотя исключить возможность иного возраста отдельных тел полностью мы не можем. В Башкирском мегантикли-

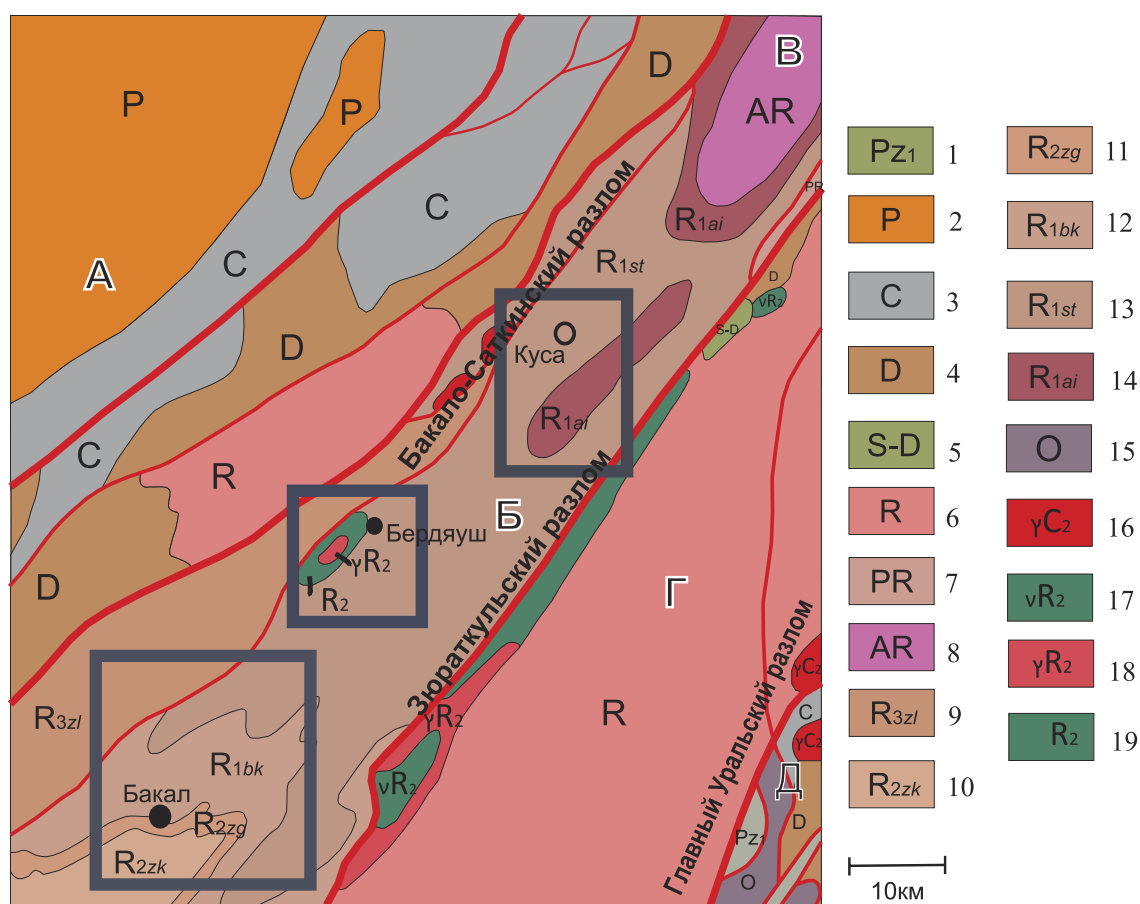


Рис. 1. Геологическая схема района исследований

Цифрами в легенде обозначены: Стратифицированные нерасчлененные отложения: 1 — раннего палеозоя; 2 — перми; 3 — карбона; 4 — девона; 5 — силура–девона, 6 — рифея; 7 — протерозой; 8 — архейский тараташский комплекс. Рифейские свиты Башкирского мегантиклинория: 9 — зильмердакская; 10 — зигазино-комаровская; 11 — зигальгинская; 12 — бакальская; 13 — саткинская; 14 — айская. Плутонические комплексы: 15 — ордовикские ультрамафиты зоны ГУР; 16 — среднекаменноугольные гранитоиды, 17 — среднерифейские габброиды; 18 — среднерифейские гранитоиды; 19 — среднерифейские сиениты и нефелиновые сиениты.

Fig. 1. The sketch geological map of the study area

Legend: Undifferentiated stratified deposits: 1 — Lower Paleozoic; 2 — Permian; 3 — Carboniferous; 4 — Devonian; 5 — Silurian-Devonian; 6 — Riphean; 7 — Proterozoic; 8 — Archean Taratash complex. Riphean Formations of the Bashkirian megazone: 9 — Zilmerdak; 10 — Zigazino-Komarovo; 11 — Zigalga; 12 — Bakal; 13 — Satka; 14 — Ai. Plutonic complexes: 15 — Ordovician ultramafic rocks of the Main Uralian fault; 16 — granites of the Middle Carboniferous; 17 — Middle Riphean gabbro; 18 — Middle Riphean granites; 19 — Middle Riphean syenites and nepheline-bearing syenites.

нории известны кургасский и юшинский базитовые дайковые комплексы [Алексеев, 1984; Хотылев и др., 2017]. Ниже в тексте при описании опробованных интрузий мы будем придерживаться названия «кургасский комплекс», следуя работе [Хотылев и др., в печати].

Возраст кургасского комплекса обоснован несколькими прецизионными датировками:

1. Дайка в районе пос. Бердяуш —  $1349 \pm 11$  млн лет (U-Pb, SHRIMP II, циркон; [Хотылев и др., в печати]).

2. Силл в г. Куса —  $1360 \pm 9$  млн лет ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , биотит; [Эрнст и др., 2008]).

3. «Главная Бакальская дайка» в г. Бакал —  $1385.3 \pm 1.4$  млн лет (U-Pb, ID TIMS, бадделит; [Ernst et al., 2006]).

4. Шток в районе г. Куса —  $1318 \pm 10$  млн лет ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , биотит; [Хотылев и др., в печати]).

Подробному обсуждению этих данных будет посвящена специальная работа [Хотылев и др., в печати]. Нужно отметить, что первые две из указанных датировок получены по интрузиям, проанализированным в настоящей работе, а остальные — по телам, пространственно близким к нашим объектам.

В районе г. Бакал были опробованы 7 даек и тел неясной морфологии, прорывающих алевролиты, песчаники и доломиты нижнерифейской бакальской свиты (сайты 1–9 в табл. 1). Вмещающие породы близ контакта, как правило, смяты в пологие складки, однако в отдельных обнажениях близ г. Бакал залегают субвертикально. Большая часть интрузий характеризуется северо-восточными простираниями, что типично для дайковых комплексов Башкирской мегазоны [Хотылев и др., 2017].

В районе пос. Бердяуш объектами исследования явились 11 интрузивных тел, секущих гранитоиды рапакиви восточной части Бердяушского массива и его экзоконтактовую зону. Ориентированные образцы отбирались из 9 даек в карьере к югу от пос. Бердяуш (сайты 16-1 — 16-9 в табл. 1), прорывающих мраморизованные доломиты саткинской свиты и апофизы гранитоидов Бердяушского массива; кроме того, были опробованы дайка в рапакиви к северу от ж/д Москва — Челябинск (сайт 10) и субвертикально залегающий силл в кальцифирах экзоконтактовой зоны массива (сайт 11).

Мраморный карьер к югу от пос. Бердяуш заслуживает более подробного описания, поскольку именно по объектам из этой локации были получены ключевые палеомагнитные данные (см. ниже),

а также уникальная геологическая информация. Карьер вскрывает экзоконтактовую зону восточной части Бердяушского массива. Вмещающие доломиты нижнерифейской саткинской свиты здесь смяты в реидные складки, мраморизованы, местами превращены в кальцифиры. В доломитах встречаются апофизы гранитоидов мощностью 30–70 см, деформированные с образованием птигматитовых складок вместе с вмещающими породами. Гранитоиды подверглись существенной метасоматической переработке; на контакте с доломитами часто обнаруживаются скарноиды. И доломиты, и апофизы гранитоидов прорываются серией из 8 параллельных маломощных субвертикальных даек долеритов ЗСЗ простирания (Аз пр  $270\text{--}300^\circ$ ; сайты 16-1 — 16-8 в табл. 1). Дайки имеют ровные прямолинейные контакты, не подвержены пластическим деформациям, затронувшим вмещающие породы; в них фиксируются лишь отдельные смещения по малоамплитудным сдвигам северо-восточного простирания. Кроме того, в мраморизованных доломитах встречена еще одна дайка, существенно более измененная по сравнению с остальными и, в отличие от них, полого падающая на восток (Аз пд  $71^\circ$ , угол  $46^\circ$ ). По одной из опробованных даек (сайт 16-1) недавно был получен U-Pb возраст  $1349 \pm 11$  млн лет, указанный выше.

В районе г. Куса были опробованы 3 силлоподобных тела, полого падающих на юго-восток конформно вмещающим породам саткинской и айской свит нижнего рифея (сайты 19–21). Видимая мощность силлов 5–8 м.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст в  $1360 \pm 9$  млн лет, приведенный выше [Эрнст и др., 2008], был получен по силлу в сайте 19-1.

## Методика

Отбор ориентированных образцов для палеомагнитных исследований производился вручную, их ориентировка в пространстве — с помощью магнитного компаса, с постоянным контролем возможного влияния сильномагнитных пород на стрелку компаса. Привязка каждой точки отбора осуществлялась с помощью GPS-приемника. Из каждого сайта было отобрано от 8 до 18 образцов. Общее количество ориентированных образцов из 21 сайта составило около 270. Величина местного магнитного склонения рассчитывалась по модели IGRF. Лабораторные палеомагнитные исследования и обработка результатов магнитных чисток выполнялись в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН. Все образцы были

подвергнуты ступенчатой температурной чистке до полного размагничивания (8–17 шагов), которое достигалось в большинстве случаев при температурах 540–620 °С. Для размагничивания образцов использовались немагнитные печи «ММТD-80» с величиной нескомпенсированного поля не более 5–10 нТл. Остаточная намагниченность образцов измерялась при помощи спин-магнитометра JR-6 AGICO или криогенного магнитометра 2G Enterprises. Обработку измерений остаточной намагниченности выполняли при помощи пакетов программ Enkin [Enkin, 1994] и Remasoft [Chadima, Hroudá, 2006], использующих при выделении компонент намагниченности метод компонентного анализа [Kirschvink, 1980]. Анализ полученных данных производился с использованием статистики Фишера [Fisher, 1953]. Измерения анизотропии магнитной восприимчивости проводились на кап-пометре MFK-1FA компании AGICO. Обработка измерений выполнялась в программе Anisoft 4.2 с использованием статистических методов, описанных в работе [Jelínek, 1978]. При анализе эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости использовались параметры Pj (корректированная степень анизотропии) и T (параметр формы эллипсоида) [Jelínek, 1981].

### **Петрографическая и геохимическая характеристика**

**Петрография.** Большая часть исследованных тел по данным оптической микроскопии представлена габбро-долеритами и долеритами с пойкилоофитовой и долеритовой структурой (рис. 2а). По размеру кристаллов структура варьирует от мелко- до среднезернистой в зависимости от мощности интрузива и расстояния от контакта. В состав породы входят плагиоклаз (содержание в основном 40–55%), клинопироксен (30–50%) и рудные минералы, представленные магнетитом и/или титаномагнетитом (5–10%). В телах в районе г. Кусы встречается также первичномагматический биотит (5–10%). Вторичные изменения выражены типичными минералами зеленосланцевой фации метаморфизма: хлоритом, актинолитом и серицитом, а также биотитом, развивающимся по клинопироксену. В мелких дайках и эндоконтактных зонах крупных силлов встречаются редкие миндалины, выполненные хлоритом, актинолитом и кальцитом. Наибольшая степень вторичных изменений проявлена в дайке из сайта 16-9, в которой исходные долериты практически полностью замещены

карбонатными минералами, по-видимому, в ходе взаимодействия с вмещающими доломитами саткинской свиты.

Чертами, характерными для кургасского комплекса, в изученных интрузиях являются: 1) относительно свежий облик пород и низкая степень развития вторичных минералов в сравнении с более древними комплексами; 2) слабый плеохроизм клинопироксена в бледно-розово-зеленоватых тонах; 3) пойкилоофитовые структуры с прорастанием субидiomорфных удлиненно-призматических кристаллов плагиоклаза через крупные ксеноморфные зерна клинопироксена [Хотылев и др., 2017; Хотылев и др., в печати]

**Геохимия.** Детальная геохимическая характеристика тел кургасского комплекса приведена в работе [Хотылев и др., в печати]. Следует отметить наличие среди опробованных интрузий как низко-, так и высокотитанистых габброидов (0.5–1.6% и 1.8–2.7% TiO<sub>2</sub> соответственно), при этом содержание титана в целом увеличивается с юга на север, от г. Бакал к г. Куса. Что касается распределения элементов-примесей, в интрузивах всех районов исследования обнаруживается обеднение Ta-Nb, обогащение Pb, а также менее четко выраженный минимум по Zr-Hf. При этом в районе г. Бакал большинство анализов по степени обогащения несовместимыми элементами близки к E-MORB, в районе г. Куса — к OIB, а в пос. Бердяуш присутствуют оба геохимических типа (рис. 2б). Важно подчеркнуть, что среди серии маломощных близко-расположенных параллельных даек в сайте 16 близ пос. Бердяуш присутствуют как базиты, близкие к E-MORB, так и OIB-подобные разности, без пород промежуточного состава. Таким образом, не только внутри одного комплекса, но даже в течение одного магматического события могли формироваться дайки, существенно различающиеся по спектрам элементов-примесей. Причины вышеописанной геохимической зональности в поле распространения кургасского комплекса обсуждаются в работе [Хотылев и др., в печати].

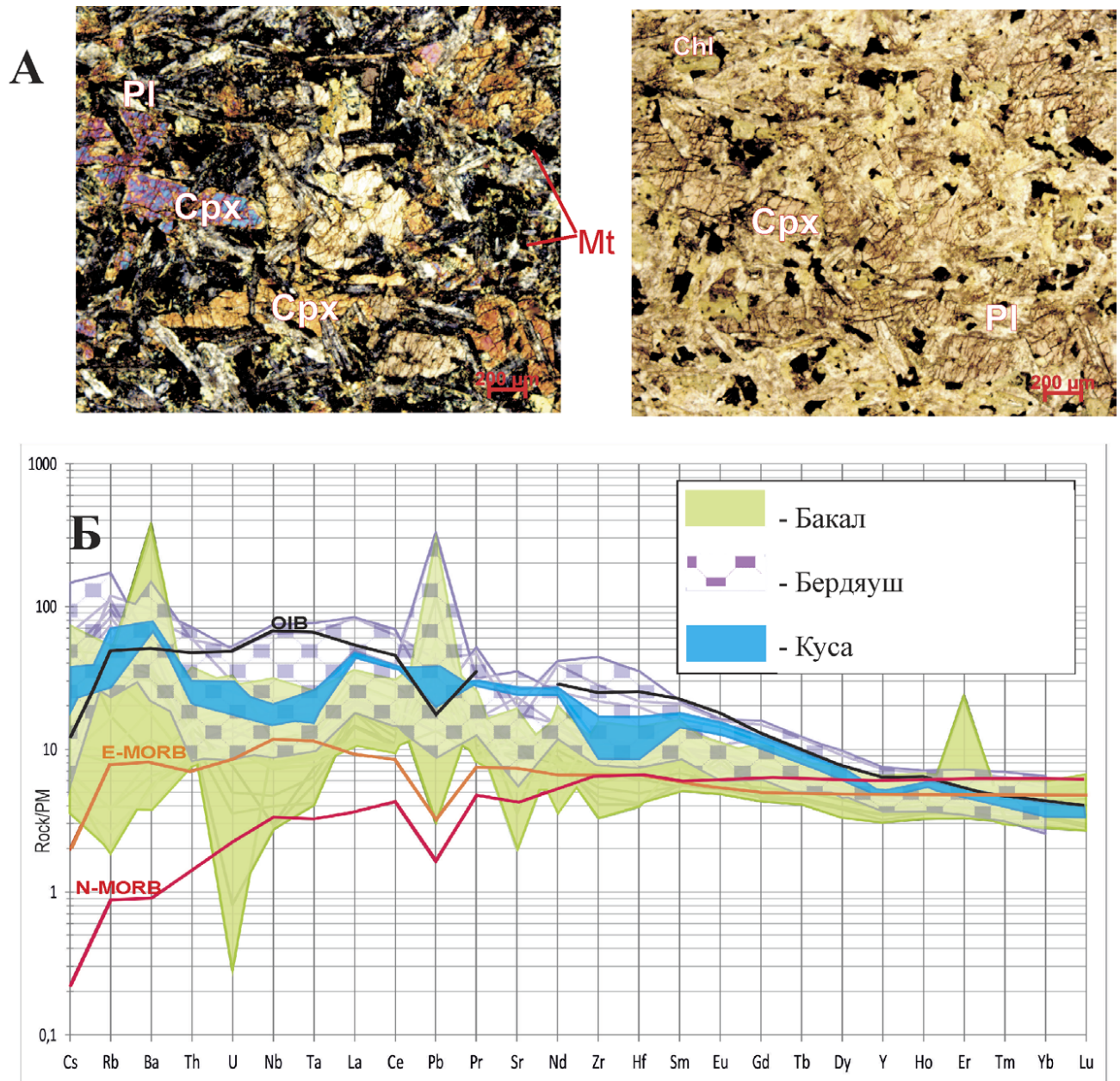
### **Палеомагнетизм**

**Результаты компонентного анализа намагниченности.** В образцах, представляющих интрузивные тела в районе пос. Бердяуш, качество палеомагнитного сигнала варьирует от отличного до практически неинтерпретируемого. Тем не менее характеристические компоненты намагниченности, позволяющие рассчитать средние по сайту

палеомагнитные направления, были выделены во всех объектах. Во всех телах встречается низкотемпературная компонента, которая, как правило, разрушается к 250–300°C и имеет направления, часто близкие к современному магнитному полю,

хотя и характеризующиеся значительным разбросом. Эта компонента, по нашему мнению, имеет вязкую природу и не обсуждается далее.

Во всех сайтах выделяется высокотемпературная характеристическая компонента остаточной



**Рис. 2. Петролого-геохимическая характеристика изученных интрузий**

А — фото долеритов сайта 16 (пос. Бердяуш) в шлифе (слева — в скрещенных николях, справа — в одном николе). Pl — плагиоклаз; Cpx — клинопироксен; Mt — магнетит; Chl — хлорит. Б — распределение элементов-примесей в исследованных интрузиях. Нормировано на примитивную мантию. Стандарты N-MORB, E-MORB, OIB — по [Sun, McDonough, 1989].

**Fig. 2. Petrographic and geochemical features of the studied intrusions**

А — dolerites from the site 16 (Berdyash settlement) in the thin section (on the left — crossed nicols; on the right — parallel nicols). Pl — plagioclase; Cpx — clinopyroxene; Mt — magnetite; Chl — chlorite. Б — Spectra of the trace elements in the studied intrusions. Normalized to primitive mantle; N-MORB, E-MORB, OIB standards from — [Sun, McDonough, 1989].

намагниченности (НТ), которая имеет юго-западные склонения и низкие наклонения. Эта компонента, как правило, изолируется в температурном интервале 500–600 °С (иногда до 620 °С) в сайтах 16-1 – 16-8 (рис. 3а); в интервале 460–600 °С в сайтах 10, 11. Образцы дайки из сайта 16-9, как правило, полностью размагничиваются к температурам 350–400 °С (рис. 3в), либо при дальнейших нагревах начинаются новообразования магнитных минералов, которые делают невозможным интерпретацию палеомагнитной записи.

Кроме того, во многих образцах выделена также среднетемпературная компонента намагни-

ченности (МТ), которая разблокируется в диапазоне температур 350–500 °С, характеризуется юго-западными склонениями, обратной полярностью и более высокими наклонениями по сравнению с высокотемпературной компонентой (рис. 3б). Несмотря на то, что эта компонента присутствует в отдельных образцах в большинстве тел, близость направлений к высокотемпературной компоненте, а также, возможно, частичное перекрытие спектров их деблокирующих температур затрудняют ее выделение. В связи с этим среднее направление компоненты МТ удалось надежно рассчитать только в сайте 16-6 (табл. 1).

Таблица 1

Среднесайтовые палеомагнитные направления для опробованных интрузий

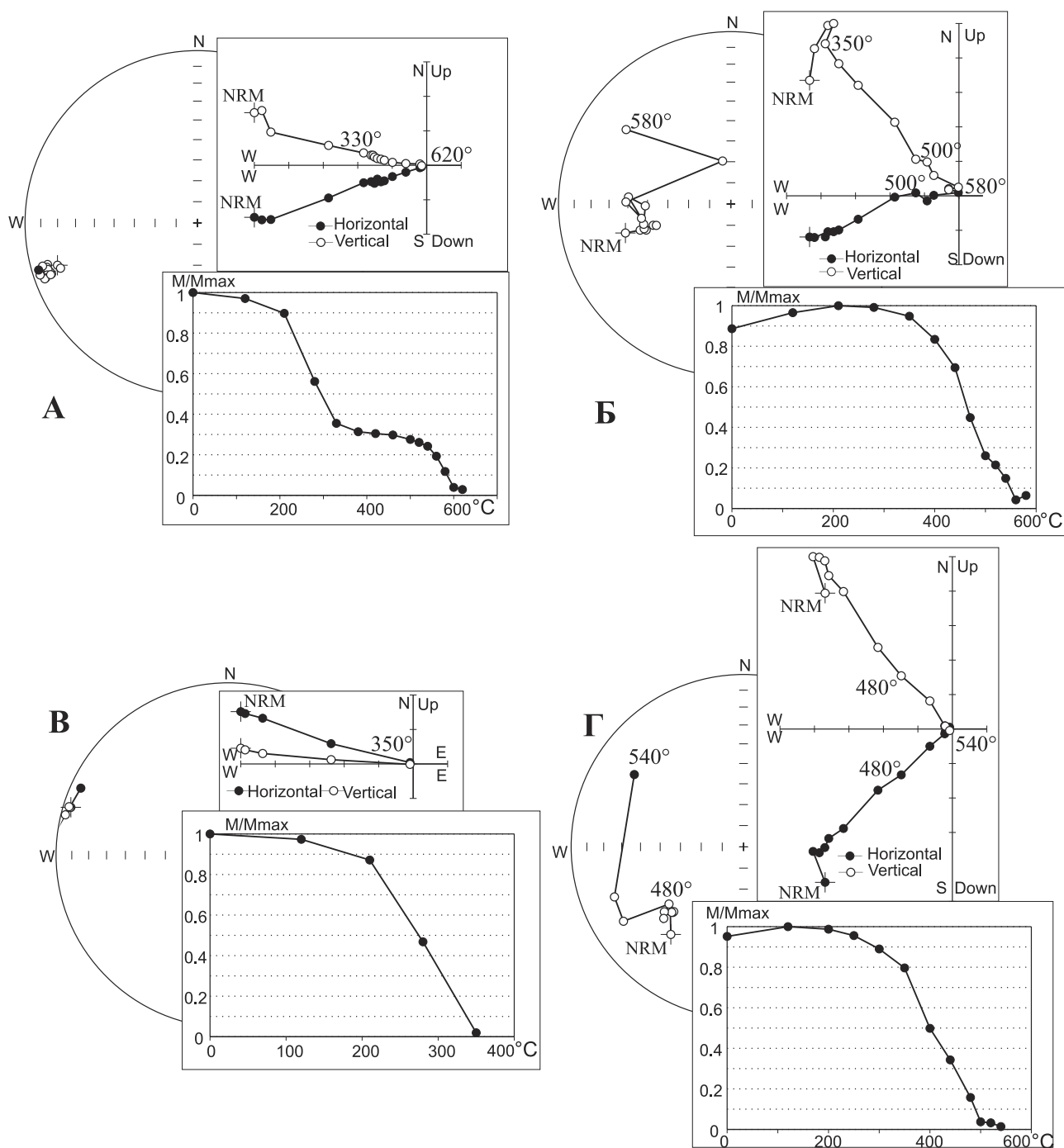
Table 1

Site-mean paleomagnetic directions for the sampled intrusions

Сайт	Координаты	n/N	Dg, °	Ig, °	K	$\alpha_{95}$ , °
<b>Бердяушский район</b>						
11	N55°09'14.00" E59°08'24.67"	12(15)	256.1	-10.5	16.4	11.1
16-1	N55.12830° E59.12668°	9(15)	258.3	4.4	58.4	6.8
16-2	N55.12830° E59.12668°	14(14)	248.8	14	31.7	7.2
16-3	N55.12830° E59.12668°	7(10)	253.1	-14.1	53.3	8.3
16-4	N55.12830° E59.12668°	6(8)	258.3	0.5	21.9	14.7
16-5	N55.12830° E59.12668°	9(12)	252.2	5.6	44.6	7.8
16-7	N55.12830° E59.12668°	8(8)	250.3	2.5	93.4	5.8
16-8	N55.12830° E59.12668°	6(8)	257.5	6.8	53.6	9.2
<i>Среднее направление по интрузиям Бердяушского района</i>		<b>8</b>	<b>254.3</b>	<b>1.2</b>	<b>66.4</b>	<b>6.8</b>
16-6	N55.12830° E59.12668°	9(10)	254.9	-23.9	27.6	10
10	N55°09'23.51" E59°07'41.44"	14(16)	246.6	-32.1	36.5	6.7
16-9	N55.12830° E59.12668°	5(10)	284.2	-7.2	52.1	10.7
16-6МТ	N55.12830° E59.12668°	7(10)	229.2	-38.6	57.4	8
<b>Бакальский район</b>						
1	N54°56'58.80" E58°47'58.80"	15(15)	212.4	-18.2	71.1	4.6
2	N54°57'22.90" E58°52'53.90"	8(15)	218.9	-30.5	10	18.4
5	N54°55'40.84" E58°54'03.39"	11(12)	217.9	-34.4	28.8	8.7
6	N54°51'20.60" E58°57'38.30"	13(13)	247.4	-43.8	28	8
7	N54°55'32.10" E58°59'41.20"	3(8)	225.5	-46.2	86.6	13.3
8	N54°55'44.30" E58°59'22.80"	13(14)	219.8	-46.2	28.8	7.9
9	N54°55'41.70" E58°58'36.10"	9(12)	231.2	-40.6	53.3	7.1
<i>Среднее направление по интрузиям Бакальского района</i>		<b>7</b>	<b>223.9</b>	<b>-37.6</b>	<b>35.1</b>	<b>10.3</b>
<b>Кусинский район</b>						
19-1	N55°19'19.07" E59°26'36.97"	13(18)	229.8	-44.8	12.5	12.2
20	N55°24'24.16" E59°27'32.10"	5(13)	223.6	-34.5	17.4	18.8
21	N55°21'27.10" E59°30'13.60"	4(15)	227.7	-45.6	40.5	14.6
<i>Среднее направление по интрузиям Кусинского района</i>		<b>3</b>	<b>226.9</b>	<b>-41.7</b>	<b>149.1</b>	<b>10.1</b>

Примечания: n/N — количество образцов/сайтов, по которым рассчитано среднее (в скобках — общее количество образцов); Dg, Ig — склонение и наклонение в географической системе координат; K — кучность,  $\alpha_{95}$  — доверительный интервал.

Notes: n/N — number of samples/sites used in the calculation (the total number of samples analyzed is shown in brackets); Dg, Ig — declination and inclination in the geographic coordinate system; K — concentration parameter;  $\alpha_{95}$  — confidence ratio.



**Рис. 3. Результаты температурной чистки: типичные стереограммы и диаграммы Зийдвервельда [Zijderveld, 1967]**

А — образец 217, сайт 16-1, Бердяуш. Б — образец 284, сайт 16-6, Бердяуш. В — образец 307, сайт 16-9, Бердяуш. Г — образец 118, сайт 9, Бакал. На стереограммах: заливные кружки — нижняя полусфера, полые кружки — верхняя полусфера. Система координат географическая.  $M/M_{max}$  — отношение магнитного момента при данной температуре к максимальному;  $T$  — температура; NRM — естественная остаточная намагниченность.

**Fig. 3. Results of the thermal demagnetization: the typical stereographic and Zijderveld diagrams [Zijderveld, 1967]**

А — sample 217, site 16-1, Berdyaush. В — sample 284; site 16-6, Berdyaush. С — sample 307, site 16-9, Berdyaush. D — sample 118; site 9, Bakal. On the stereographic diagrams: filled circles — lower hemisphere; empty circles — upper hemisphere. Geographic coordinate system.  $M/Max$  — magnetic moment at the given temperature/maximal magnetic moment ratio;  $T$  — temperature; NRM — natural remanent magnetization.



Средние палеомагнитные направления по сайтам 11, 16-1 — 16-5, 16-7, 16-8 образуют тесный кластер (рис. 4а), что свидетельствует о формировании намагниченности соответствующих даек, а также силла из сайта 11 в течение одного кратковременного эпизода. Среднее направление по дайке 16-9 также характеризуется низким наклоном, однако значительно отличается по склонению от основной группы направлений. Этот факт указывает на иное время образования остаточной намагниченности в дайке 16-9 и отсутствие перемагничивающего события, которое повлияло бы одновременно на все тела в данном карьере. Следовательно, различие направлений в сайтах 16-9 и 16-1 — 16-8 является аргументом в пользу первичности намагниченности в данных интрузиях.

Направление среднетемпературной компоненты в сайте 16-6 (16-6МТ на рис. 4а) также существенно отличается от основной группы и близко к распространенным позднепалеозойским направлениям западного склона Урала [Шипунов, 1993; Иосифиди и др., 2012]. Мы рассматриваем среднетемпературную компоненту как наложенную, сформировавшуюся в период позднепалеозойской Уральской коллизии. Следует отметить, что направления высокотемпературной компоненты намагниченности в сайтах 10 и 16-6, хотя и близки к основному кластеру, тяготеют к направлению

16-6МТ (рис. 4а), что может быть связано с частичным вкладом наложенной компоненты.

В интрузивных телах в районах гг. Бакал и Куса качество палеомагнитной записи, как правило, довольно низкое. Несмотря на это, во всех рассматриваемых сайтах были изолированы характеристические высокотемпературные компоненты намагниченности (рис. 3г) и рассчитаны среднесайтовые палеомагнитные направления (4б, в). В обоих районах все направления имеют обратную полярность, юго-западные склонения и умеренные наклоны. В географической системе координат направления сгруппированы в одной и той же области стереограммы и близки к направлению 16-6МТ (табл. 1). Указанные факты свидетельствуют в пользу позднепалеозойского возраста намагниченности в интрузиях районов Бакала и Кусы.

Средние направления по бакальским и кусинским интрузивным телам значительно отличаются от среднего направления, рассчитанного по дайкам в районе пос. Бердяуш, и в то же время статистически неразличимы друг от друга (рис. 4г). Следовательно, в изученных интрузиях нами зафиксирована остаточная намагниченность двух возрастов: 1) первичная, с возрастом около 1349 млн лет (рубеж раннего — среднего рифея), записанная в дайках в районе пос. Бердяуш; 2) наложенная позднепалеозойская, которая повсеместно присутствует

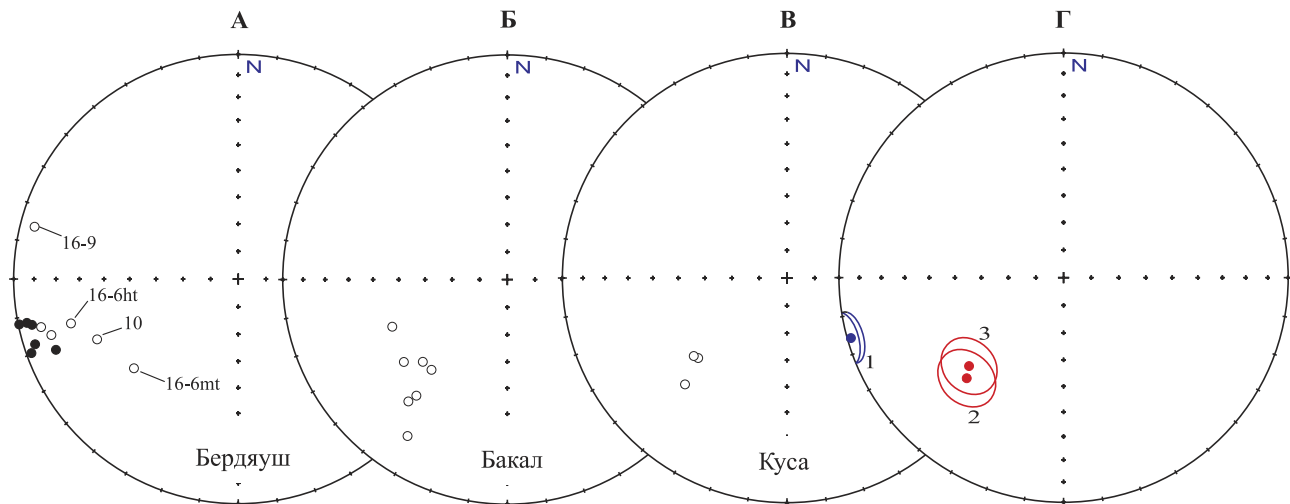


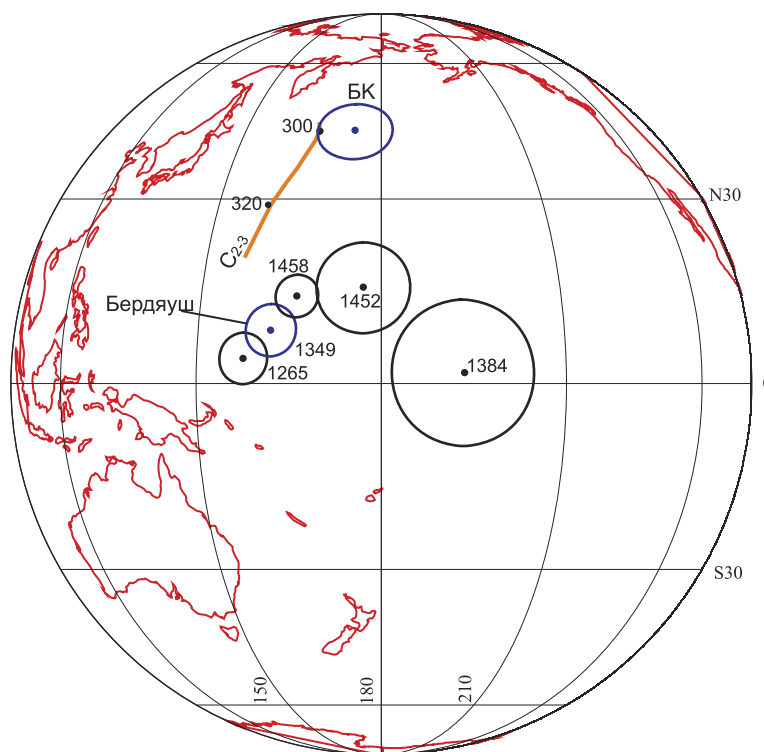
Рис. 4. А–В — распределение средних палеомагнитных направлений по сайтам в изученных районах: А — Бердяуш, Б — Бакал, В — Куса; стереографическая проекция, географическая система координат; полые кружки — верхняя полусфера, залитые кружки — нижняя полусфера. Г — средние направления по районам: 1 — Бердяуш; 2 — Бакал; 3 — Куса; синий кружок — нижняя полусфера, красные кружки — верхняя полусфера.

Fig. 4. А–В — The site-mean paleomagnetic directions in the studied regions: А — Berdyaush; В — Bakal; С — Kusa; stereographic projection, geographic coordinate system; empty circles — the upper hemisphere, filled circles — the lower hemisphere. Г — mean directions for the studied regions; blue circle — lower hemisphere; red circles — upper hemisphere.

в телах в районах гг. Бакал и Куса, а также встречается в бердяушских дайках.

**Расчет палеомагнитных полюсов и обсуждение результатов.** По 8 сайтам в районе пос. Бердяуш, для которых были выделены высокотемпературные компоненты остаточной намагниченности, был рассчитан палеомагнитный полюс для рубежа раннего – среднего рифея Восточно-Европейской платформы (табл. 2). Средние направления по сайтам 16-6 и 10 были исключены из расчета из-за возможной их контаминации компонентой МТ (см. выше). При выборе полярности мы располагаем полученный полюс в северном полушарии, так же, как это было сделано в большинстве предшествующих исследований [Buchan et al., 2000; Salminen, Pesonen, 2007; Лубнина, 2009]. Рассчитанный нами полюс («Бердяуш» на рис. 5) находится между полюсами с близкими возрастами для Восточно-Европейской платформы, полученными по интрузиям Балтийского щита: 1458 млн лет [Salminen, Pesonen, 2007] и 1265 млн лет [Buchan et al., 2000] и хорошо дополняет существующую траекторию кажущейся миграции полюса для этого временного интервала.

Учитывая сложности при получении валидных палеомагнитных данных по западному склону Урала, рассмотренные во Введении, для оценки надежности рассчитанного нами полюса требуется обсуждение двух аспектов: 1) доказательства первичности остаточной намагниченности; 2) отсутствие неучтенных тектонических движений,



**Рис. 5. Сравнение полученных полюсов с опубликованными данными по мезопротерозою и позднему палеозою Восточно-Европейской платформы**

Синие кружки с овалами доверия — полюсы, полученные в данной работе: «Бердяуш» — ранне-среднерифейский полюс по Бердяушским дайкам; БК — полюс позднепалеозойского перемагничивания по Бакальским и Кусинским телам. Цифры возле полюсов — возраст в млн лет. На рис. показаны полюсы из работ: 1265 — [Buchan et al., 2000]; 1384 — [Лубнина, 2009]; 1452 — [Lubnina et al., 2010]; 1458 — [Salminen, Pesonen, 2007]. Оранжевая линия — средне-позднекаменноугольный фрагмент ТКМП для Балтики [Torsvik et al., 2012].

**Fig. 5. Comparison of the obtained poles with the published data for the Mesoproterozoic and Later Paleozoic of the East European craton**

Blue dots with the confidence ellipses are the poles obtained in this work: “Berdyaukh” is the Lower-Middle Riphean pole for the Berdyaukh dikes; BK — is the pole of the Later Paleozoic remagnetization for the Bakal and Kusa intrusions. Numbers near the poles are the ages in Ma. Published paleomagnetic poles: 1265 — [Buchan et al., 2000]; 1384 — [Lubnina, 2009]; 1452 — [Lubnina et al., 2010]; 1458 — [Salminen, Pesonen, 2007]. Orange line is the Middle-Late Carboniferous part of the APWP for Baltica [Torsvik et al., 2012].

**Таблица 2**

Рассчитанные полюсы по интрузиям Башкирского мегантиклинория

**Table 2**

Calculated poles for the intrusions of the Bashkirian meganticlinorium

Полюс	N	$P_{long}, ^\circ$	$P_{lat}, ^\circ$	$A_{95}, ^\circ$
Средний полюс по рифейской компоненте ЕОН	8	162.4	8.4	4.1
Средний полюс позднепалеозойского перемагничивания	11	174.5	43	5.8

*Примечания:* N — количество сайтов;  $P_{long}$ ,  $P_{lat}$  — долгота, широта полюса;  $A_{95}$  — доверительный интервал. Пояснения см. в тексте.  
*Notes:* N — number of sites;  $P_{long}$ ,  $P_{lat}$  — longitude, latitude of the paleomagnetic pole;  $A_{95}$  — confidence interval. For explanation see the text.

которые могли бы привести к наклону или вращению исследованного блока. Основными доводами в пользу первичности намагниченности являются: 1) близость полученного полюса к имеющимся для этого времени полюсам для Восточно-Европейской платформы; 2) его отличие от позднепалеозойских полюсов, что свидетельствует об отсутствии широко проявленного на Урале синколлизиионного перемагничивания; 3) значимо различающиеся палеомагнитные направления в разновозрастных дайках сайта 16, что указывает на отсутствие перемагничивающих событий в этой локации, которые повлияли бы сразу на все интрузии.

При этом следует отметить, что рассчитанный полюс «Бердяуш», как и упомянутые выше полюсы, полученные по интрузиям Балтийского щита, расположен достаточно близко к позднесилурийскому участку траектории кажущейся миграции полюса ВЕП, предлагаемой в работе [Torsvik et al., 2012]. Этот факт свидетельствует, что возможность перемагничивания не может быть полностью исключена, и требует внимательного анализа всех полюсов ВЕП с близкими возрастами. В нашем случае дополнительным, хотя и недостаточным аргументом в пользу первичности намагниченности может служить тот факт, что эндогенные события в данной части Башкирского мегантиклинория, которые могли бы привести к перемагничиванию в позднесилурийское время, авторам не известны.

Учет возможного наклона блоков после образования исследованных интрузий представляет собой существенную проблему, поскольку складчатые деформации вмещающих пород, очевидно, произошли в ходе формирования Бердяушского массива, то есть до внедрения даек. Хотя полностью исключить возможность наклона опрокинутого блока не представляется возможным, есть свидетельства того, что эти дислокации, если и имели место, были не слишком значительны. Во-первых, на удалении от непосредственного контакта Бердяушского массива (в 1 км к востоку от сайта 16) доломиты саткинской свиты смяты в пологие складки, углы падения крыльев которых нигде не превышают 15–20°. Во-вторых, рассмотренные дайки имеют субвертикальное залегание и, согласно нашей модели, выполняют трещины отрыва в присдвиговой зоне (см. раздел «Анизотропия магнитной восприимчивости»). Эти факты показывают, что возможные дислокации блока, которые могли привести к его наклону, скорее всего, были относительно невелики.

Вопрос о возможном горизонтальном вращении фрагментов Башкирского мегантиклинория в период позднепалеозойской коллизии обсуждался и ранее. В работе [Павлов и др., 2010] приводятся результаты анализа палеомагнитных направлений, полученных по породам верхнерифейской катавской свиты в разных частях Башкирского мегантиклинория. Сравнение палеомагнитных направлений показало, что, хотя отдельные блоки в пределах мегантиклинория испытывали вращение, в целом его основные структурные элементы не обнаруживают следов перемещений относительно друг друга и Восточно-Европейской платформы. Палеомагнитные данные по палеозойским и позднепротерозойским толщам поднятия Каратау (самая западная часть Уральского складчатого сооружения), приведенные в работе [Голованова и др., 2017], также свидетельствуют в пользу отсутствия поворотов данного блока относительно других структур Урала и ВЕП. В работе [Levashova et al., 2013] авторы также приходят к выводу о возможности использования палеомагнитных данных по западному склону Урала для платформы на основании анализа результатов, полученных по вендской зиганской свите. Тем не менее очевидно, что такое обоснование не является достаточным, чтобы исключить возможность вращения, поэтому мы приводим дополнительные доводы в пользу этого (см. ниже).

В дополнение следует отметить, что полученные нами палеомагнитные направления по дайкам района пос. Бердяуш демонстрируют высокую кучность и, скорее всего, отвечают единому кратковременному магматическому событию. Недавние результаты исследования интрузивных комплексов Крупных магматических провинций показывают, что такого набора данных далеко не всегда достаточно для усреднения вековых вариаций геомагнитного поля [Konstantinov et al., 2014; Latyshev et al., 2018], поэтому поиск новых интрузий кургаского комплекса, несущих первичную компоненту намагниченности, и их палеомагнитное изучение являются крайне желательными.

По объектам, где была выделена позднепалеозойская компонента естественной остаточной намагниченности, нами также был рассчитан полюс (табл. 2). В выборку вошли 11 сайтов, представляющие 7 интрузий Бакальского района, 3 силла близ г. Куся и дайка 16-6 у пос. Бердяуш (компонента МТ). Полученный полюс (БК на рис. 5) значимо отличается от рассчитанного для возраста 1349 млн лет и близок к средне-позднекаменноугольному фрагменту кривой кажущейся миграции полюса

ВЕРП по [Torsvik et al., 2012]. Это подтверждает версию о позднепалеозойском возрасте данных компонент намагниченности.

Для оценки возможных относительных перемещений блоков в пределах Башкирского мегантиклинория нами было проведено сравнение средних палеомагнитных направлений, рассчитанных по интрузиям гг. Бакал и Куса (расстояние между крайними точками 75 км). В случае относительных горизонтальных смещений этих районов после приобретения намагниченности (то есть, скорее всего, в посткаменноугольное время) следовало бы ожидать, что средние направления по бакальским и кусинским интрузиям будут значимо различаться. Сравнение, выполненное по методике [McFadden, McElhinny, 1990], показало, что эти направления статистически неразличимы:  $\gamma/\gamma_{кр} = 4.7^\circ/16.3^\circ$ . Поскольку основная фаза тектонических деформаций в западной части Урала имела место в перми [Пучков, 2000], скорее всего, это произошло после перемагничивания интрузивных тел. Это можно рассматривать как дополнительный аргумент в пользу жесткости Башкирского мегантиклинория в позднепалеозойское время и возможности использования палеомагнитных данных по этому району для Восточно-Европейской платформы.

### Анизотропия магнитной восприимчивости

Для реконструкции направлений транспорта магмы при внедрении исследованных интрузий и поиска закономерностей в пространственном распределении направлений течения нами были проведены измерения анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ). В данной работе приведены результаты измерений по 9 дайкам и субвертикальному силлу в районе пос. Бердяуш и трем силлам в районе г. Куса.

**Бердяушский район.** Величина магнитной восприимчивости в долеритах даек Бердяушского района в большинстве тел варьирует в диапазоне  $5 \times 10^{-3} - 3.3 \times 10^{-2}$  ед. СИ, указывая, что основной вклад в магнитную анизотропию вносит ферримагнитная составляющая [Tarling, Hrouda, 1993]. Исключение составляют сайты 11 и 16-6, где значения магнитной восприимчивости существенно ниже (табл. 3). Таким образом, в этих сайтах парамагнитные минералы также могут влиять на общую анизотропию магнитной восприимчивости наряду с ферримагнитными.

Для определения состава магнитной фракции на типичных образцах из разных сайтов были сня-

ты кривые зависимости магнитной восприимчивости от температуры. По данным термокаппаметрии, основным минералом — носителем намагниченности в изучаемых интрузиях является магнетит с температурами Кюри 570–600°C (рис. 6а). Во многих образцах также обнаруживается фаза с блокирующими температурами 300–400°C, вероятно, отвечающая титаномагнетиту. Наконец, по отдельным кривым можно зафиксировать наличие гематита, который характеризуется температурами Кюри выше 650°C.

Значения параметра  $P_j$ , показывающего степень анизотропии, в интрузиях района пос. Бердяуш варьируют от 1.005 до 1.06. Такие величины этого параметра характерны для базитов с первично магматической магнитной текстурой, не претерпевших значительной метаморфической и тектонической переработки [Tarling, Hrouda, 1993]. Параметр  $T$ , характеризующий форму эллипсоида АМВ, в 5 сайтах из 9 положителен, что соответствует вытянутому эллипсоиду, в 4 сайтах — отрицателен (сплюснутый эллипсоид). При этом следует отметить, что сайты с  $T > 0$ , как правило, демонстрируют более высокие значения степени анизотропии ( $P_j = 1.04 - 1.06$ ) по сравнению с сайтами с  $T < 0$  ( $P_j < 1.02$ , за единственным исключением). Очевидной зависимости параметров  $T$  и  $P_j$  от величины магнитной восприимчивости не прослеживается.

В 3 сайтах из 9 наблюдается так называемый «нормальный» тип магнитной текстуры (N-тип), при котором минимальная ось эллипсоида  $K_3$  перпендикулярна контакту интрузии, а две другие оси лежат в плоскости дайки или силла (рис. 6б, табл. 3). 2 сайта обладают обратным типом магнитной текстуры (R-тип, [Rochette et al., 1991]), который характеризуется максимальной осью  $K_1$ , ориентированной перпендикулярно контакту, и осями  $K_2$  и  $K_3$ , лежащими в плоскости дайки. Наконец, 4 сайта демонстрируют промежуточный тип эллипсоида (I-тип), при котором средняя ось анизотропии  $K_2$  ортогональна контакту (рис. 6в).

Причины «инверсии» эллипсоида АМВ, приводящей к формированию магнитной текстуры R-типа, на настоящий момент не ясны. Одна из наиболее распространенных в литературе гипотез, объясняющих данный феномен — это преобладание в составе магнитной фракции однодоменных зерен магнетита или маггемита [Potter, Stephenson, 1988]. Для тестирования этой версии мы планируем провести анализ доменного состава образцов с различным типом эллипсоида. В свою очередь, универсального объяснения обнаруженному I-типу

Таблица 3

Результаты измерения анизотропии магнитной восприимчивости

Table 3

Results of the measurement of anisotropy of magnetic susceptibility

Сайт	Объект	Тип эллипсоида	N	K	Pj	T	K1			K2			K3			Контакт	
							D	I	Сi	D	I	Сi	D	I	Сi	Аз пл, °	∠ пл, °
<b>Бердяушский район</b>																	
11	силл	N	15	6.22E-04	1.004	-0.019	198.6	39	30.9/29.5	34.8	49.8	39.2/26.0	295.2	8.1	38.4/28.8	282	87
16-1	дайка	I	5	4.69E-03	1.06	0.256	292.5	28	20.8/10.0	199.4	5.7	14.8/3.1	98.9	61.3	18.1/3.8	182	87
16-2	дайка	I	13	9.98E-03	1.047	0.145	278.8	24.3	31.5/12.0	24.1	30.3	33.1/24.9	157	49.4	27.9/12.3	198	78
16-3	дайка	N	6	1.52E-02	1.018	-0.115	275.3	47.7	15.6/7.3	105.9	41.8	15.4/11.8	11.1	5.3	15.6/11.9	206	78
16-4	дайка	I	7	5.35E-03	1.011	-0.093	113.9	12.5	32.5/13.8	204.6	3	68.4/9.8	307.9	77.1	68.4/23.7	13	80
16-5	дайка	R	9	8.47E-03	1.04	0.042	353.1	19.5	42.1/11.8	254.6	22.7	41.8/12.0	119.8	59.3	20.1/12.7	183	73
16-6	дайка	N	9	2.46E-04	1.045	0.472	116.1	21	9.4/8.7	269.2	66.7	16.1/9.0	22.4	9.6	16.5/8.0	193	73
16-7	дайка	R	8	1.34E-02	1.054	-0.111	342.7	28.1	16.5/8.6	246.9	10.7	19.1/14.5	138.2	59.6	17.5/8.6	359	90
16-8	дайка	I	5	3.29E-02	1.058	0.425	323.5	49.4	15.8/2.7	201	24.8	23.4/11.7	95.6	29.9	21.3/1.5	218	75
<b>Кусинский район</b>																	
19	силл	N	18	1.24E-02	1.032	-0.024	9.4	3.8	47.0/21.5	278.1	19	46.5/39.8	110.3	70.6	41.9/17.3	148	22
20	силл	N	13	7.51E-03	1.027	0.451	212	6.6	43.9/10.1	117.2	36.2	43.9/19.0	310.8	53.1	19.7/9.3	112	47
21	силл	N	15	1.33E-02	1.037	0.227	261.2	6.1	25.4/13.0	166.6	36.8	27.8/24.4	359.3	52.5	27.3/12.6	171	27

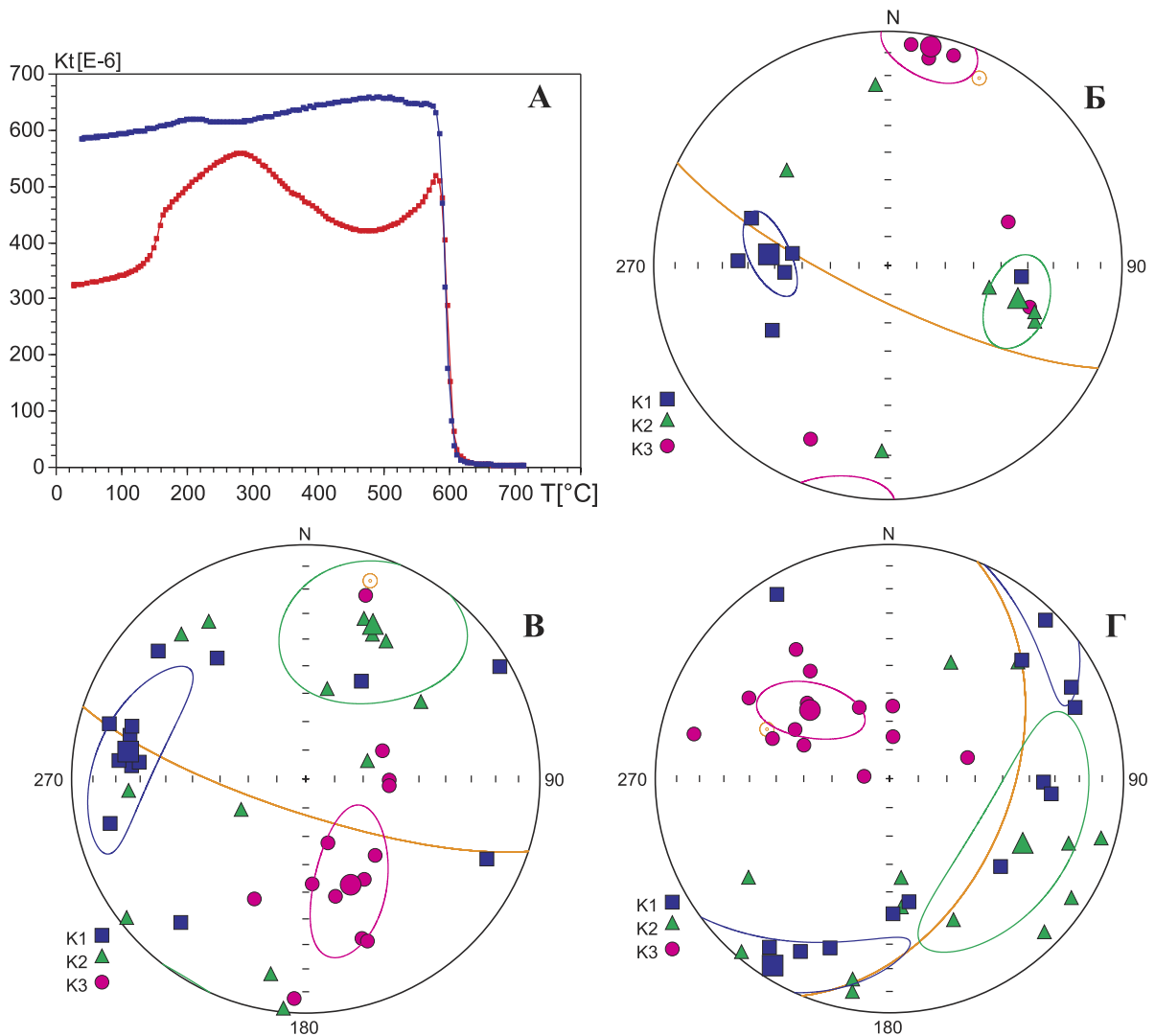
Примечания: K — общая магнитная восприимчивость, ед СИ; N — количество образцов; Pj — корректированная степень анизотропии; T — параметр формы эллипсоида АМВ; K1 — максимальная ось эллипсоида; K2 — средняя ось; K3 — минимальная ось. D — склонение, °; I — наклонение, °; C1 — радиусы овалов доверия, °. Для K, Pj, T, D, I — приведены средние значения по сайтам. Типы эллипсоида АМВ: N — нормальный; R — обратный; I — промежуточный.

Notes: K — average magnetic susceptibility, SI units; N — number of samples; Pj — corrected degree of anisotropy; T — shape parameter; K1 — maximal axis of AMS ellipsoid; K2 — intermediate axis; K3 — minimal axis. D — declination, °; I — inclination, °; C1 — confidence ellipse ratios, °. For K, Pj, T, D, I the site-mean values are given. Types of the magnetic fabric: N — normal; R — reverse; I — intermediate.

магнитной текстуры также не существует. В качестве возможных причин этого явления предлагались: 1) вертикальное сжатие при остывании дайки и консолидации статичной магматической колонны, если ось K3 вертикальна [Park et al., 1988]; 2) сочетание многодоменных и однодоменных зерен магнетита или титаномагнетита [Ferré, 2002]; 3) наложение различных факторов, формирующих

магнитную текстуру, например, течения расплава и напряжений при остывании интрузива [Dragonì et al., 1997].

В случае N-типа магнитной текстуры в плоскостных базитовых интрузиях ориентировку максимальной оси K1, как правило, интерпретируют как соответствующую направлению течения расплава [Ernst, Varagar, 1992]. В сайтах 16-3 и 16-6



**Рис. 6. Результаты измерения анизотропии магнитной восприимчивости и термокаппетрии**

А — кривая зависимости магнитной восприимчивости от температуры. Красная линия — нагрев, синяя — охлаждение. Б–Г — примеры АМВ в изученных интрузивных телах. Стереографическая проекция, нижняя полусфера. K1, K2, K3 — соответственно максимальная, средняя и минимальная оси эллипсоида АМВ. Плоскость тела и нормаль к ней показаны оранжевой линией и точкой соответственно. Б — сайт 16-3, дайка в районе пос. Бердяуш, N-тип магнитной текстуры. В — сайт 16-2, дайка в районе пос. Бердяуш, I-тип магнитной текстуры. Г — Сайт 20, силл в районе г. Куса, N-тип магнитной текстуры.

**Fig. 6. Results of the measurements of the anisotropy of magnetic susceptibility and thermomagnetic analysis**

A — temperature dependence of the magnetic susceptibility. Red line is heating, blue line is cooling. Б–Г — examples of AMS in the studied intrusions. Stereographic projection, lower hemisphere. K1, K2, K3 — maximal, intermediate and minimal axes of the AMS ellipsoid, respectively. The intrusion plane and its pole are shown as the orange line and dot, respectively. Б — site 16-3, dike near Berdyauh settlement, N-type of the magnetic fabric. В — site 16-2, dike near Berdyauh settlement, I-type of the magnetic fabric. Г — site 20, sill near Kusa town, N-type of the magnetic fabric.

ось K1 лежит в плоскости интрузии, полого падая на северо-запад и юго-восток соответственно (табл. 3), что указывает на латеральные перемещения расплава. В сайте 11, представляющем субвертикальный силл, максимальная ось демонстрирует пологое падение на юг. Если рассмотреть дополнительно 4 дайки с I-типом магнитной текстуры, то в 3 из них ось K1 также погружается на северо-запад под углами 25–50°, и в одном случае имеет субгоризонтальную ориентировку.

Таким образом, во всех плоскостных интрузиях Бердяушского района, где максимальная ось эллипсоида АМВ лежит в плоскости тела, она ориентирована относительно полого (углы падения не превышают 50°) или субгоризонтально. Из 6 параллельных даек в карьере к югу от пос. Бердяуш с N- и I-типом эллипсоида ось K1 в 4 случаях погружается на северо-запад под углами 25–50°, а в 2 сайтах полого падает на юго-восток (углы падения 12–21°). Это свидетельствует в пользу внедрения даек с северо-запада на юго-восток под относительно небольшими углами.

**Кусинский район.** Силлы в районе г. Кусы характеризуются величиной магнитной восприимчивости в диапазоне  $7.5 \times 10^{-3}$  –  $1.35 \times 10^{-2}$  и низкой степенью анизотропии ( $P_j = 1.027$ – $1.037$ ). Таким образом, магнитная текстура в этих интрузиях, скорее всего, имеет первично-магматическую природу и обусловлена распределением ферромагнитных минералов (магнетита и/или титаномагнетита). В 1 сайте наблюдается планарный тип эллипсоида АМВ ( $T < 0$ ), в 2 остальных эллипсоид имеет вытянутую форму (табл. 3).

Все три интрузии обладают N-типом анизотропии, что выражается в субвертикальной или крутой ориентировке минимальной оси K3 и пологом залегании остальных осей. Учитывая низкую степень анизотропии, вариации параметра формы эллипсоида и нормальный тип магнитной текстуры, мы предполагаем, что АМВ кусинских силлов сформирована под воздействием нескольких факторов: движения магматического расплава, локальных напряжений, связанных с остыванием тела [Tarling, Hrouda, 1993; Andersson et al., 2016], а также кристаллизационным осаждением магнитных частиц [O'Driscoll et al., 2015].

Во всех 3 силлах максимальная ось K1 ориентирована субгоризонтально, при этом в сайтах 19 и 20 эллипсоид вытянут в ССВ–ЮЮЗ направлении (рис. 6г), в то время как в сайте 21 ось K1 полого погружается на запад. Следовательно, для большинства интрузий Кусинского района можно

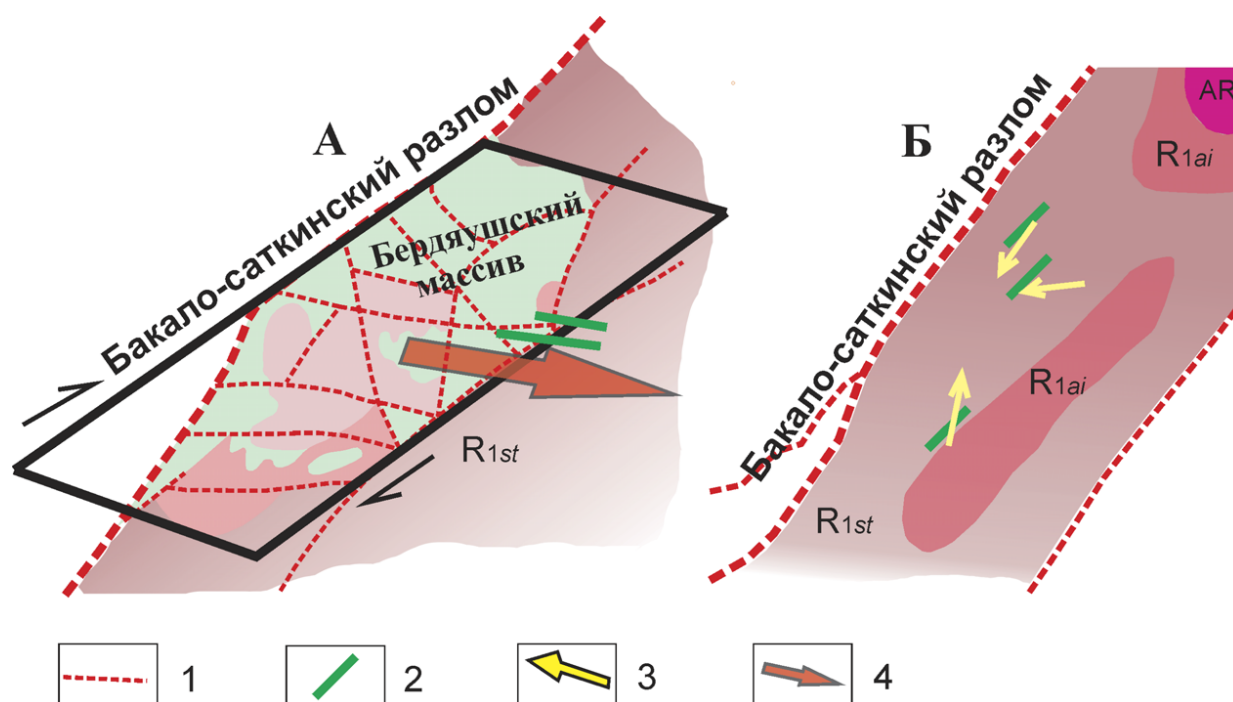
предположить ССВ направление движения расплава, хотя для надежной реконструкции требуется исследование большего числа тел.

**Интерпретация данных.** Для интерпретации результатов измерения АМВ в дайках Бердяушского района мы проанализировали морфологию Бердяушского массива и ориентировку разрывных нарушений региона. Бердяушский массив с запада ограничен крупным Бакало-Саткинским разломом и имеет форму, в плане близкую к параллелепипедальной. Такую морфологию массива можно объяснить его внедрением в локальную область растяжения в присдвиговой зоне («сдвиговой магматический дуплекс» [Тевелев Ал.В., Тевелев Арк.В., 1999]). Большая часть опробованных нами даек обладает ЗСЗ простираниями, нетипичными для дайковых комплексов Башкирского мегантиклинория. Рассматривая ориентировку даек в рамках той же модели, мы предполагаем, что их внедрение происходило по трещинам отрыва в присдвиговой зоне (рис. 7а). Учитывая падения максимальной оси эллипсоида АМВ на северо-запад в большинстве сайтов, мы предполагаем, что распространение магмы происходило с СЗ на ЮВ, то есть от Бакало-Саткинского разлома. Таким образом, в конце раннего – начале среднего рифея Бакало-Саткинский разлом действовал как долгоживущая магмоподводящая зона, контролирующая внедрение как Бердяушского массива (возраст около 1370 млн лет [Ронкин и др., 2016]), так и секущих его дайковых тел (возраст  $1349 \pm 11$  млн лет).

В районе г. Куса северо-восточная ориентировка максимальной оси АМВ в силлах (сайты 19, 20) конформна простиранию большинства дайковых тел в этом районе. Более того, разрывные нарушения к западу от г. Кусы, включая Бакало-Саткинский разлом, также характеризуются близкими простираниями. Таким образом, движение магмы в кусинских силлах было параллельным региональной зоне растяжения, контролировавшей формирование дайковых тел в этом районе (рис. 7б). Что касается расположенного восточнее сайта 21, то ось K1 для него параллельна близлежащим разрывным нарушениям и, вероятно, определяется локальной тектоникой.

## Выводы

1. Исследованные интрузии Башкирского мегантиклинория в основном принадлежат к кургасскому комплексу рубежа раннего – среднего рифея. Анализ геохимических характеристик



**Рис. 7. Интерпретация результатов измерения АМВ. А — кинематическая модель формирования Бердяушского массива и даек кургасского комплекса. Б — реконструкция направлений течения магмы в интрузиях района г. Кусы**

*Условные обозначения:* 1 — разрывные нарушения; 2 — опробованные интрузии; 3 — направление падения оси К1 эллипсоида АМВ в Кусинских интрузиях; 4 — предполагаемое направление распространения магмы. Прочие условные обозначения те же, что и на рис. 1.

**Fig. 7. Interpretation of the AMS analysis. А — kinematic model of the emplacement of Berdyush pluton and dikes of the Kurgassky complex. Б — reconstruction of the magma flow directions in the intrusions in Kusa region**

*Legend:* 1 — faults and shears; 2 — sampled intrusions; 3 — dip direction of K1 axis of AMS ellipsoid in Kusa sills; 4 — suggested direction of the magma transport. For the explanatory other notes see Fig. 1.

интрузивных тел показывает, что степень обогащения несовместимыми элементами увеличивается с юга на север. При этом дайки, существенно различающиеся по спектрам элементов-примесей, могли формироваться в течение единого кратковременного магматического события.

2. По 8 маломощным интрузиям в районе пос. Бердяуш нами был рассчитан новый палеомагнитный полюс для границы раннего – среднего рифея Восточно-Европейской платформы (1349 млн лет). Надежность полученного результата подкреплена доводами в пользу отсутствия регионального перемагничивания и незначительности постмагматических дислокаций в пределах блока. Новый полюс хорошо соответствует полученным ранее для близких возрастов и вносит вклад в разработку траектории кажущейся миграции полюса ВЕП в рифее.

3. По 11 интрузиям рассчитан полюс позднепалеозойского синколлизийного перемагничивания, близкий к средне-позднекаменноугольному

участку кривой кажущейся миграции полюса ВЕП по [Torsvik et al., 2012]. Сравнение средних палеомагнитных направлений этой наложенной компоненты намагниченности в разных районах свидетельствует об отсутствии относительных вращений блоков Башкирского мегантиклинория в позднепалеозойское время.

4. Анализ результатов измерений анизотропии магнитной восприимчивости показывает, что схема транспорта магматического расплава в районах г. Куса и пос. Бердяуш в значительной степени определялась деятельностью зон разрывных нарушений. Региональный Бакало-Саткинский разлом в конце раннего – начале позднего рифея играл роль региональной магмоподводящей зоны, контролировавшей формирование Бердяушского массива гранитоидов рапакиви и даек кургасского комплекса.

**Благодарности.** Авторы благодарят Ал.В. Тевелева за полезные дискуссии при работе над статьей, В.М. Мосейчука за содействие при проведении поле-



вых исследований, а также анонимного рецензента за ценные комментарии и замечания, которые позволили улучшить статью.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-01121.

### Список литературы:

- Алексеев А.А. Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. — М.: Наука, 1984. — 136 с.
- 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.
- Голованова И.В., Данукалов К.Н., Козлов В.И., Пучков В.Н., Павлов В.Э., Галле И., Левашова Н.М., Сирота Г.С., Хайруллин Р.Р., Баженов М.Л. Палеомагнетизм верхневендской басинской свиты башкирского мегантиклинория: результаты повторного исследования // Физика Земли. — 2011. — № 7. — С. 67–79.
- Иосифиди А.Г., Михайлова В.А., Сальная Н.В., Храмов А.Н. Палеомагнетизм осадочных пород ашинской серии западного склона Южного Урала: новые данные // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2012. — Т. 7, № 4. — С. 1–17.
- Ковалев С.Г., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. Петрогеохимия магматических комплексов западного склона Южного Урала и востока Восточно-Европейской платформы // Геологический сборник № 15 / Под ред. В.Н. Пучкова, Р.Ф. Абдрахманова, И.Б. Серавкина / ИГ УрО РАН. — СПб.: Свое издательство, 2015. — С. 117–137.
- Лубнина Н.В. Восточно-Европейский кратон в неопротерозое: новые ключевые палеомагнитные полюсы // Докл. РАН. — 2009. — Т. 428, № 2. — С. 252–257.
- Носова А.А., Сазонова Л.В., Каргин А.В., Ларионова Ю.О., Горожанин В.М., Ковалев С.Г. Мезопротерозойская внутриплитная магматическая провинция Западного Урала: основные петрогенетические типы пород и их происхождение // Петрология. — 2012. — Т. 20, № 4. — С. 392–428.
- Павлов В.Э., Галле И. Известняки катавской свиты: уникальный пример перематнивания или идеальный регистратор неопротерозойского геомагнитного поля? // Физика Земли. — 2009. — № 1. — С. 33–41.
- Павлов В.Э., Крупенин М.Т., Кузнецов Н.Б. Новые палеомагнитные данные по катавской свите: к вопросу о блоковом строении Башкирского поднятия // Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя: Матер. XLIII Тектонического совещания. — М.: ГЕОС, 2010. — Т. 2. — С. 101–107.
- Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. — Уфа: Даурия, 2000. — 146 с.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). — Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. — 280 с.
- Ронкин Ю.Л., Тихомирова М., Маслов А.В. 1380 млн лет LIP Южного Урала: прецизионные U-Pb-ID-TIMS-ограничения // Докл. РАН. — 2016. — Т. 468, № 6. — С. 674–769.
- Свяжина И.А., Пучков В.Н., Иванов К.С., Петров Г.А. Палеомагнетизм ордовика Урала. — Екатеринбург: ИГ УрО РАН, 2003. — 136 с.
- Тевелев Ал.В., Тевелев Арк.В. Сдвиговые магматические дуплексы. // Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма: Матер. 32-го Тектонич. совещ. — М.: ГЕОС, 1999. — Т. 1. — С. 189–193.
- Хотылев А.О., Тевелев Ал.В., Мосейчук В.М., Бычков А.Ю., Девшиева Н.Б. Суимский и кургасский рифейские дайковые комплексы: состав и петрологические особенности (Южный Урал, Башкирский мегантиклинорий) // Бюл. МОИП. Отд. геол. — 2017. — Т. 92, № 5. — С. 3–14.
- Хотылев А.О., Тевелев А.В., Мосейчук В.М., Девшиева Н.Б., Бычкова Я.В., Латышев А.В. Мезопротерозойский базитовый магматизм Башкирского мегантиклинория (Южный Урал): возрастные ограничения, петрологические и геохимические особенности // Геология и геофизика. — В печати.
- Шинунов С.В. Основы палеомагнитного анализа: Теория и практика. — М.: Наука, 1993. — 159 с. — (Труды ГИН РАН; Вып. 487).
- Эрнст Р.Э., Хейнс Дж.А., Пучков В.Н., Округин А.В., Арчибальд Д.А. Рекогносцировочное Ar-Ag датирование протерозойских долеритовых даек и силлов в Сибири и на Южном Урале: идентификация новых крупных магматических провинций и использование при реконструкции суперконтинента Нуна (Колумбия) // Матер. 41-го Тектонического совещания / Отв. ред. Ю.В. Карякин. — М.: ГЕОС, 2008. — Т. 2. — С. 492–496.
- Andersson M., Almqvist B.S.G., Burchardt S., Troll V.R., Malehmir A., Snowball I., Kubler L. Magma transport in sheet intrusions of the Alnö carbonatite complex, central Sweden // Sci. Rep. — 2016. — V. 6, Article ID 27635. — doi: 10.1038/srep27635.
- Buchan K.L., Mertanen S., Park R.G., Pesonen L.J., Elming S.-A., Abrahamsen N., Bylund G. Comparising the drift of Laurentia and Baltica in the Proterozoic: the importance of key palaeomagnetic poles // Tectonophysics. — 2000. — V. 319, Is. 3. — P. 167–198.
- Chadima, M., Hroudka, F. Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer // Travaux Géophysiques. — 2006. — XXVII. — P. 20–21.
- Dragoni M., Lanza R., Tallarico A. Magnetic anisotropy produced by magma flow; theoretical model and experimental data from Ferrar dolerite sills (Antarctica) // J. Geophys. Int. — 1997. — V. 128 — P. 230–240.
- Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data // Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada. — 1994. — 16 p.
- Ernst R.E., Baragar W.R.A. Evidence from magnetic fabric for the flow pattern of magma in the Mackenzie Giant Radiating dyke swarm // Nature. — 1992. — V. 356. — P. 511–513.
- Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M. Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник № 5 / Под ред. В.Н. Пучкова, Р.Ф. Абдрахманова, И.Б. Серавкина / ИГ УрО РАН. — Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. — С. 1–45.

- Ferré E.C.* Theoretical models of intermediate and inverse AMS fabrics // *Geophys. Res. Lett.* – 2002. – V. 29, Is. 7. – P. 31–31–4. – doi: 10.1029/2001GL014367.
- Fisher R.* Dispersion on a Sphere // *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences.* – 1953. – V. 217(1130). – P. 295–305.
- Jelínek V.* Statistical processing of anisotropy of magnetic susceptibility measures on groups of specimens // *Studia geophysica et geodetica.* – 1978. – V. 22. – P. 50–62.
- Jelínek V.* Characterization of the magnetic fabrics of rocks // *Tectonophysics.* – 1981. – V. 79 – P. T63–T67.
- Kirschvink J.L.* The Least-Square Line and Plane and the Analysis of Paleomagnetic Data // *Geophys. J. R. Astr. Soc.* – 1980. – V. 62. – P. 699–718.
- Konstantinov K.M., Bazhenov M.L., Fetisova A.M., Khutorskoy M.D.* Paleomagnetism of trap intrusions, East Siberia: Implications to flood basalt emplacement and the Permo-Triassic crisis of biosphere // *Earth and Planetary Science Letters.* – 2014. – V. 394. – P. 242–253.
- Latyshev A.V., Veselovskiy R.V., Ivanov A.V.* Paleomagnetism of the Permian-Triassic intrusions from the Tunguska syncline and the Angara-Taseeva depression Siberian Traps Large Igneous Province: evidence of contrasting styles of magmatism // *Tectonophysics.* – 2018. – V. 723. – P. 41–55. – doi:10.1016/j.tecto.2017.11.035.
- Levashova N.M., Bazhenov M.L., Joseph G., 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. – V. 236. – P. 16–30.
- Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Danukalov K.N., Golovanova I.V., Kuznetsov N.B., Fedorova N.M.* Paleomagnetism of upper Ediacaran clastics from the South Urals: Implications to paleogeography of Baltica and the opening of the Iapetus Ocean // *Gondwana Research.* – 2015. – V. 28. – P. 191–208.
- Lubnina N.V., Mertanen S., Soderlund U., Bogdanova S., Vasilieva T.I., Frank-Kamenetskiy D.* A new key pole for the East European Craton at 1452 Ma: Palaeomagnetic and geochronological constraints from mafic rocks in the Lake Ladoga region (Russian Karelia) // *Precambrian Research.* – 2010. – V. 183. – P. 442–462.
- McFadden P.L., McElhinny M.W.* Classification of the reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* – 1990. – V. 103. – P. 725–729.
- O'Driscoll B., Ferre E.C., Stevenson S.T.E., Magee C.* The significance of magnetic fabric in layered mafic-ultramafic intrusions // *Layered intrusions / B. Charlier et al. (eds.).* – Springer, 2015. – P. 295–329.
- Park J. K., Tanczyk E. I., Desbarats A.* Magnetic fabric and its significance in the 1400 Ma Mealy diabase dykes of Labrador, Canada // *J. Geophys. Res.* – 1988. – V. 93, No. B11. – P. 13.689–13.704.
- Potter D.K., Stephenson A.* Single-domain particles in rocks and magnetic fabric analysis // *Geophysical Research Letters.* – 1988. – V. 15 – P. 1097–1100.
- Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R.E., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Söderlund U., Wingate M.T.D., Postnikov A.V., Sergeeva N.D.* The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // *Lithos.* – 2013. – V. 174. – P. 109–124.
- Rochette P., Jenatton L., Dupuy C., Boudier F., Reuber I.* Diabase dikes emplacement in the Oman ophiolite: a magnetic fabric study with reference to geochemistry // *Ophiolite Genesis and Evolution of the oceanic lithosphere / Tj. Peters et al. (eds.): Proceedings of the Ophiolite Conference, held in Muscat, Oman (7–18 January 1990).* – 1991. – P. 55–82.
- Salminen J., Pesonen L.J.* Palaeomagnetic and rock magnetic study of the Mesoproterozoic sill, Valaam island, Russian Karelia // *Precambrian Res.* – 2007. – V. 159. – P. 212–230.
- Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* – 1989. – V. 42. – P. 313–345.
- Tarling D.H., Hrouda F.* The Magnetic Anisotropy of Rocks. – Chapman, Hall, London, 1993. – 217 p.
- Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., Mac Niocaill C., Steinberger B., Doubrovine P.V., van Hinsbergen D.J.J., Domeier M., Gaina C., Tohver E., Meert J.G., McCausland P.J.A., Cocks L.R.M.* Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics // *Earth-Sci. Reviews.* – 2012. – V. 114. – P. 325–368.
- Zijderveld J.D.A.* A.C. demagnetization of rocks: analysis of results. *Methods in paleomagnetism / D.W. Collinson, K.M. Creer (eds.).* – Amsterdam: Elsevier, 1967. – P. 254–286.

#### References:

- Alekseev A.A.* Rifejsko-vendskiy magmatizm zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Riphean-Vendian magmatism of the Western slope of the Southern Urals]. M.: Nauka, 1984. 136 p. (In Russian).
- Andersson M., Almqvist B.S.G., Burchardt S., Troll V.R., Malehmir A., Snowball I., Kubler L.* Magma transport in sheet intrusions of the Alnö carbonatite complex, central Sweden // *Sci. Rep.* 2016. V. 6. Article ID 27635. doi: 10.1038/srep27635.
- Buchan K.L., Mertanen S., Park R.G., Pesonen L.J., Elming S.-A., Abrahamsen N., Bylund G.* Comparising the drift of Laurentia and Baltica in the Proterozoic: the importance of key palaeomagnetic poles // *Tectonophysics.* 2000. V. 319 (3). P. 167–198.
- Chadima M., Hrouda F.* Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer // *Travaux Géophysiques.* 2006. – XXVII. P. 20–21.
- Dragoni M., Lanza R., Tallarico A.* Magnetic anisotropy produced by magma flow; theoretical model and experimental data from Ferrar dolerite sills (Antarctica) // *J. Geophys. Int.* 1997. V. 128. P. 230–240.
- Enkin R.J.* A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada. 1994. 16 p.
- Ernst R.E., Baragar W.R.A.* Evidence from magnetic fabric for the flow pattern of magma in the Mackenzie Giant Radiating dyke swarm // *Nature.* 1992. V. 356. P. 511–513.
- Ernst R.E., Hejns Dzh.A., Puchkov V.N., Okrugin A.V., Archibald D.A.* Rekognoscirovochnoe Ar-Ar datirovanie proterozojskih doleritovyh daek i sillov v Sibiri i na YUzhnom Urale: identifikaciya novyh krupnyh magmaticheskikh provincij i ispol'zovanie pri rekonstrukcii superkontinenta Nuna (Kolombiya) [Ar-Ar reconnaissance Dating of Proterozoic dolerite dikes and sills in Siberia and the Southern Urals: identification of new large magmatic provinces and use in the reconstruction of the supercontinent Noona (Columbia)] // *Mat-ly 41-go Tektoni-*

cheskogo soveshchaniya [XLI Tectonic meeting materials] / *Y.V. Karyakin (ed.)*. M.: GEOS, 2008. V. 2. P. 492–496 (In Russian).

*Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M.* Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // *Geologicheskyy sbornik No. 5 / V.N. Puchkov, R.F. Abdrahmanov, I.B. Seravkin (eds.) / IG UrO RAN*. 2006. P. 1–45.

*Ferré E.C.* Theoretical models of intermediate and inverse AMS fabrics // *Geophys. Res. Lett.* 2002. V. 29, Is. 7. P. 31–31-4. doi: 10.1029/2001GL014367.

*Fisher R.* Dispersion on a Sphere // *Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 1953. V. 217 (1130). P. 295–305.

*Golovanova I.V., Danukalov K.N., Kadyrov A.F., Khidiyatov M.M., Sal'manova R.Yu., Shakurov R.K., Levashova N.M., Bazhenov M.L.* Paleomagnetism of sedimentary strata and the origin of the structures in the western slope of South Urals // *Izvestiya. Physics of Solid Earth*, 2017. Vol. 53, Iss. 2. P. 311–319.

*Golovanova I.V., Danukalov K.N., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Pavlov V.E., Gallet Y., Levashova N.M., Sirota G.S., Hairulin R.R., Bazhenov M.L.* Paleomagnetizm verhnenevendskoi basinskoi svity bashkirskogo megantiklinoriya: rezul'taty povtornogo issledovaniya [Paleomagnetism of the Upper Vendian Basu formation of the Bashkirian Meganticlinorium revisited] // *Izvestiya. Physics of Solid Earth*. 2011. No. 7. P. 67–79 (In Russian).

*Iosifidi A.G., Mihailova V.A., Salnaya N.V., Hramov A.N.* Paleomagnetizm osadochnyyh porod ashinskoj serii zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala: novye dannye [Paleomagnetism of sedimentary rocks of the Ashin series of the Western slope of the Southern Urals: new data] // *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2012. V. 7, No. 4. P. 1–17 (In Russian).

*Jelínek V.* Statistical processing of anisotropy of magnetic susceptibility measures on groups of specimens // *Studia geophysica et geodetica*. 1978. V. 22. P. 50–62.

*Jelínek V.* Characterization of the magnetic fabrics of rocks // *Tectonophysics*. 1981. V. 79. P. T63–T67.

*Khotylev A.O., Tevelev A.V., Mosejchuk V.M., Bychkov A.Yu., Devisheva N.B.* Suimskii i kurgasskii rifeiskie daikovy kompleksy: sostav i petrologicheskie osobennosti (Yuzhnyj Ural, Bashkirskii megantiklinorii) [Suim and Kurgas Riphean dyke complexes: composition and petrological features (Southern Urals, Bashkirian megazone)] // *Byul. MOIP. Otd. geol.* 2017. V. 92, No. 5. P. 3–14 (In Russian).

*Khotylev A.O., Tevelev A.V., Moseichuk V.M., Devisheva N.B., Bychkova Ya.V., Latyshev A.V.* Mezoproterozojskii bazitovyy magmatizm Bashkirskogo megantiklinoriya (Yuzhnyj Ural): vozrastnye ogranicheniya, petrologicheskie i geohimicheskie osobennosti [Mesoproterozoic basic magmatism in the Bashkirian anticlinorium (southern Urals): age constraints, petrological and geochemical features] // *Geologiya i geofizika*, entered the press (In Russian).

*Kirschvink J.L.* The Least-Square Line and Plane and the Analysis of Paleomagnetic Data // *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 1980. V. 62. P. 699–718.

*Konstantinov K.M., Bazhenov M.L., Fetisova A.M., Khutorskoy M.D.* Paleomagnetism of trap intrusions, East Siberia: Implications to flood basalt emplacement and the Permo-Triassic

crisis of biosphere // *Earth and Planetary Science Letters*. 2014. V. 394. P. 242–253.

*Kovalev S.G., Vysockii S.I., Kovalev S.S.* Petrogeohimiya magmaticheskikh kompleksov zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala i vostoka Vostochno-Evropskoj platform [Petrogeochemistry of magmatic complexes of the Western slope of the Southern Urals and the East of the East European platform] // *Geologicheskii sb. № 15 / V.N. Puchkov, R.F. Abdrahmanov, I.B. Seravkin (eds.) / IG UrO RAN*. SPb.: Svoe izdatelstvo, 2015. P. 117–137 (In Russian).

*Latyshev A.V., Veselovskiy R.V., Ivanov A.V.* Paleomagnetism of the Permian-Triassic intrusions from the Tunguska syncline and the Angara-Taseeva depression Siberian Traps Large Igneous Province: evidence of contrasting styles of magmatism // *Tectonophysics*. 2018. V. 723. P. 41–55. doi:10.1016/j.tecto.2017.11.035.

*Levashova N.M., Bazhenov M.L., Joseph G., 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. V. 236. P. 16–30.

*Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Danukalov K.N., Golovanova I.V., Kuznetsov N.B., Fedorova N.M.* Paleomagnetism of upper Ediacaran clastics from the South Urals: Implications to paleogeography of Baltica and the opening of the Iapetus Ocean // *Gondwana Research*. 2015. V. 28. P. 191–208.

*Lubnina N.V.* The East European Craton in the Mesoproterozoic: New key paleomagnetic poles // *Doklady Earth Sciences*. 2009. V. 428, No. 2. P. 252–257.

*Lubnina N.V., Mertanen S., Soderlund U., Bogdanova S., Vasilieva T.I., Frank-Kamenetskiy D.* A new key pole for the East European Craton at 1452 Ma: Palaeomagnetic and geochronological constraints from mafic rocks in the Lake Ladoga region (Russian Karelia) // *Precambrian Research*. 2010. V. 183. P. 442–462.

*McFadden P.L., McElhinny M.W.* Classification of the reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* 1990. V. 103. P. 725–729.

*Nosova A.A., Sazonova L.V., Kargin A.V., Larionova Y.O., Gorozhanin V.M., Kovalev S.G.* Mesoproterozoic Within-Plate Igneous Province of the Western Urals: Main Petrogenetic Rock Types and Their Origin // *Petrology*. 2012. V. 20, No. 4. P. 356–390.

*O'Driscoll B., Ferre E.C., Stevenson S.T.E., Magee C.* The significance of magnetic fabric in layered mafic-ultramafic intrusions. Chapter 7 // *Charlier B. et al. (eds.)*. Layered intrusions. Springer, 2015. P. 295–329.

*Park J.K., Tanczyk E.I., Desbarats A.* Magnetic fabric and its significance in the 1400 Ma Mealy diabase dykes of Labrador, Canada // *J. Geophys. Res.* 1988. V. 93, No. B11. P. 13.689–13.704.

*Pavlov V.E., Gallet Y.* Katav limestones: A unique example of remagnetization or an ideal recorder of the Neoproterozoic geomagnetic field // *Izvestiya. Physics of Solid Earth*. 2009. V. 45, No. 1. P. 31–40.

*Pavlov V.E., Krupenin M.T., Kuznetsov N.B.* Novye paleomagnetnye dannye po katavskoj svite: k voprosu o blokovom stroenii Bashkirskogo podnyatiya [New paleomagnetic data on

the Katav formation: on the block structure of the Bashkirian uplift] // *Tektonika i geodinamika skladchatykh pojasov i platform fanerozoia: Materialy XLIII Tektonicheskogo Soveshchaniya [Tectonics and Geodynamics of Folded Belts and Phanerozoic Platforms: Proceedings of the XLIII Tectonic Meeting]*. Moscow: GEOS, 2010. V. 2. P. 101–107 (In Russian).

*Potter D.K., Stephenson A.* Single-domain particles in rocks and magnetic fabric analysis // *Geophysical Research Letters*. 1988. V. 15. P. 1097–1100.

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

*Puchkov V.N.* Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and the Cisurals (actual issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DizajnPoligrafServis, 2010. 280 p. (In Russian).

*Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R.E., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Söderlund U., Wingate M.T.D., Postnikov A.V., Sergeeva N.D.* The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // *Lithos*. 2013. V. 174. P. 109–124.

*Rochette P., Jenatton L., Dupuy C., Boudier F., Reuber I.* Diabase dikes emplacement in the Oman ophiolite: a magnetic fabric study with reference to geochemistry // *Ophiolite Genesis and Evolution of the oceanic lithosphere / Tj. Peters et al. (eds.): Proceedings of the Ophiolite Conference, held in Muscat, Oman (7–18 January 1990)*. 1991. P. 55–82.

*Ronkin Y.L., Tihomirova M., Maslov A.V.* The Southern Urals Large Igneous Province with an age of approximately 1380 Ma: Precision U–Pb ID-TIMS constraints // *Doklady Earth Sciences*. 2016. V. 468, No. 2. P. 587–592.

*Salminen J., Pesonen L.J.* Palaeomagnetic and rock magnetic study of the Mesoproterozoic sill, Valaam island, Russian Karelia // *Precambrian Res.* 2007. V. 159. P. 212–230.

*Shipunov S.V.* Osnovy paleomagnitnogo analiza: Teoriya i praktika [Basics of paleomagnetic analysis: Theory and practice]. M.: Nauka, 1993. 159 p. (Trudy GIN; Is. 487). (In Russian).

*Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 1989. V. 42. P. 313–345.

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

*Tarling D.H., Hrouda F.* The Magnetic Anisotropy of Rocks. Chapman, Hall, London, 1993. 217 p.

*Tevelev A.V., Tevelev Ark.V.* Sdvigovye magmatichek dupleksy [Shear magmatic duplexes] // *Tektonika, geodinamika i processy magmatizma i metamorfizma [Tectonics, geodynamics and processes of magmatism and metamorphism Shear magmatic]: Materialy XXXII Tektonicheskogo soveshchaniya [Proceedings of the XXXII Tectonic Meeting]*. Moscow: GEOS, 1999. V. 1. P. 189–193 (In Russian).

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

*Ziiderveld J.D.A.* A.C. demagnetization of rocks: analysis of results. *Methods in paleomagnetism / D.W. Collinson, K.M. Creer (eds.)*. Amsterdam: Elsevier, 1967. P. 254–286.

#### Сведения об авторах:

**Латышев Антон Валерьевич**, канд. геол.-мин. наук; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва. E-mail: anton.latyshev@gmail.com

**Аносова Майя Борисовна**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, г. Москва. E-mail: mai.anosova@yandex.ru

**Хотылев Алексей Олегович**, канд. геол.-мин. наук; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, г. Москва. E-mail: akhotylev@gmail.com

#### About the authors:

**Latyshev Anton**, PhD in Geology; Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University (Lomonosov MSU or MSU), Geological Faculty, department of regional geology and Earth history; Schmidt Institute of the Physics of the Earth RAS (IPE RAS), Moscow. E-mail: anton.latyshev@gmail.com

**Anosova Maiia**, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University (Lomonosov MSU or MSU), Geological Faculty, department of regional geology and Earth history, Moscow. E-mail: mai.anosova@yandex.ru

**Khotylev Alexey**, PhD in Geology; Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University (Lomonosov MSU or MSU), Geological Faculty, department of regional geology and Earth history, Moscow. E-mail: akhotylev@gmail.com