

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ И МАГНИТОСТРАТИГРАФИЯ ОПОРНЫХ ПЕРМСКО-ТРИАСОВЫХ РАЗРЕЗОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РУССКОЙ ПЛИТЫ: ЖУКОВ ОВРАГ, СЛУКИНО И ОКСКИЙ СЪЕЗД

А.М. Фетисова^{1,2}, В.К. Голубев³, Р.В. Веселовский^{1,2}, Ю.П. Балабанов⁴

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119234, Ленинские горы, 1, Москва, Россия

²Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123242, ул. Б. Грузинская, 10, Москва, Россия

³Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, 117647, ул. Профсоюзная, 123, Москва, Россия

⁴Казанский федеральный университет, 420008, ул. Кремлевская, 18, Казань, Россия

Представлены результаты детальных магнитостратиграфических исследований трех опорных пермско-триасовых разрезов континентальных красноцветов центральной части Восточно-Европейской платформы — Жуков овраг, Слукино и Окский съезд, на основе которых уточнена магнитостратиграфическая схема пограничного пермско-триасового интервала Русской плиты. Показано, что в состав магнитозоны R_3P , вероятнее всего, входит не 4 субзоны, как это предполагалось ранее, а 5 субзон магнитной полярности; это дает достаточные основания для переименования ее в ортозону RnP . В верхнепермских частях разрезов Жуков овраг и Окский съезд обнаружены интервалы аномальных палеомагнитных направлений, аналогичные выделенному ранее в близких по возрасту породах разреза Недуброво Вологодской области. Мы предполагаем, что зона аномальных палеомагнитных направлений имеет региональное распространение и отвечает продолжительному (как минимум, первые тысячи лет) периоду стабильной конфигурации магнитного поля Земли вблизи границы палеозоя и мезозоя, в первом приближении соответствующей полю субэкваториального диполя. Получены три новых пермско-триасовых палеомагнитных полюса Восточно-Европейской платформы, вычисленные с учетом эффекта занижения наклона: $PLat = 54.8^\circ$, $PLong = 173.6^\circ$, $dp/dm = 2.6^\circ/4.0^\circ$ (Жуков овраг); $PLat = 47.6^\circ$, $PLong = 164.3^\circ$, $dp/dm = 3.0^\circ/4.8^\circ$ (Слукино); $PLat = 52.7^\circ$, $PLong = 153.6^\circ$, $dp/dm = 3.7^\circ/5.4^\circ$ (Окский съезд).

Палеомагнетизм, пермь, триас, магнитостратиграфия, Русская плита

PALEOMAGNETISM AND MAGNETOSTRATIGRAPHY OF PERMIAN–TRIASSIC REFERENCE SECTIONS IN THE CENTRAL RUSSIAN PLATE: ZHUKOV RAVINE, SLUKINO, AND OKSKIY SIYEZD

A.M. Fetisova, V.K. Golubev, R.V. Veselovskiy, Yu.P. Balabanov

The Permian–Triassic magnetostratigraphy of the central East European platform has been updated using evidence from the Zhukov Ravine, Slukino, and Okskiy Siyezd reference continental redbed sequences. The new data reveal five rather than four polarity subzones in magnetozone R_3P , which thus can be ranked up to orthozone RnP . The upper Permian strata of the Zhukov Ravine and Okskiy Siyezd sections contain intervals of anomalous paleomagnetic directions similar to those revealed earlier in roughly coeval rocks from the Nedubrovo section in the Vologda region. The anomaly may be of regional extent and may correspond to quite a long (thousands of years) span of geomagnetic field stability near the Paleozoic–Mesozoic boundary, which fits the subequatorial dipole field in the first approximation. The paleomagnetic results were used to constrain the position of three new Permian–Triassic paleomagnetic poles of the East European platform, corrected for inclination shallowing: $PLat = 54.8^\circ$, $PLong = 173.6^\circ$, $dp/dm = 2.6^\circ/4.0^\circ$ (Zhukov Ravine); $PLat = 47.6^\circ$, $PLong = 164.3^\circ$, $dp/dm = 3.0^\circ/4.8^\circ$ (Slukino); $PLat = 52.7^\circ$, $PLong = 153.6^\circ$, $dp/dm = 3.7^\circ/5.4^\circ$ (Okskiy Siyezd).

Paleomagnetism, Permian, Triassic, magnetostratigraphy, Russian Plate

ВВЕДЕНИЕ

Составление глобальной шкалы геомагнитной полярности (GPTS, Geomagnetic Polarity Time Scale) — одна из наиболее актуальных задач современной палеомагнитологии. Разработка ее пермско-триасового интервала возможна исключительно по результатам палеомагнитного изучения обнажений горных пород на континентах, поскольку метод магнитных аномалий дна океанов не может быть ис-

пользован. Компиляция глобальной шкалы магнитной полярности перми и триаса выполняется путем сопоставления частных магнитостратиграфических шкал, составленных по результатам изучения наиболее полных и хорошо охарактеризованных разрезов осадочных и вулканических пород соответствующего возраста. Однако именно здесь существуют определенные особенности. Например, в провинции Мейшань на юге Китая, где расположен стратотип (GSSP) границы пермской и триасовой систем, преобладают осадочные породы морского происхождения, которые образуют относительно непрерывную, но конденсированную стратиграфическую последовательность [Henderson et al., 2020]. Возраст Р-Т границы, зафиксированной по первому появлению конодонтов *Hindeodus parvus*, здесь определен U-Pb методом по циркону из горизонтов туфов и оценивается в 251.902 ± 0.024 млн лет [Burgess et al., 2014]. Однако из-за объективных проблем с получением надежных палеомагнитных данных по границе перми и триаса в разрезе Мейшань (дислоцированность, высокая степень выветривания пород) и малых скоростей осадконакопления шкала магнитной полярности для этого стратотипического разреза до настоящего времени не может считаться надежно разработанной [Yin et al., 2001]. С другой стороны, благодаря высокой скорости осадконакопления и хорошему качеству палеомагнитной записи, континентальные пермско-триасовые отложения чехла Восточно-Европейской платформы позволяют уверенно получать более детальную запись древнего геомагнитного поля. Но здесь ситуация осложняется наличием большого количества внутриформационных перерывов, объем которых часто сложно определить. Поэтому детальная хроностратиграфическая корреляция континентальных разрезов даже в пределах конкретного района, равно как и составление на их основе сводной шкалы магнитной полярности, существенно затруднена. Ситуация нередко усугубляется отсутствием литостратиграфических маркеров, невозможностью определения изотопного возраста терригенных и глинистых пород, недостаточной разрешающей способностью биостратиграфических корреляций.

Другая фундаментальная проблема, широко обсуждаемая в настоящее время мировым научным сообществом, — стратиграфическая корреляция морских и континентальных отложений перми и триаса [Schneider et al., 2020]. Границы подразделений пермской системы (в том числе граница перми и триаса) зафиксированы в разрезах морских отложений тропической области по появлению определенных видов конодонтов. Однако конец пермского периода — это геократический этап в истории Земли, характеризующийся большой контрастностью климатов. Поэтому детальные глобальные корреляции морских отложений затруднены, а прямые биостратиграфические сопоставления континентальных разрезов с Международной стратиграфической шкалой невозможны. В этой связи одним из главных инструментов глобальной корреляции становится магнитостратиграфический метод. Его успешное применение во многом зависит от надежности и детальности региональной магнитостратиграфической схемы континентальных пермско-триасовых толщ Русской плиты.

Основные черты палеомагнитной зональности континентальных пермско-триасовых толщ Восточно-Европейской платформы были намечены в работах Алексея Никитича Храмова и его коллег более чем 60 лет назад [Храмов и др., 1958, 1963]. Необходимо отметить, что именно на примере пермско-триасовых разрезов Восточной Европы происходило становление магнитостратиграфии как одного из основных методов стратиграфической корреляции. Несколько позже Эдуардом Аркадиевичем Молостовским была разработана региональная магнитостратиграфическая шкала нижнего триаса на основе данных по Южному Приуралью и центральной части Восточно-Европейской платформы [Молостовский, 1983]. Имевшиеся на тот момент шкалы магнитной полярности пермско-триасовых отложений Русской плиты неоднократно дополнялись и детализировались [Боронин, Буров, 1977; Буров и др., 1996; Burov et al., 1998; Taylor et al., 2009; Балабанов и др., 2016; и др.]. Наиболее актуальная на сегодняшний день версия региональной магнитостратиграфической шкалы для перми и триаса Восточно-Европейской платформы, обобщающая работы перечисленных выше исследователей, представлена в статье [Hounslow, Balabanov, 2018]. Однако большинство из использованных при ее составлении данных получены без учета современных требований к качеству и надежности применительно к задачам магнитостратиграфии [Opdyke, Channell, 1996] и должны быть проверены. Например, температурные магнитные чистки нередко выполнялись только до 350 °С, а не до полного размагничивания образца; компонентный анализ естественной остаточной намагниченности не проводился вовсе.

Таким образом, получение новых палеомагнитных данных для пограничного пермско-триасового интервала Русской плиты является актуальной задачей для уточнения и детализации как региональной магнитостратиграфической шкалы, так и GPTS. В этой работе мы представляем магнитостратиграфическую интерпретацию новых, а также опубликованных ранее палеомагнитных данных [Молостовский, 1983; Миних и др., 2011; Голубев и др., 2012а; Балабанов и др., 2016; Фетисова и др., 2017, 2018б, 2020] по трем разрезам пограничных отложений перми и триаса юго-восточного борта Московской синеклизы: Жуков овраг, Слукино и Окский съезд (рис. 1).



Рис. 1. Расположение (а) и фотографии изученных разрезов (б—д).

б — Жуков овраг, обн. № 1029 (1150), слои А1—10, гороховецкая пачка обнорской свиты и жуковская и рябинская пачки вохминской свиты, жуковский и вохминский горизонты, верхневятский подъярус верхней перми и индский ярус нижнего триаса; в — Жуков овраг, обн. № 1022, угличская пачка обнорской свиты, быковский горизонт, нижневятский подъярус; з — Слукино, канавы № 1145А и 1639F, рябинская и краснобаковская пачки вохминской свиты, вохминский горизонт, индский ярус; д — Окский съезд, обн. № 1105D, пограничные отложения жуковской и рябинской пачек вохминской свиты, жуковский и вохминский горизонты, верхневятский подъярус и индский ярус.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОТБОР ОБРАЗЦОВ

Все три разреза в магнитостратиграфическом отношении исследовались нами ранее [Голубев и др., 2012а; Балабанов и др., 2016]: полученные результаты показали перспективность рассматриваемых объектов для постановки дополнительных детальных палеомагнитных исследований, которые были проведены как на дублях образцов ранее изученных коллекций, так и на каменном материале, отобранном в 2018—2019 гг. Положение изученных разрезов и их фотографии приведены на рис. 1.

Разрез Жуков овраг (56.180° с.ш., 42.637° в.д.) расположен во Владимирской области на правом берегу р. Клязьма в 2 км выше по течению от г. Гороховец между деревнями Слукино и Арефино (см. рис. 1, а—в). Это один из самых стратиграфически полных разрезов пограничных пермско-триасовых отложений на территории центральной части Восточно-Европейской платформы [Голубев и др., 2012а]. Он является опорным стратиграфическим разрезом перми и триаса юго-восточных районов Московской синеклизы и неоднократно изучался в процессе геолого-съемочных и стратиграфических работ [Молостовский, 1983; Строк и др., 1984; Молостовская, 2010; Newell et al., 2010; Сенников, Голубев, 2012]. В 1970 г. палеомагнитное исследование данного разреза было проведено Э.А. Молостовским, который выделил здесь четыре палеомагнитные зоны (снизу вверх): $r_1P_2t_1$, $n_1P_2t_2$, $r_2P_2t_2$ и n_1T_1 [Молостовский, 1983]. Разрез сложен континентальными пестроцветными отложениями, в составе которых преобладают глины, алевролиты, пески и песчаники; в подчиненном количестве в виде тонких прослоев присутствуют известняки и мергели. Низы разреза образованы озерными и аллювиальными отложениями угличской и гороховецкой пачек обнорской свиты общей мощностью около 35 м (рис. 2). Угличская пачка (21 м) представлена толщей красноцветных глин с многочисленными прослоями серых глин, мергелей и известняков и единичными маломощными (до 1 м) слоями разноцветных песчаников. Ископаемые остатки обнаружены только в пределах трехметрового песчано-глинистого интервала в средней части пачки. Отсюда определены конхостраки и рыбы, свидетельствующие о приуроченности отложений к терминальной части путятинского и быковского горизонтов (терминальная часть верхнесевродвинского подъяруса и нижневятский подъярус верхнепермского (татарского) отдела) [Голубев и др., 2012а]. Вышележащая гороховецкая пачка (15 м) сложена красноцветными глинами с единичными маломощными слоями серых глин и мергелей и одним слоем известняка. По сравнению с угличской пачкой гороховецкая пачка менее карбонатная, более песчаная, содержит многочисленные ископаемые остатки остракод, конхострак, двустворчатых моллюсков, рыб и тетрапод. По биостратиграфическим данным, пачка отвечает нижней части верхневятского подъяруса (нефедовскому горизонту и нижней части жуковского горизонта) [Голубев и др., 2012а; Силантьев, 2014; Наумчева, Голубев, 2019; Scholze et al., 2019; Наумчева, 2020]. Выше залегает вохминская свита (16—23 м), образованная аллювиальными красноцветными глинисто-песчаными отложениями с многочисленными горизонтами палеопочв. В основании свиты располагается маломощная (2—9 м) жуковская пачка, в которой обнаружены остатки остракод, двустворчатых моллюсков, рыб и тетрапод жуковского горизонта. Завершает разрез рябинская пачка вохминской свиты видимой мощностью 14 м. Эта пачка охарактеризована остракодами, тетраподами, конхостраками и рыбами вохминского горизонта. Внутри вохминской свиты на границе жуковской и рябинской пачек зафиксировано резкое изменение в составе комплексов остракод [Наумчева, Голубев, 2019; Наумчева, 2020], конхострак [Scholze et al., 2015, 2019], рыб и тетрапод [Сенников, Голубев, 2012]. Данное событие связывают с глобальным вымиранием в самом конце перми, а отвечающий ему уровень сопоставляют с границей перми и триаса [Golubev, 2019; Naumcheva, Golubev, 2020]. Подробное описание и биостратиграфическая характеристика разреза Жуков овраг представлены в работах [Молостовская, 2010; Newell et al., 2010; Голубев и др., 2012а; Силантьев, 2014; Scholze et al., 2015, 2019; Наумчева, Голубев, 2019; Наумчева, 2020]. Разрез Жуков овраг опробовался нами в девяти перекрывающих и надстраивающих друг друга канавах в течение полевых сезонов 2010 и 2018 гг. Общая мощность опробования составила около 45 м. Шаг опробования составлял от 2 до 20 см, отбор происходил практически равномерно по разрезу (см. рис. 2). Из угличской пачки был отобран 81 ориентированный штуф, из гороховецкой — 105 штуфов, из жуковской — 16, из рябинской — 82. Палеомагнитная коллекция составила 284 штуфов.

Разрез Слукино (56.188° с.ш., 42.648° в.д.) располагается в овраге, соседнем с разрезом Жуков овраг, в 1.4 км ниже по течению р. Клязьма от последнего, на западной окраине д. Городищи (см. рис. 1, г). Здесь вскрываются те же породы, что и в Жуковом овраге, а также более молодые слои вохминского горизонта, представленные краснобаковской пачкой вохминской свиты видимой мощностью 17 м (см. рис. 2). Краснобаковская пачка сложена аллювиальными красноцветными глинисто-песчаными отложениями с многочисленными горизонтами карбонатных палеопочв. Относительно редкие ископаемые остатки представлены конхостраками, рыбами и тетраподами. В разрезе Слукино отсутствует жуковский горизонт, рябинская пачка вохминской свиты залегает с эрозийным несогласием на гороховецкой пачке обнорской свиты, увеличиваясь в мощности до 16 м. Подробное описание разреза и его биостратиграфическая характеристика представлены в работах [Наумчева, Голубев, 2019; Наумчева, 2020;

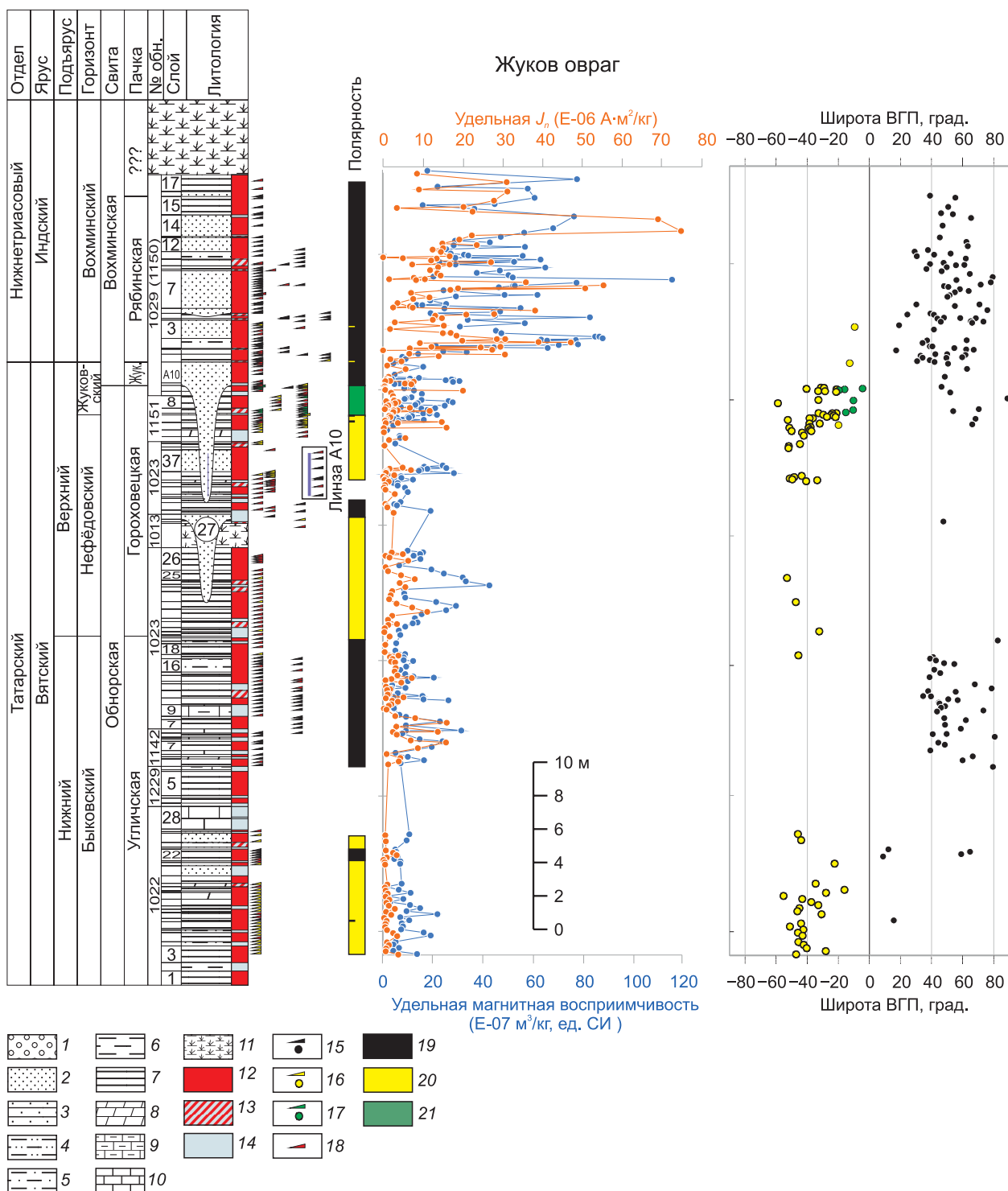


Рис. 2. Разрез Жуков овраг: стратиграфия, литология, схема опробования, удельная остаточная намагниченность, удельная магнитная восприимчивость, широта виртуального геомагнитного полюса (ВГП).

1 — конгломерат, 2 — песчанник, 3 — песчанник глинистый, 4 — алевролит песчаный, 5 — алевролит, 6 — алевролит глинистый, 7 — глина, 8 — мергель, 9 — известняк глинистый, 10 — известняк, 11 — осыпь, 12 — красноцветы, 13 — пестроцветы, 14 — сероцветы, 15—18 — образцы с характеристической компонентой ЕОН: прямой полярности (15), обратной полярности (16), с аномальной компонентой намагниченности (17), с шумной палеомагнитной записью (18), 19—21 — зоны прямой (N) полярности (19), обратной (R) полярности (20), аномальных палеомагнитных направлений (21).

a

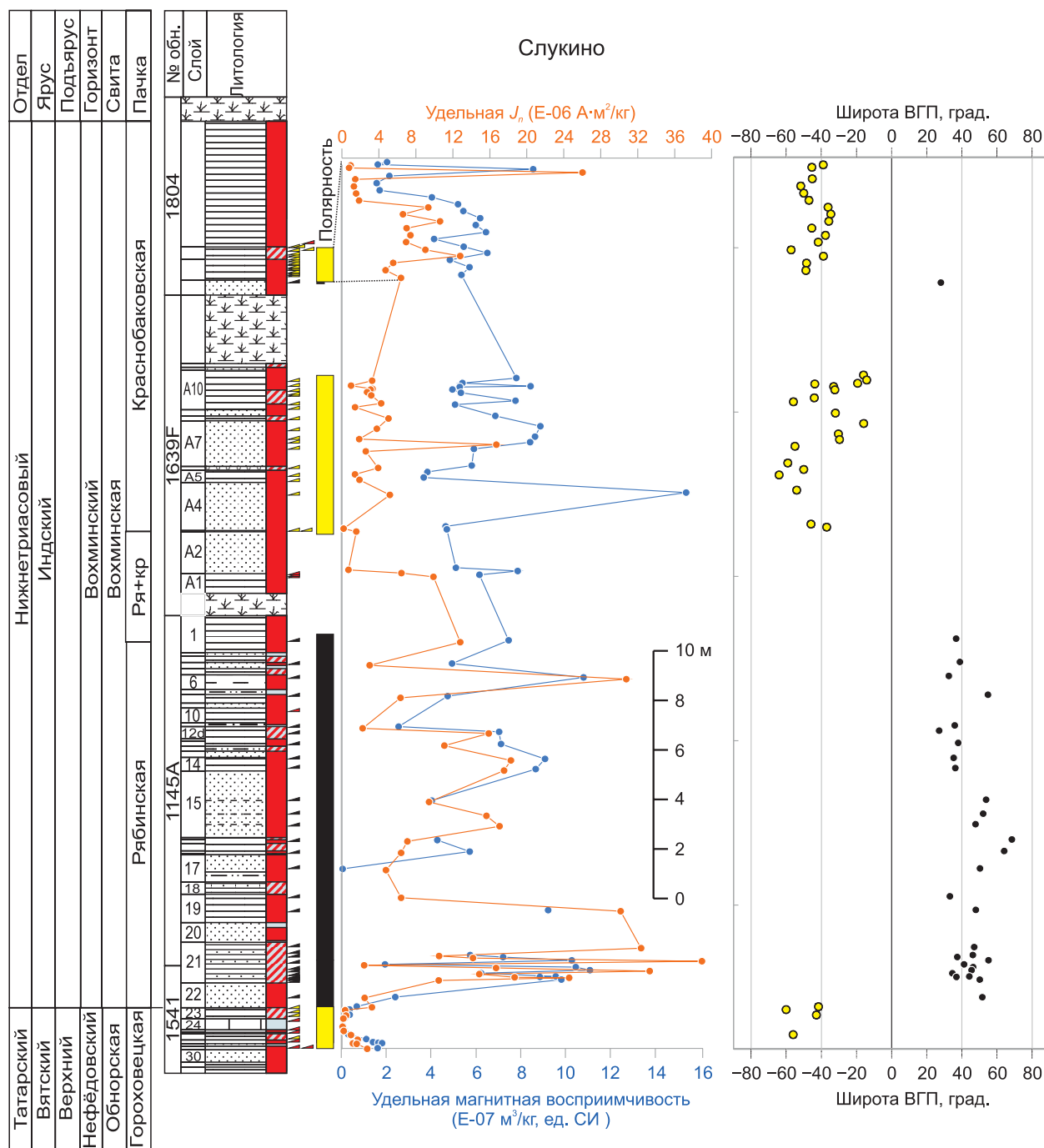


Рис. 3. Разрез Слукино (а), Окский съезд (б): стратиграфия, литология, схема опробования, удельная остаточная намагниченность, удельная магнитная восприимчивость, широта виртуального геомагнитного полюса (ВГП).

Усл. обозн. см. на рис. 2.

Naumcheva, Golubev, 2020]. Разрез опробовался в четырех канавах в течение полевых сезонов 2010 и 2019 гг., общая мощность опробования составила около 35 м. Отбор образцов производился равномерно по мощности, однако два интервала разреза мощностью не более 5 м опробовать не удалось (рис. 3, а). В итоге нами были опробованы верхнепермская гороховецкая пачка (10 штучков) и нижнетриасовые рябинская пачка (30 штучков), рябинская и краснобаковская пачки нерасчлененные (3 штучка) и краснобаковская пачка (37 штучков). Палеомагнитная коллекция составила 80 штучков.

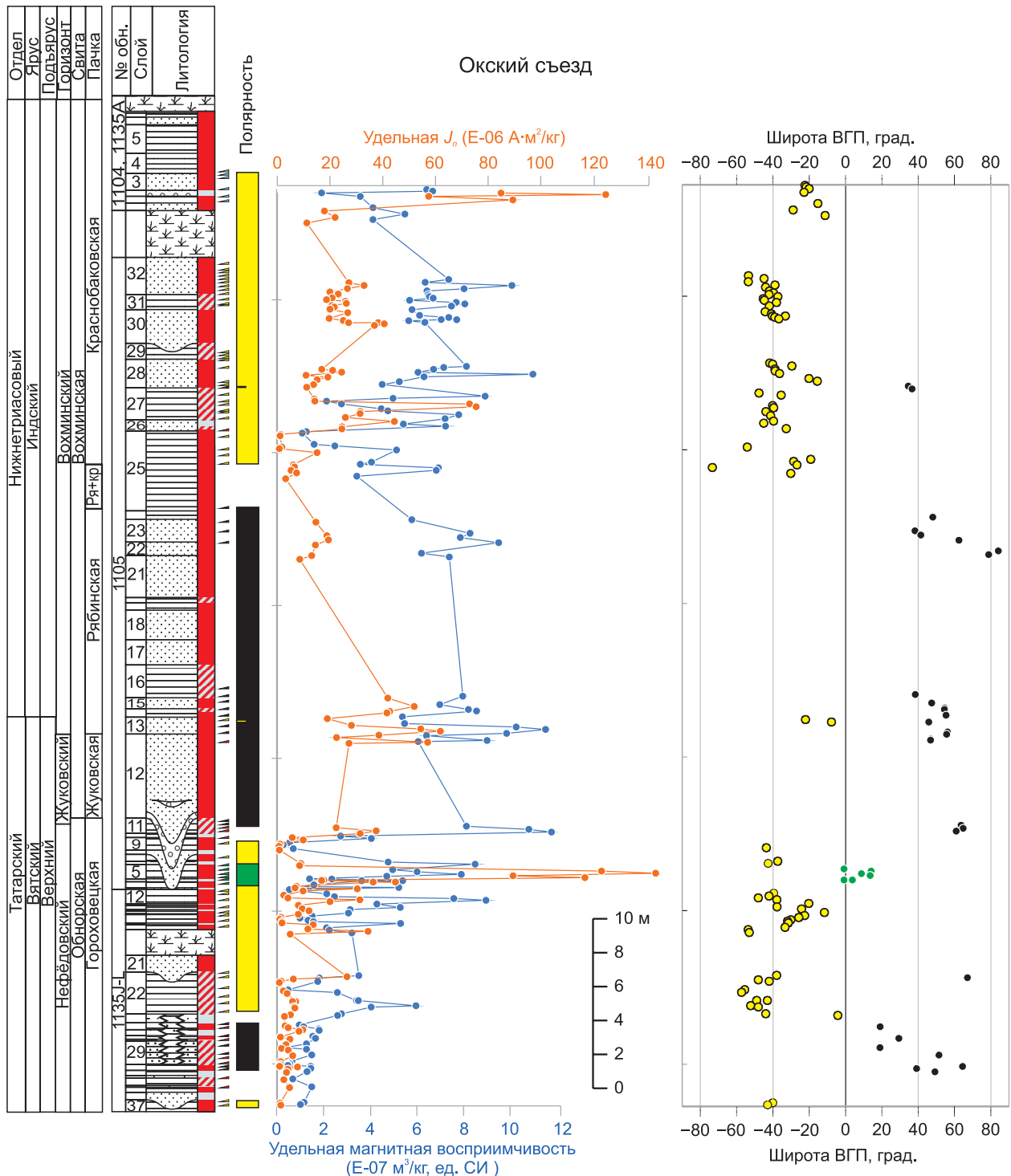


Рис. 3. (Окончание).

Разрез Окский съезд (56.302° с.ш., 43.971° в.д.) был изучен на правом берегу р. Ока, в пределах г. Нижний Новгород, на абсолютных отметках 120—175 м, между оврагами Лагерный и Монастырский (см. рис. 1, д). Он был вскрыт искусственными выемками при производстве дорожно-строительных работ в 2011 г., по окончании которых перестал быть доступен для изучения. Нижняя часть разреза (см. рис. 3, б) представлена гороховцевской пачкой обнорской свиты видимой мощностью 18 м. Сложена она пестроцветными песчано-глинистыми отложениями преимущественно аллювиального генезиса. Присутствуют единичные маломощные (до 15 см) сероцветные прослои озерных известняков. Обнаруженные в пачке остатки остракод, конхострак, двустворчатых моллюсков, рыб, тетрапод и растений свиде-

тельствуют о ее нефедовском возрасте [Сенников, Голубев, 2011; Голубев и др., 2012б; Наумчева и др., 2017; Наумчева, Голубев, 2019; Наумчева, 2020]. Выше с эрозионным несогласием залегает жуковская пачка вохминской свиты (5—8 м), образованная русловыми аллювиальными красноцветными песчаниками с прослоями и линзами внутриформационных конгломератов. В пачке найдены остатки двусторчатых моллюсков, тетрапод и рыб жуковского горизонта [Сенников, Голубев, 2011; Голубев и др., 2012б]. Вышележащие рябинская (14 м) и краснобаковская (21 м) пачки вохминской свиты представлены аллювиальными красноцветными глинисто-песчаными отложениями с многочисленными горизонтами палеопочв. В этих слоях обнаружены остатки остракод, конхострак, рыб и тетрапод вохминского горизонта. Описание разреза и его биостратиграфическая характеристика представлены в работах [Сенников, Голубев, 2011; Голубев и др., 2012б; Балабанов и др., 2016; Наумчева и др., 2017; Наумчева, Голубев, 2019; Наумчева, 2020]. Разрез Окский съезд опробовался в девяти дорожно-строительных выемках, охвативших по мощности около 60 м (см. рис. 3, б). Из верхнепермской гороховецкой пачки был отобран 41 штуф. Жуковская пачка представлена в обнажении слоем песка и опробованию не подвергалась. Из рябинской пачки нижнего триаса было отобрано 13 штуфов, а из перекрывающей ее краснобаковской пачки — 37 штуфов. Общий объем палеомагнитной коллекции составил 91 ориентированный штуф.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор ориентированных штуфов для палеомагнитных исследований производился с послойной привязкой к разрезу с шагом 2—10 см по мощности. В разрезах Жуков овраг и Слукино штуфы брались из выкопанных на глубину до 0.5—1.5 м канав, а в разрезе Окский съезд — в стенках дорожно-строительных выемок. Штуфы отбирали вручную при помощи ножа, молотка и шпателя; ориентировка штуфов осуществлялась горным компасом, в качестве площадки для ориентирования, когда это было возможно, использовалась поверхность напластования. Величина местного магнитного склонения рассчитана по модели IGRF (12-е поколение). Распиловка штуфов на образцы для лабораторных исследований производилась при помощи камнерезного станка с алмазным абразивом: из каждого штуфа выпиливалось от 1 до 5 (по вертикальной оси штуфа) образцов квадратного сечения с длиной ребра в основании 20 мм и высотой от 3 до 20 мм.

Лабораторные палео- и петромагнитные исследования и обработка результатов магнитных чисток выполнялись в петромагнитной лаборатории и лаборатории прикладных методов геодинамических исследований геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, а также в лаборатории главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН (Москва). Анизотропия магнитной восприимчивости измерялась на каппабридже KLY-4S (AGICO, Чехия). Измерение остаточной намагниченности образцов производилось на криогенном (SQUID) магнитометре (2G Enterprises, США), установленном в немагнитной комнате (Lodestar Magnetism, США). Размагничивание образцов в ходе температурных магнитных чисток производилось в немагнитных печах MMTD-80 (Magnetic Measurements, Англия): число шагов чистки составляло от 12 до 20, шаг нагревов менялся от 50 до 5°C. Температурные магнитные чистки проводились до полного размагничивания образцов. Магнитная чистка переменным магнитным полем производилась с использованием AF-демагнетайзера (2G Enterprises, США), выполненного в виде приставки к криогенному магнитометру; амплитуда переменного поля достигала 130 мТл. Результаты магнитных чисток обрабатывались при помощи пакета программ Р. Энкина [Enkin, 1994] и М. Чадимы [Chadima, Hrouda, 2006], использующих при выделении компонент намагниченности метод главных компонент [Kirschvink, 1980]. Оценка коэффициента занижения палеомагнитного наклона выполнялась по методу Elongation-Inclination [Tauxe, Kent, 2004] при помощи алгоритма, реализованного на портале Paleomagnetism.org [Koymans et al., 2016]. Измеренные величины магнитной восприимчивости и естественной остаточной намагниченности нормировались на вес образца. Выделение в исследованных разрезах магнитных зон производилось при условии наличия последовательности из не менее чем двух уникальных штуфов (не дублей). Выделение в разрезах интервалов магнитной полярности производилось на основании значения PLat. В ряде случаев нами были использованы данные, полученные по образцам с шумным палеомагнитным сигналом, для которых компонентный анализ затруднен (вычисленное направление ChRM характеризовалось величиной MAD (Maximum Angular Deviation) >8°), однако полярность ChRM определяется вполне уверенно. Критерием для выделения зон аномальных палеомагнитных направлений служило наличие в разрезе последовательности из не менее чем пяти штуфов, наклонение ChRM в которых близко к 0°.

ПЕТРО- И ПАЛЕОМАГНИТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ РАЗРЕЗОВ

Петромагнетизм. Характер анизотропии магнитной восприимчивости (AMS) пород всех трех изученных разрезов в целом подобен (рис. 4, а—в). Степень анизотропии в среднем составляет 4—7 %, в редких случаях достигая 15 %, эллипсоиды AMS преимущественно имеют уплощенную форму. Мини-

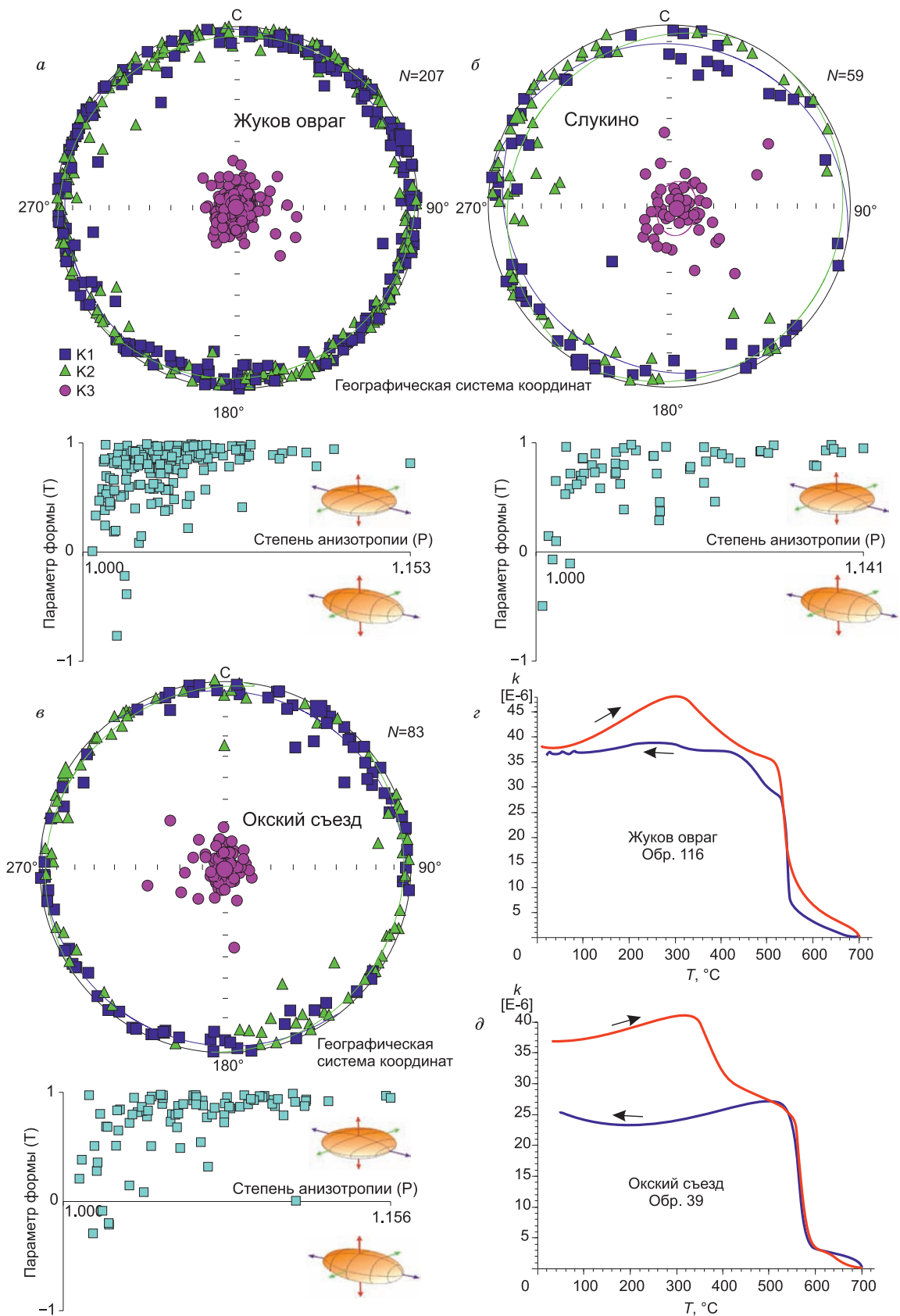


Рис. 4. *a–v* — анизотропия магнитной восприимчивости в породах изученных разрезов и зависимость параметра формы (T) от степени анизотропии (P); *z*, *d* — температурная зависимость магнитной восприимчивости при нагреве (красная кривая) и охлаждении (синяя кривая) образца.

Оси: K1 — длинные, K2 — промежуточные, K3 — короткие.

мальные оси эллипсоидов AMS ориентированы субвертикально, промежуточные и максимальные оси лежат в горизонтальной плоскости, что характерно для осадочных пород, накапливавшихся в спокойных гидродинамических условиях. Результаты изменения AMS также использовались нами для контроля ориентировки штуфов при отборе и распиловке: в случае, если распределение осей эллипсоида AMS в образце разительно (на 90° и более) отличалось от соседних образцов, то результаты, полученные по этому образцу, исключались из рассмотрения.

Диагностика минералов-носителей намагниченности в исследуемых породах проводилась по форме кривых зависимости начальной магнитной восприимчивости (k) от температуры (T); типичные кривые $k-T$ приведены на рис. 4, $z-d$. Нагревы производились до 700 °С при атмосферном давлении в воздушной среде. В общем случае кривая нагрева имеет три характерных перегиба: (1) перегиб в интервале 300—400 °С, наиболее вероятно, соответствует переходу железосодержащих силикатных и карбонатных минералов в магнетит при нагреве; (2) перегиб в интервале 550—590 °С отвечает магнетиту; (3) перегиб в интервале 670—690 °С характерен для гематита. На кривой охлаждения отчетливо выделяются гематитовая и магнетитовая составляющие. Таким образом, минералами-носителями намагниченности в исследуемых породах являются магнетит и гематит. Аналогичные выводы были сделаны ранее по результатам петромагнитных исследований пород разреза Жуков овраг [Миних и др., 2011; Фетисова и др., 2018б].

Скалярные магнитные характеристики, такие как удельная ЕОН (J_n), удельная магнитная восприимчивость (k) и фактор Кёнигсбергера (Q) изученных пород представлены в табл. 1 на уровне пачек, а на рисунках 2, 3 — на уровне образцов. Разрезы контрастно дифференцированы по петромагнитным характеристикам. В частности, среднее значение удельной магнитной восприимчивости в триасовых интервалах изученных разрезов в несколько раз больше таковой в пермских, равно как и разброс величины k относительно ее среднего значения (см. табл. 1, рис. 2, 3). Этот вывод согласуется с существующими представлениями об увеличении сноса обломочного материала с Уральского орогена, испытывавшего в начале триаса воздымание и проявления вулканизма [Граница..., 1998; Арефьев и др., 2016; Чистякова и др., 2020], т. е. в это время размыву подвергались комплексы, которые могли являться основными источниками обломочного магнетита для изученных пород. Отметим, что изменение характера распределения k совпадает с палеонтологически обоснованной границей перми и триаса только в разрезах Жуков овраг и Слукино. В разрезе Окский съезд величина k существенно возрастает в пределах гороховецкой пачки верхней перми. Таким образом, к использованию уровня резкого возрастания величины магнитной восприимчивости в пограничных пермско-триасовых толщах Русской плиты в качестве регионального маркера границы перми и триаса, как это предложено, например, в работе [Граница..., 1998], нужно подходить осторожно.

Палеомагнетизм. Все коллекции проходили детальную температурную магнитную чистку; часть коллекций — дубли наиболее характерных образцов, а также образцы, нагрев которых привел бы к их разрушению, подвергались ступенчатому размагничиванию переменным магнитным полем. Отметим, что направления характеристических компонент, выделенных по результатам температурной магнитной чистки и чистки переменным полем в дублях, чаще всего совпадают. Различие заключается лишь в том, что чистка переменным полем приводит к размагничиванию образцов на 50—95 % от начальной величины ЕОН, что подтверждает наличие в породах магнитожесткого минерала, вероятнее всего, гематита. Диаграммы Зийдервельда, стереограммы и кривые размагничивания, отражающие результаты температурных магнитных чисток типичных образцов, представлены на рис. 5.

Таблица 1. Скалярные петромагнитные характеристики изученных разрезов

Разрез	Пачка	Удельная магнитная восприимчивость, k (10^{-7} м ³ /кг), ед. СИ			Удельная естественная остаточная намагниченность, J_n (10^{-6} А·м ² /кг)			Фактор Кёнигсбергера, Q		
		$k_{\min}$	$k_{\max}$	$k_{\text{ср}}$	$J_{n \min}$	$J_{n \max}$	$J_{n \text{ср}}$	$Q_{\min}$	$Q_{\max}$	$Q_{\text{ср}}$
Жуков овраг	Рябинская, T_1	1.71	14.48	5.94	1.5	72.9	18.5	0.01	2.13	0.77
	Жуковская, P_3	0.27	2.3	0.93	0.8	5.5	2.5	0.45	0.97	0.64
	Гороховецкая, P_3	0.1	6.68	1.93	0.1	19.5	3.0	0.05	7.18	0.46
	Угличская, P_3	0.2	4.12	1.39	0.1	15.6	2.6	0.04	1.66	0.48
Слукино	Краснобаковская, T_1	1.5	15.3	5.6	0.2	16.7	4.6	0.01	0.5	0.2
	Рябинская, T_1	0.1	11.0	6.7	2.2	38.9	15.0	1.15	20.75	1.3
	Гороховецкая, P_3	0.1	1.8	0.8	0.1	3.2	1.1	0.18	1.19	0.39
Окский съезд	Краснобаковская, T_1	1.1	10.8	5.7	0.7	124.0	26.6	0.08	18.82	1.92
	Рябинская, T_1	5.3	11.4	7.7	8.4	61.4	31.7	0.29	1.87	1.01
	Жуковская, P_3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Гороховецкая, P_3	0.2	11.6	2.9	0.6	143.0	15.1	0.11	6.23	1.12

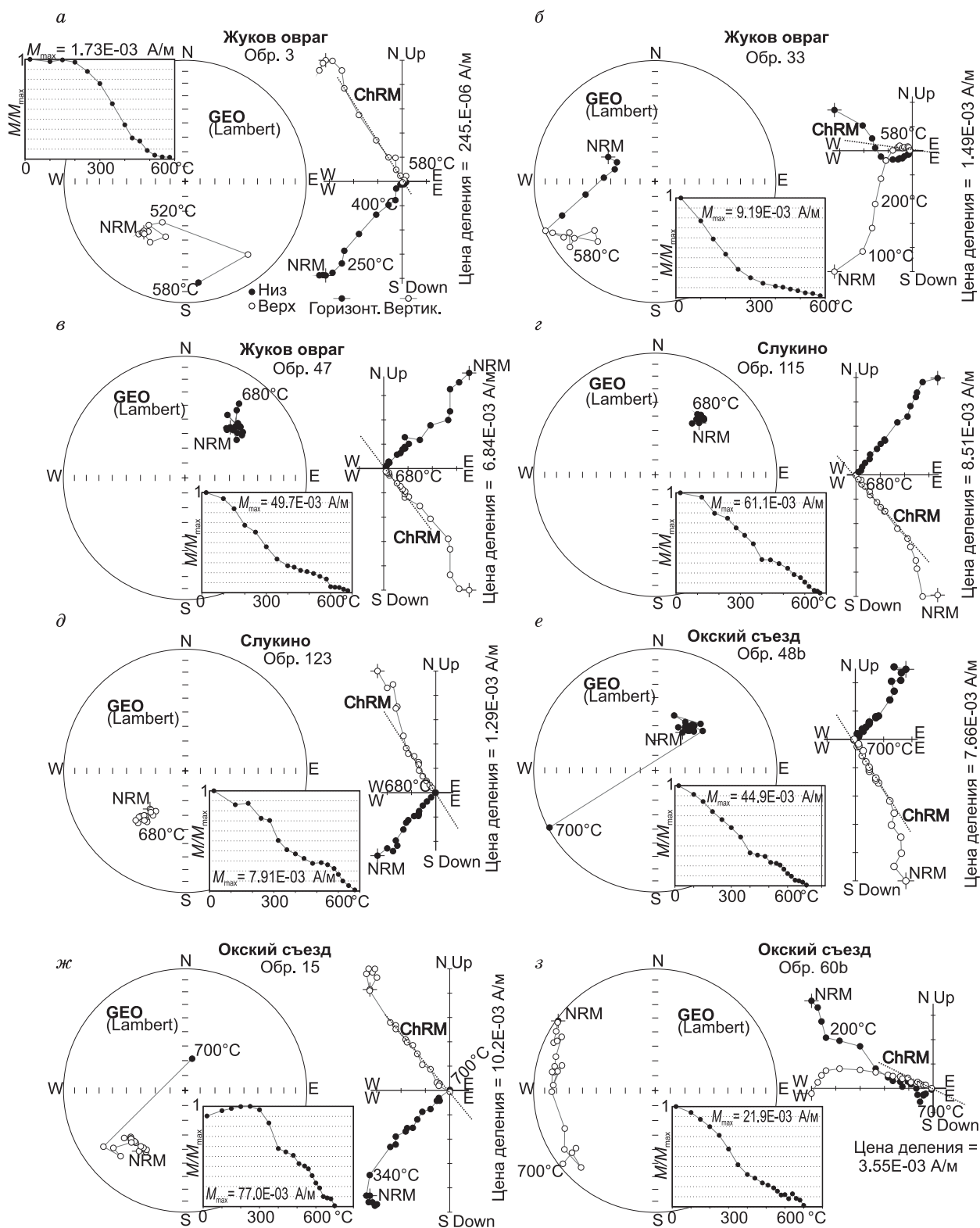


Рис. 5. Палеомагнетизм разрезов Жуков овраг (а—в), Слукино (з, д) и Оковский съезд (е—з):

стереограммы, кривые размагничивания и диаграммы Зийдерведа, иллюстрирующие процесс ступенчатой температурной магнитной чистки. Географическая (современная) система координат. а, д, ж — примеры образцов с ChRM обратной полярности; в, з, е — примеры образцов с ChRM прямой полярности; б, з — примеры образцов с аномальным направлением ChRM.

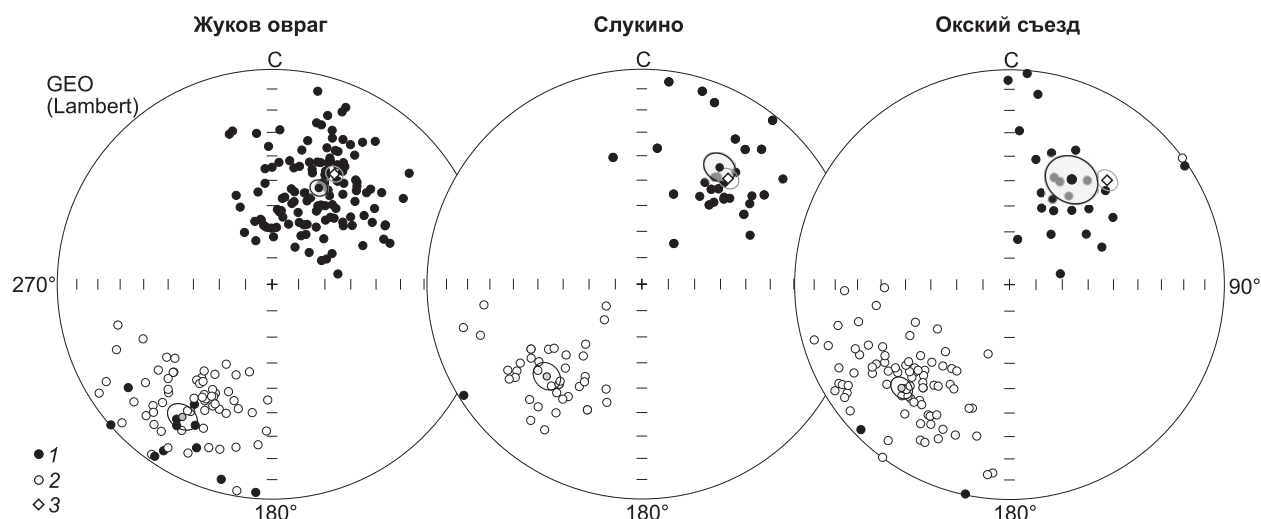


Рис. 6. Распределение единичных направлений характеристической компоненты намагниченности (ChRM) в изученных разрезах и средние направления компонент прямой (1), обратной (2), а также прямой и обращенной обратной (3) полярности с кругами 95 %-го доверия.

Магнитные чистки образцов показали, что ЕОН чаще всего является суммой двух компонент: (1) низкотемпературной, с температурами деблокирования около 180—200 °С, наиболее вероятно, имеющей вязкую природу, и (2) характеристической компоненты (ChRM) прямой (N) или обратной (R) полярности, разрушение которой происходит в температурных интервалах 550—590 и 670—700 °С. Распределение направлений ChRM для каждого разреза приведено на рис. 6, а соответствующие палеомагнитные полюсы представлены в табл. 2. С использованием распределений ChRM прямой полярности разреза Жуков овраг и обратной полярности разреза Окский съезд были получены оценки коэф-

Таблица 2. Палеомагнитные направления и полюсы

№	Разрез (возраст)	Точка отбора		Поляр- ность	N/N _{c45}	Географическая СК			
		с.ш.	в.д.			D	I/I _{corr}	k	α95 град.
		град.							
1	Жуков овраг (P ₃ —T ₁)	56.180	42.637	N	141/128	25.9	48.7/54.6	16.6	3.2
				R	77/75	214.1	−26.3/−31.4	10.9	5.2
				NR	203	29.5	40.7/46.7	11.2	3.1
Полюс: Plat = 54.8°, PLong = 173.6°, dp/dm = 2.6/4.0°, paleolat = 27.9°									
2	Слукино (P ₃ —T ₁)	56.188	42.648	N	48/48	33.7	35.0/ 40.8	14.3	5.6
				R	41/41	225.9	−38.3 / 44.3	20.0	5.1
				NR	89	39.2	36.7/42.6	15.7	3.9
Полюс: Plat = 47.6°, PLong = 164.3°, dp/dm = 3.0/4.8°, paleolat = 24.7°									
3	Окский съезд (P ₃ —T ₁)	56.302	43.971	N	26/26	30.6	42.5/60.9	10.0	9.4
				R	97/85	226.2	−31.1/−49.8	15.6	4.0
				NR	111	43.1	33.8/52.7	12.7	3.9
Полюс: Plat = 52.7°, PLong = 153.6°, dp/dm = 3.7/5.4°, paleolat = 33.3°									

Примечание: $slat$, $slong$ — широта и долгота точки отбора (разреза); N — количество образцов, для которых выполнен компонентный анализ; N_{c45} — количество образцов после применения селективного критерия «cutoff 45°» и включенных в выборку для вычисления среднего направления; D , I , k , α_{95} — характеристики распределения Фишера: склонение, наклонение, кучность и радиус круга 95%-го доверия соответственно. I_{corr} — палеомагнитное наклонение, скорректированное с учетом коэффициента занижения наклонения, вычисленного по алгоритму [Koymans et al., 2016] для конкретного разреза: Жуков овраг — 0.81, Окский съезд — 0.51; для разреза Слукино палеомагнитные наклонения скорректированы с использованием коэффициента, вычисленного для разреза Жуков овраг (см. текст). Полярность: N — нормальная, R — обратная. $Plat$, $PLong$ — широта и долгота палеомагнитного полюса; dp/dm — величины полуосей овала 95%-го доверия для палеомагнитного полюса; $paleolat$ — палеоширота точки отбора.

коэффициента занижения наклона, составившие 0.81 и 0.51 соответственно. Скорректированные палеомагнитные направления (I_{corr}) приведены в табл. 2 и учтены при вычислении палеомагнитных полюсов. Учитывая то обстоятельство, что разрезы Жуков овраг и Слукино территориально близки и слагающие их породы имеют схожую литологию, палеомагнитные наклонения, полученные по разрезу Слукино, были скорректированы за занижение наклона с использованием значения коэффициента 0.81. Тест обращения [McFadden, McElhinny, 1990] для направлений ChRM разной полярности для всех рассмотренных разрезов отрицательный, что может являться следствием контаминации палеомагнитной записи современной вязкой намагниченностью. Аргументами в пользу древнего возраста характеристической компоненты намагниченности являются: (а) ее биполярное распределение, (б) близость соответствующих палеомагнитных полюсов к Р-Т полюсам Восточно-Европейской платформы и их отличие от более молодых полюсов [Фетисова и др., 2018б].

МАГНИТОСТРАТИГРАФИЯ ИЗУЧЕННЫХ РАЗРЕЗОВ

Положение изученных образцов в разрезах, скалярные магнитные параметры (величина удельной ЕОН и удельная магнитная восприимчивость) и широта (PLat) виртуальных геомагнитных полюсов (VGP), вычисленных по направлению ChRM для каждого образца с интерпретируемой палеомагнитной записью, представлены на рисунках 2, 3.

В **Жуковом овраге** (см. рис. 2) низы угличской пачки, обнажающиеся в канаве 1022, намагничены преимущественно в эпоху обратной полярности; лишь в верхней части изученной толщи по четырем образцам выделяется зона прямой полярности. Породы верхней части угличской пачки (канавы 1142 и низы канавы 1023) намагничены в эпоху прямой полярности. Отложения гороховецкой пачки имеют более сложный характер палеомагнитной записи. Значительный интервал разреза представлен породами, накопившимися в эпоху обратной полярности. Необходимо, однако, отметить, что магнитная запись рассматриваемого интервала разреза очень фрагментарна из-за большого количества образцов с шумным сигналом. Для таких образцов на рисунках 2, 3, б показаны только величины скалярных петромагнитных характеристик, а определения полярности характеристической компоненты и ее направления не проводились. В середине пачки присутствует небольшая субзона прямой полярности (3 штуфа). В самых верхах пачки магнитная запись удовлетворительного качества: здесь, выше зоны обратной полярности, уверенно выделяется зона аномальных палеомагнитных направлений, аналогичная выделенной нами ранее в разрезе Недуброво Вологодской области [Фетисова и др., 2018а]. Залегающие выше породы жуковской и рябинской пачек вохминской свиты горизонта образовались в эпоху нормальной полярности магнитного поля Земли.

Разрез Слукино (см. рис. 3, а) обладает достаточно простой магнитной стратиграфией. Породы гороховецкой пачки намагничены в эпоху обратной полярности, породы рябинской пачки — в эпоху прямой полярности, а отложения краснобаковской пачки образовались в эпоху обратной полярности. Граница рябинской и краснобаковской пачек традиционно проводится именно по смене знака магнитной полярности [Уточненная..., 2011].

Самые низы разреза **Окский съезд** (см. рис. 3, б), отвечающие основанию видимой части разреза гороховецкой пачки, характеризуются ChRM обратной полярности; расположенный выше двухметровый интервал разреза соответствует зоне прямой полярности, которая сменяется зоной обратной полярности, отвечающей мощной (около 9 м) верхней части пачки. В верхах гороховецкой пачки, аналогично разрезу Жуков овраг, выделяется горизонт аномальных направлений ChRM с близкими к нулю значениями широты VGP. Важно отметить, что породы гороховецкой пачки, расположенные выше аномальной зоны, характеризуются ChRM обратной полярности с ожидаемыми для пермских отложений значениями широты VGP. Вышележащие отложения от терминальной части гороховецкой пачки до рябинской пачки включительно соответствуют зоне прямой полярности геомагнитного поля, а венчающие разрез породы краснобаковской пачки накопились в эпоху обратной полярности.

КОРРЕЛЯЦИЯ ИЗУЧЕННЫХ РАЗРЕЗОВ. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Биостратиграфическая корреляция с использованием ключевых уровней находок остракод (О), тетрапод (Т) и рыб (Р) дает возможность сопоставить изученные разрезы и составить сводную палеомагнитную колонку (рис. 7), которая отвечает знакопеременной гиперзоне Иллава. В ней определяется последовательность из девяти магнитозон (снизу вверх): r1—n1—r2—n2—r3—n3—r4—n4—r5. Интервал r1—n1—r2 соответствует, согласно [Молостовский, 1983], магнитозоне $r_1P_2t_1$, интервал n2 — магнитозоне $n_1P_2t_2$, интервал r3—n3—r4 — магнитозоне $r_2P_2t_2$, а интервал n4 — магнитозоне n_1T_1 . И.И. Молостовская на основе новых биостратиграфических данных по остракодам из разреза Жуков овраг сопоставила магнитозоны из работы [Молостовский, 1983] с ортозонами R_2P_3 , N_2P_3 , R_3P_3 , N_1T_1 регио-

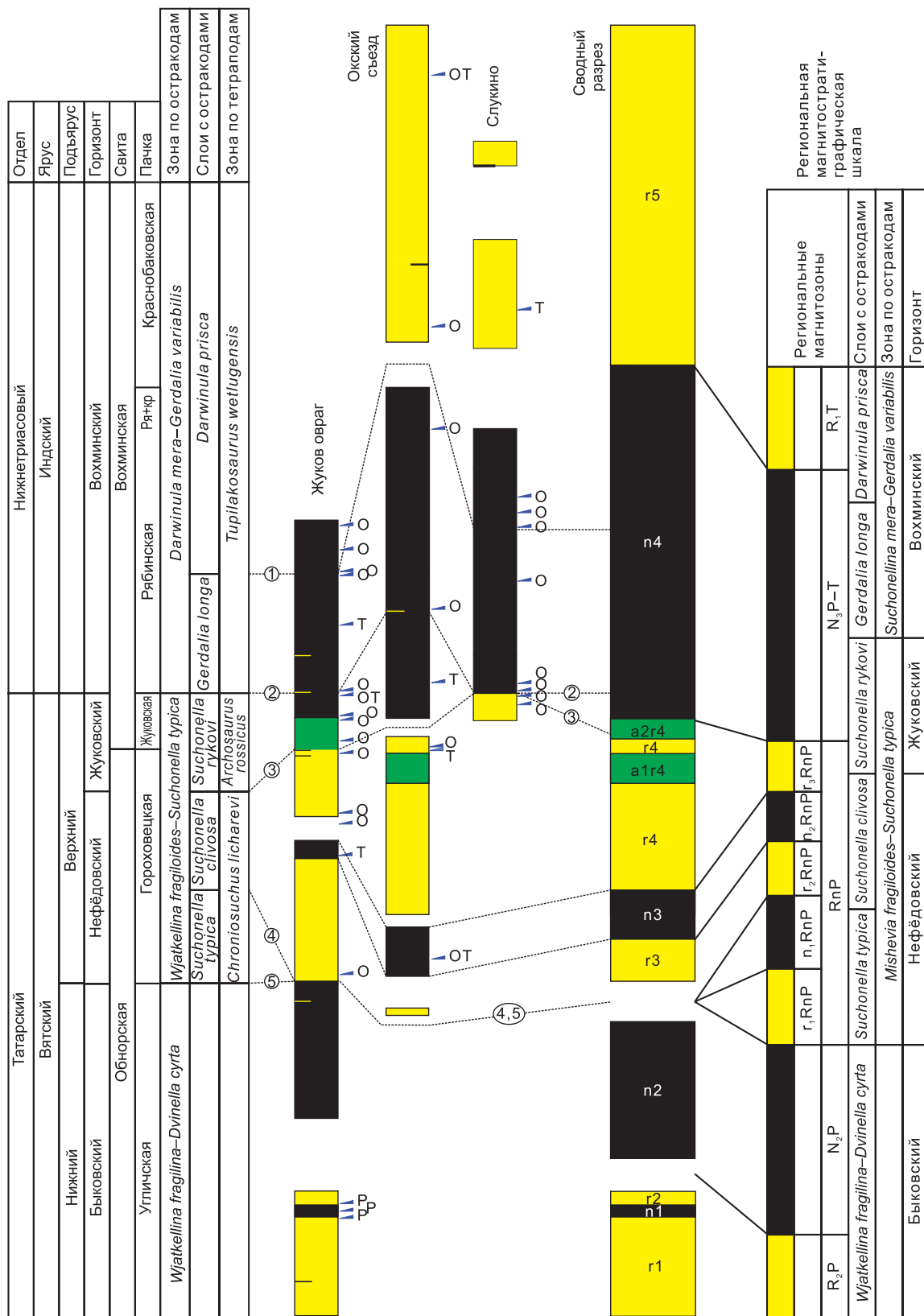


Рис. 7. Палеомагнитные колонки изученных разрезов, сводная палеомагнитная колонка и региональная магнитостратиграфическая шкала с индексами магнитных зон.

Уровни находок стратиграфически значимых ископаемых остатков: О — остракоды, Т — тетраподы, Р — рыбы. Корреляционные уровни — нижние границы: 1 — слоев с *Darwinula prisca*, 2 — слоев с *Gerdalia longa* (вохминского горизонта), 3 — слоев с *Suchonella rykovi* (жуковского горизонта), 4 — слоев с *Suchonella clivosa*, 5 — слоев с *Suchonella typica* (нефедовского горизонта, верхнеятского подъяруса).

нальной магнитостратиграфической шкалы [Молостовская, 2010]. Мы предлагаем следующую корреляцию выделенных нами магнитозон с региональной магнитостратиграфической шкалой перми и триаса Восточно-Европейской платформы (см. рис. 7).

Нижняя часть разреза, которой отвечают магнитозоны r_1 , n_1 и r_2 , имеет недостаточный набор биостратиграфических данных, но обнаруженные конхостраки и рыбы [Голубев и др., 2012a; Scholze et al., 2019] позволяют предположить нижневятский возраст (быковский горизонт) этих толщ. Поэтому магнитозоны r_1 , n_1 , r_2 , наиболее вероятно, отвечают ортозоне R_2P . Интервал разреза, отвечающий зоне прямой полярности n_2 , не имеет биостратиграфической характеристики, но поскольку он литологически более близок к нижележащим породам, то условно соотносится нами с ортозоной N_2P .

Магнитные зоны r_3 , n_3 , r_4 соответствуют нефедовскому горизонту, который по фауне остракод делится на две части: нижнюю (слои с *Suchonella typica*) и верхнюю (слои с *Suchonella clivosa*) [Наумчева, Голубев, 2019; Наумчева, 2020]. Нижняя часть этого горизонта (слои с *Suchonella typica*) в изученных разрезах отсутствует. Однако в бассейне рек Сухона и Малая Северная Двина (Вологодская обл.) слои с *Suchonella typica*, охватывающие нижнюю часть остракодовой комплексной зоны *Wjatkellina fragiloides*—*Suchonella typica*, представлены в полном объеме. Здесь они в нижней части (разрезы Саларево и Аристово) соответствуют субзоне обратной полярности r_1R_3P [Татарские..., 2001], а в верхней части (разрезы Аристово и Верхнее Кузино) — субзоне прямой полярности n_1R_3P [Татарские..., 2001; Arefiev et al., 2015]. Исходя из этого, мы предполагаем наличие в нашем сводном разрезе перерыва, вследствие которого субзоны r_1R_3P и n_1R_3P в нем отсутствуют. Однако в этом случае строение ортозоны R_3P становится несколько более сложным и в дополнение к описанным в ее составе четырем субзонам [Буров и др., 1996; Burov et al., 1998; Hounslow, Balabanov, 2018] добавляется одна новая. Таким образом, опираясь на современные биостратиграфические данные, мы соотносим зону r_3 с субзоной r_2R_3P , зону n_3 — с субзоной n_2R_3P , а зону r_4 — с субзоной r_3R_3P . Принимая во внимание расширение состава ортозоны R_3P , мы предлагаем переименовать ее в ортозону RnP с соответствующим изменением индексов входящих в нее субзон (см. рис. 7).

В субзоне r_3RnP , на основании данных по разрезам Жуков овраг и Окский съезд, нами уверенно выделяется интервал аномальных палеомагнитных направлений (см. рис. 7), палеомагнитная характеристика которого (направление $ChRM$) позволяет надежно сопоставить его с аналогичными аномальными интервалами разрезов Недуброво [Фетисова и др., 2018a] и Балебиха [Fetisova et al., 2019]. При этом актуальные биостратиграфические данные свидетельствуют, что в разрезе Окский съезд интервал аномальных палеомагнитных направлений ($a1r_4$) имеет несколько более древний возраст (слои с *Suchonella clivosa*, нефедовский горизонт), чем субзона аномальных направлений ($a2r_4$) в разрезе Жуков овраг (слои с *Suchonella rykovi*, жуковский горизонт). Необходимо отметить, что слои с аномальными магнитными направлениями в разрезе Балебиха по фауне остракод относятся к слоям с *Suchonella clivosa* (нефедовский горизонт), а в разрезе Недуброво — к слоям с *Gerdalia longa* (вохминский горизонт) [Наумчева, Голубев, 2019; Наумчева, 2020]. Наличие аномальных палеомагнитных направлений в изученных разрезах связывается нами с относительно продолжительным интервалом времени (как минимум — первые тысячи лет), в ходе которого магнитное поле Земли имело устойчивую аномальную конфигурацию [Фетисова и др., 2018a]. Отметим, что в упомянутой работе нами обсуждались различные возможные причины возникновения аномальной намагниченности в породах разреза Недуброво, однако гипотеза об аномальной конфигурации геомагнитного поля представляется нам наиболее состоятельной. В этом случае необходимо отметить, что палеомагнитные и биостратиграфические данные не согласуются друг с другом, поскольку существование трех идентичных по своим характеристикам, но разнесенных во времени интервалов аномальной конфигурации геомагнитного поля представляется нам крайне маловероятным. Этот вопрос, очевидно, требует дальнейшего решения и на настоящий момент остается открытым.

Индексация зоны прямой полярности n_4 выполняется по следующему принципу. В изученных нами разрезах нижняя часть этой зоны охарактеризована богатой фауной остракод, тетрапод, рыб, двусторчатых моллюсков и конхострак, характерной для жуковского горизонта вятского яруса верхней перми, а верхняя часть — фауной остракод, конхострак, рыб и тетрапод, характерной для вохминского горизонта индского яруса нижнего триаса [Голубев и др., 2012a, б; Scholze et al., 2015, 2019; Наумчева, Голубев, 2019; Naumcheva, Golubev, 2020; Наумчева, 2020]. Таким образом, по современным стратиграфическим представлениям, внутри зоны прямой полярности n_4 располагается граница перми и триаса [Golubev, 2019]. Тогда, согласно [Стратиграфический..., 2019], рассматриваемая зона прямой полярности n_4 будет иметь индекс N_3P-T .

Зона обратной полярности r_5 охарактеризована остракодами, тетраподами и рыбами, типичными для вохминского горизонта, что позволяет уверенно сопоставить ее с ортозоной R_1T .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальные палеомагнитные исследования трех разрезов пермско-триасовых осадочных пород Русской плиты показали наличие в них палеомагнитной записи хорошего качества, позволяющей уверенно определить направление древнего геомагнитного поля. Это дало возможность вычислить новые палеомагнитные полюсы Восточно-Европейской платформы для границы перми и триаса, а также получить магнитостратиграфическую характеристику этих разрезов, на основе которой предложен уточненный вариант региональной магнитостратиграфической шкалы пограничных отложений перми и триаса центральной части Русской плиты. Наиболее важными результатами проведенных исследований являются следующие.

1. Предложен новый вариант региональной магнитостратиграфической шкалы пограничных отложений перми и триаса центральной части Восточно-Европейской платформы. Полученные данные свидетельствуют, что магнитозона R_3P включает в себя 5 субзон магнитной полярности, а не 4, как это считалось ранее. Это дает достаточные основания для переименования ее в ортозону RnP .

2. Аномальные палеомагнитные направления обнаружены в верхнепермских частях разрезов Жуков овраг и Окский съезд, что подтверждает существование и, как минимум, региональное распространение аномальной зоны, ранее выделенной в разрезе Недуброво. Это позволяет использовать ее как магнитостратиграфический маркер для пограничных отложений перми и триаса, однако вопрос о природе и точном стратиграфическом положении аномальной палеомагнитной зоны остается во многом открытым.

3. С использованием представительных палеомагнитных коллекций получено три новых пермско-триасовых палеомагнитных полюса Восточно-Европейской платформы, при вычислении которых учтен эффект занижения магнитного наклона в осадочных породах.

Авторы крайне признательны А.Ю. Гужинову за подробный анализ рукописи и ценные замечания.

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ №18-05-00593 и за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания № 671-2020-0049 в сфере научной деятельности, а также НИР в рамках государственного задания ИФЗ РАН и геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Лабораторные исследования выполнялись на оборудовании ЦКП «Петрофизика, геомеханика и палеомагнетизм» ИФЗ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Арефьев М.П., Голубев В.К., Карасев Е.В., Кулешов В.Н., Покровский Б.Г., Шкурский Б.Б., Ярошенко О.П., Григорьева А.В. Комплексная палеонтологическая, седиментологическая и геохимическая характеристика терминальных отложений пермской системы северо-восточного борта Московской синеклизы. Статья 2. Нижнее течение р. Юг // Бюл. МОИП, 2016, т. 91, № 2—3, с. 47—62.

Балабанов Ю.П., Фетисова А.М., Голубев В.К., Сенников А.Г. Палеомагнитная и палеонтологическая характеристика пограничных отложений перми и триаса юга Московской синеклизы // Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России (Материалы Межведомственного рабочего совещания. Санкт-Петербург, 17–20 октября 2016 г.) / Ред. Т.Ю. Толмачева. СПб, ВСЕГЕИ, 2016, с. 18—20.

Боронин В.П., Буров Б.В. Палеомагнитная зона Иллава в отложениях верхней перми и нижнего триаса Среднего Поволжья // Материалы по стратиграфии верхней перми на территории СССР. Казань, Изд-во Казан. ун-та, 1977, с. 25—52.

Буров Б.В., Жарков И.Я., Нургалеев Д.К., Балабанов Ю.П., Борисов А.С., Ясонов П.Г. Магнитостратиграфическая характеристика верхнепермских разрезов Поволжья и Прикамья // Стратотипы и опорные разрезы верхней перми Поволжья и Прикамья / Под ред. Н.К. Есаулова, В.Р. Лозовского. Казань, Экоцентр, 1996, с. 390—423.

Голубев В.К., Миних А.В., Балабанов Ю.П., Кухтинов Д.А., Сенников А.Г., Миних М.Г. Опорный разрез перми и триаса в Жуковом овраге у г. Гороховец, Владимирская область // Бюл. Региональной межведомственной стратиграфической комиссии по центру и югу Русской платформы, 2012а, вып. 5, с. 49—82.

Голубев В.К., Сенников А.Г., Миних А.В., Карасев Е.В. Палеонтологическая характеристика пермско-триасовых отложений в Нижнем Новгороде // Палеострат-2012. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН (Москва, 30 января — 1 февраля 2012 г.). М., ПИН РАН, 2012б, с. 23—25.

Граница перми и триаса в континентальных сериях Восточной Европы. Материалы к Международному симпозиуму «Верхнепермские стратотипы Поволжья». М., ГЕОС, 1998, 246 с.

Миних А.В., Голубев В.К., Кухтинов Д.А., Балабанов Ю.П., Миних М.Г., Сенников А.Г., Муравьев Ф.А., Воронкова Е.А. К характеристике опорного разреза пограничных отложений перми и

триаса в овраге Жуков (Владимирская обл., бассейн р. Клязьма) // Пермская система: стратиграфия, палеонтология, палеогеография, геодинамика и минеральные ресурсы. Сборник материалов Международной научной конференции, посвященной 170-летию со дня открытия пермской системы (5—9 сент. 2011 г.). Пермь, Изд-во Перм. ун-та, 2011, с. 133—138.

Молостовская И.И. О границе перми и триаса в разрезе Жукова оврага // Изв. вузов. Геология и разведка, 2010, № 3, с. 10—14.

Молостовский Э.А. Палеомагнитная стратиграфия верхней перми и триаса востока европейской части СССР. Саратов, Изд-во Саратов. ун-та, 1983, 168 с.

Наумчева М.А. Остракоды и биостратиграфия пограничных отложений перми и триаса центральных районов Русской плиты: Автореф....к.г.-м.н. М., Изд-во Моск. ун-та, 2020, 24 с.

Наумчева М.А., Голубев В.К. Комплексы остракод пограничных отложений перми и триаса Московской синеклизы // Региональная геология и металлогения, 2019, № 80, с. 21—29.

Наумчева М.А., Голубев В.К., Балабанов Ю.П., Сенников А.Г. Остракоды из пограничных отложений перми и триаса разреза Окский съезд, Нижний Новгород // Палеострат-2017. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН (Москва, 30 января — 1 февраля 2017 г.) / Ред. А.С. Алексеев. М., ПИН РАН, 2017, с. 78.

Сенников А.Г., Голубев В.К. О присутствии нижнетриасовых (вохминских) отложений на правом берегу р. Оки в Нижнем Новгороде // Позвоночные палеозоя и мезозоя Евразии: эволюция, смена сообществ, тафономия и палеогеография. Материалы конференции, посвященной 80-летию со дня рождения Виталия Георгиевича Очева (1931—2004) (6 декабря 2011 г., ПИН РАН, Москва). М., ПИН РАН, 2011, с. 44—47.

Сенников А.Г., Голубев В.К. К фаунистическому обоснованию границы перми и триаса в континентальных отложениях Восточной Европы. 1. Гороховец—Жуков овраг // Палеонтологический журнал, 2012, № 3, с. 88—98.

Силантьев В.В. Зональная шкала пермских отложений Восточно-Европейской платформы по неморским двустворчатым моллюскам // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2014, т. 22, № 1, с. 3—30, doi: 10.7868/S0869592X14010062.

Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб, ВСЕ-ГЕИ, 2019, 96 с.

Строк Н.И., Горбаткина Т.Е., Лозовский В.Р. Верхнепермские и нижнетриасовые отложения Московской синеклизы. М., Недра, 1984, 140 с.

Татарские отложения реки Сухоны / Под ред. Э.А. Молостовского, А.В. Миниха. Саратов, Научная книга, 2001, 204 с.

Уточненная субрегиональная стратиграфическая схема триасовых отложений запада, центра и севера Восточно-Европейской платформы (Польско-Литовская, Московская и Мезенская синеклизы, Вятско-Камская впадина) / Под ред. В.Р. Лозовского, С.М. Шика. М., ПИН РАН, 2011, 32 с.

Фетисова А.М., Веселовский Р.В., Балабанов Ю.П., Сальная Н.В. Занижение наклона в пограничных пермо-триасовых разрезах Среднего Поволжья в свете новых палеомагнитных данных // Физика Земли, 2017, № 5, с. 19—29, doi: 10.7868/S0002333717040020.

Фетисова А.М., Балабанов Ю.П., Веселовский Р.В., Мамонтов Д.А. Аномальная намагниченность красноцветов недубровской пачки пограничных пермо-триасовых отложений Русской плиты // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 2018а, т. 63 (4), с. 544—560, doi: 10.21638/spbu07.2018.409.

Фетисова А.М., Веселовский Р.В., Scholze F., Балабанов Ю.П. Новый пермо-триасовый палеомагнитный полюс Восточно-Европейской платформы, вычисленный с учетом занижения наклона в осадочных породах // Физика Земли, 2018б, № 1, с. 158—171.

Фетисова А.М., Веселовский Р.В., Арефьев М.П. Новые палеомагнитные данные по пермотрасовым осадочным разрезам Московской синеклизы // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки, 2020, т. 162, кн. 2, с. 228—243.

Храмов А.Н. Палеомагнитная корреляция осадочных толщ. Л., Гостоптехиздат, 1958, 218 с.

Храмов А.Н. Палеомагнитное изучение разрезов верхней перми и нижнего триаса севера и востока Русской платформы // Палеомагнитные стратиграфические исследования. Л., Гостоптехиздат, 1963, с. 145—174.

Чистякова А.В., Веселовский Р.В., Семенова Д.В., Ковач В.П., Адамская Е.В., Фетисова А.М. Стратиграфическая корреляция пермо-триасовых разрезов Московской синеклизы: первые результаты U-Pb-датирования обломочного циркона // ДАН, 2020, т. 492, № 1, с. 23—28, doi: 10.31857/S2686739720050060.

Arefiev M.P., Golubev V.K., Balabanov Yu.P., Karasev E.V., Minikh A.V., Minikh M.G., Molostovskaya I.I., Yaroshenko O.P., Zhokina-Naumcheva M.A. Type and reference sections of the Permian–Triassic continental sequences of the East European Platform: main isotope, magnetic, and biotic events. XVIII International Congress on the Carboniferous and Permian. Sukhona and Severnaya Dvina Rivers field trip. August 4–10, 2015. Moscow, Borissiak Paleontological Institute RAS, 2015, 104 p.

Burgess S.D., Bowring S., Shen S.Z. High-precision timeline for Earth's most severe extinction // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2014, v. 111 (9), p. 3316–3321, doi: 10.1073/pnas.1317692111.

Burov B.V., Zharkov I.Ya., Nurgaliev D.K., Balabanov Yu.P., Borisov A.S., Yasonov P.G. Magnetostratigraphic characteristics of Upper Permian sections in the Volga and the Kama areas / Eds. N.K. Esaulova, V.R. Lozovsky, A.Yu. Rozanov // *Stratotypes and reference sections of the Upper Permian in the regions of the Volga and Kama rivers*. Moscow, GEOS, 1998, p. 236–263.

Chadima M., Hroudá F. Remasoft 3.0 a user friendly paleomagnetic data browser and analyzer // *Travaux Geophysiques*, 2006, XXVII, p. 20–21.

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

Fetisova A.M., Arefiev M., Veselovskiy R.V. Paleomagnetism and magnetostratigraphy of Permian–Triassic redbeds of the Balebikha section (Russia, Severnaya Dvina River) // *Sedimentary Earth systems: stratigraphy, geochronology, petroleum resources*. Proceedings of the Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, Filodiritto Editore, 2019, p. 90–94

Golubev V.K. Permian–Triassic boundary stratigraphy of the East European platform. The state of the art: no evidence for a major temporal hiatus // *Permophiles*, 2019, № 67, p. 33–36.

Henderson C.M., Shen S.Z., Gradstein F.M., Agterberg F.P. Chapter 24. The Permian Period / Eds. F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg // *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier, 2020, p. 875–902, doi: 10.1016/B978-0-12-824360-2.00024-3.

Hounslow M.W., Balabanov Y.P. A geomagnetic polarity timescale for the Permian, calibrated to stage boundaries / Eds. S.G. Lucas, S.Z. Shen // *The Permian Timescale*. Geol. Soc. London Spec. Publ., 2018, v. 450, p. 61–103, doi: 10.1144/SP450.8.

Kirschvink J.L. The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data // *Geophys. J. Int.*, 1980, v. 62 (3), p. 699–718, doi: 10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x.

Koymans M.R., Langereis C.G., Pastor-Galan D., van Hinsbergen D.J.J. Paleomagnetism.org: An online multi-platform open source environment for paleomagnetic data analysis // *Comput. Geosci.*, 2016, v. 93, p. 127–137, doi: 10.1016/j.cageo.2016.05.007.

McFadden P.L., McElhinny M.W. Classification of the reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.*, 1990, v. 103 (3), p. 725–729, doi: 10.1111/j.1365-246X.1990.tb05683.x.

Naumcheva M.A., Golubev V.K. Nonmarine ostracodes at the Permian–Triassic boundary of the central part of the East European Platform // *Palaeoworld*, 2020, v. 29 (2), p. 353–367, doi: 10.1016/j.palwor.2019.02.001.

Newell A.J., Sennikov A.G., Benton M.J., Molostovskaya I.I., Golubev V.K., Minikh A.V., Minikh M.G. Disruption of playa-lacustrine depositional systems at the Permo–Triassic boundary: evidence from Vyazniki and Gorokhovets on the Russian Platform // *J. Geol. Soc. London*, 2010, v. 167, p. 695–716, doi: 10.1144/0016-76492009-103.

Opdyke N.D., Channell J.E.T. *Magnetic stratigraphy*. San Diego, Academic Press, 1996.

Schneider J.W., Lucas S.G., Scholze F., Voigt S., Marchetti L., Klein H., Opluštil S., Werneburg R., Golubev V.K., Barrick J.E., Nemyrovska T., Ronchi A., Day M.O., Silantiev V.V., Rößler R., Saber H., Linnemann U., Zharinova V., Shen S.Z. Late Paleozoic–early Mesozoic continental biostratigraphy — Links to the Standard Global Chronostratigraphic Scale // *Palaeoworld*, 2020, v. 29 (2), p. 186–238, doi: 10.1016/j.palwor.2019.09.001.

Scholze F., Golubev V.K., Niedźwiedzki G., Sennikov A.G., Schneider J.W., Silantiev V.V. Early Triassic Conchostracans (Crustacea: Branchiopoda) from the terrestrial Permian–Triassic boundary sections in the Moscow syncline // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2015, v. 429, p. 22–40, doi: 10.1016/j.palaeo.2015.04.002.

Scholze F., Golubev V.K., Niedźwiedzki G., Schneider J.W., Sennikov A.G. Late Permian conchostracans (Crustacea, Branchiopoda) from continental deposits in the Moscow Syncline, Russia // *J. Paleontol.*, 2019, v. 93 (1), p. 72–97, doi: 10.1017/jpa.2018.58.

Taylor G.K., Tucker C., Twitchett R.J., Kearsley T., Benton M.J., Newell A.J., Surkov M.V., Tverdokhlebov V.P. Magnetostratigraphy of Permian/Triassic boundary sequences in the Cis-Ural, Russia: No evidence for a major temporal hiatus // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2009, v. 281 (1–2), p. 36–47, doi: 10.1016/j.epsl.2009.02.002.

Tauxe L., Kent D.V. A simplified statistical model for the geomagnetic field and the detection of shallow bias in paleomagnetic inclinations: was the ancient magnetic field dipolar? // Eds. J.E.T. Channell, D.V. Kent, W. Lowrie, J. Meert // Timescales of the paleomagnetic field, v. 145. Washington, D.C., American Geophysical Union, 2004, p. 101—115, doi: 10.1029/145GM08.

Yin H.F., Zhang K.X., Tong J.N., Yang Z.Y., Wu S.B. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) of the Permian-Triassic boundary // Episodes, 2001, v. 24, p. 102—114.

*Поступила в редакцию 1 февраля 2021 г.,
принята в печать 1 сентября 2021 г.*