

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

Фетисова А. М., Голубев В. К., Веселовский Р. В., Балабанов Ю. П.

## Аннотация

Мы представляем результаты детальных магнитостратиграфических исследований трёх опорных пермо-триасовых разрезов континентальных красноцветов центральной части Восточно-Европейской платформы – Жуков овраг, Слукино и Окский съезд. С использованием комплекса палеомагнитных и биостратиграфических данных предложена уточнённая сводная магнитостратиграфическая шкала пограничного пермо-триасового интервала Русской плиты, отвечающего гиперзоне переменной полярности Иллавара, и выполнена её корреляция с глобальной шкалой магнитной полярности (GPTS). Показано, что в состав магнитозоны R3P вероятнее всего входит не 4 субзоны, как это предполагалось ранее, а 6 субзон магнитной полярности. В верхнепермских интервалах разрезов Жуков овраг и Окский съезд уверенно обнаруживается интервал аномальных палеомагнитных направлений, по своим палеомагнитным характеристикам соответствующий аналогичному интервалу в разрезе Недуброво Вологодской области. Мы предполагаем, что указанный интервал имеет, как минимум, региональное распространение и отвечает относительно продолжительному периоду стабильной, но аномальной конфигурации магнитного поля Земли вблизи границы палеозоя и мезозоя. Получены три новых пермо-триасовых палеомагнитных полюса Восточно-Европейской платформы, вычисленные с учётом эффекта занижения наклона: P<sub>Lat</sub>=54.8°, P<sub>Long</sub>=173.6°, dp/dm=2.6°/4.0° (Жуков овраг); P<sub>Lat</sub>=47.6°, P<sub>Long</sub>=164.3°, dp/dm=3.0°/4.8° (Слукино); P<sub>Lat</sub>=52.7°, P<sub>Long</sub>=153.6°, dp/dm=3.7°/5.4° (Окский съезд).

We present new results of detailed magnetostratigraphic studies of three reference Permian-Triassic sections of continental red beds in the central part of the East European platform – Zhukov Ovrage, Slukino and Okskiy Syezd. An updated composite magnetostratigraphic scale of the Permian-Triassic interval of the Russian basin is developed using a complex of paleomagnetic and biostratigraphy data; it corresponds to the Illawarra hyperzone of mixed polarity and has been correlated with the geomagnetic polarity time scale (GPTS). It is shown that the composition of the R3P magnetozone most likely includes not 4 subzones, as it was assumed earlier, but 6 magnetic polarity subzones. In the Upper Permian interval of the Zhukov Ovrage and Okskiy Syezd sections, the intervals of anomalous paleomagnetic directions have been found: their paleomagnetic characteristics corresponds to a similar interval in the Nedubrovo section of the Vologda region. We assume that this anomalous interval has at least a regional distribution, and corresponds to a relatively long period of a stable but anomalous configuration of the Earth's magnetic field close to the Paleozoic-Mesozoic boundary. Three new Permian-Triassic paleomagnetic poles of the East European platform were calculated taking into account the inclination shallowing: P<sub>Lat</sub> = 54.8°, P<sub>Long</sub> = 173.6°, dp/dm = 2.6°/4.0° (Zhukov Ovrage); P<sub>Lat</sub> = 47.6°, P<sub>Long</sub> = 164.3°, dp/dm = 3.0°/4.8° (Slukino); P<sub>Lat</sub> = 52.7°, P<sub>Long</sub> = 153.6°, dp/dm = 3.7°/5.4° (Okskiy Syezd).

## Ключевые слова:

палеомагнетизм, Русская плита, пермь, триас, магнитостратиграфия

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

А.М. Фетисова<sup>1,2</sup>, В.К. Голубев<sup>3</sup>, Р.В. Веселовский<sup>1,2</sup>, Ю.П. Балабанов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, Ленинские горы, д.1, Москва

<sup>2</sup>Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, ул. Б. Грузинская 10, Москва

<sup>3</sup>Палеонтологический институт имени А.А. Борисяка РАН, ул. Профсоюзная 123, Москва

<sup>4</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская 4/5, Казань

### АННОТАЦИЯ

Представлены результаты детальных магнитостратиграфических исследований трёх опорных пермо-триасовых разрезов континентальных красноцветов центральной части Восточно-Европейской платформы – Жуков овраг, Слукино и Окский съезд, на основе которых уточнена магнитостратиграфическая схема пограничного пермо-триасового интервала Русской плиты. Показано, что в состав магнитозоны R<sub>3</sub>P вероятнее всего входит не 4 субзоны, как это предполагалось ранее, а 5 субзон магнитной полярности; это даёт достаточные основания для переименования её 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 пермо-триасовых палеомагнитных полюса Восточно-Европейской платформы, вычисленные с учётом эффекта занижения наклона: P<sub>Lat</sub>=54.8°, P<sub>Long</sub>=173.6°, dp/dm=2.6°/4.0° (Жуков овраг); P<sub>Lat</sub>=47.6°, P<sub>Long</sub>=164.3°, dp/dm=3.0°/4.8° (Слукино); P<sub>Lat</sub>=52.7°, P<sub>Long</sub>=153.6°, dp/dm=3.7°/5.4° (Окский съезд).

**Ключевые слова:** палеомагнетизм, Русская плита, пермь, триас, магнитостратиграфия

### ABSTRACT

We present the results of detailed magnetostratigraphic studies, carried out on three reference Permian-Triassic sections of continental red beds in the central part of the East European platform – Zhukov Ovrage, Slukino and Okskiy Syezd. The magnetostratigraphic scale of the Permian-Triassic interval of the Russian basin has been updated. It is shown that the composition of the R<sub>3</sub>P magnetozone most likely includes not 4 subzones, as it was assumed before, but 5

magnetic polarity subzones, and this magnetozone should be indexed as RnP. In the Upper Permian interval of the Zhukov Ovrage and Okskiy Syezd sections, the layers with anomalous paleomagnetic directions, similar to that in the Nedubrovo section of the Vologda region, have been found. We assume that this anomalous interval has at least a regional distribution and corresponds to relatively long period of stable configuration of the Earth's magnetic field (likely the subequatorial dipole) close to the Paleozoic-Mesozoic boundary. Three new Permian-Triassic paleomagnetic poles of the East European platform were calculated with correction for the inclination shallowing: P<sub>Lat</sub> = 54.8°, P<sub>Long</sub> = 173.6°, dp/dm = 2.6°/4.0° (Zhukov Ovrage); P<sub>Lat</sub> = 47.6°, P<sub>Long</sub> = 164.3°, dp/dm = 3.0°/4.8° (Slukino); P<sub>Lat</sub> = 52.7°, P<sub>Long</sub> = 153.6°, dp/dm = 3.7°/5.4° (Okskiy Syezd).

## ВВЕДЕНИЕ

Составление глобальной шкалы геомагнитной полярности (GPTS, Geomagnetic Polarity Time Scale) – одна из наиболее актуальных задач современной палеомагнитологии. Разработка её пермо-триасового интервала возможна исключительно по результатам палеомагнитного изучения обнажений горных пород на континентах, поскольку метод магнитных аномалий дна океанов не может быть использован. Компиляция глобальной шкалы магнитной полярности перми и триаса выполняется путём сопоставления частных магнитостратиграфических шкал, составленных по результатам изучения наиболее полных и хорошо охарактеризованных разрезов осадочных и вулканических пород соответствующего возраста. Однако именно здесь существуют определённые 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 P-T границы, зафиксированной по первому появлению конодонтов *Hindeodus parvus*, здесь определён 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 надёжных палеомагнитных данных по границе перми-триаса в разрезе Мейшань (дислоцированность, высокая степень выветривания пород) и малых скоростей осадконакопления, шкала магнитной полярности для этого стратотипического разреза до сих пор не может считаться надёжно разработанной [Yin et al., 2001]. С другой стороны, благодаря высокой скорости осадконакопления и хорошему качеству палеомагнитной записи, континентальные пермо-триасовые отложения чехла Восточно-Европейской платформы позволяют уверенно получать более детальную запись древнего геомагнитного поля. Но здесь ситуация осложняется наличием большого количества внутрiformационных перерывов, объём 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 определённых 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 надёжности и детальности региональной магнитостратиграфической схемы континентальных пермо-триасовых толщ Русской плиты.

Основные черты палеомагнитной зональности континентальных пермо-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 пермо-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 пермо-триасовых отложений Русской плиты неоднократно дополнялись и детализировались [Буров и др., 1996; Боронин, 1997; Vugov et al., 1998; Балабанов и др., 2016; Taylor et al., 2009; 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, Valabanov, 2018]. Однако большинство из использованных при её составлении данных получены без учёта современных требований к качеству и надёжности применительно к задачам магнитостратиграфии [Opdyke, Channell, 1996] и должны быть проверены. Например, температурные магнитные чистки нередко выполнялись только до 350°C, а не до полного размагничивания образца; компонентный анализ естественной остаточной намагниченности не проводился вовсе.

Таким образом, получение новых палеомагнитных данных для пограничного пермо-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 как новых, так и опубликованных ранее палеомагнитных данных [Балабанов и др., 2016; Голубев и др., 2012а; Миних и др., 2011; Молостовский, 1983; Фетисова и др., 2017, 2018б, 2020] по трём разрезам пограничных отложений перми и триаса юго-восточного борта Московской синеклизы: Жуков овраг, Слукино и Окский съезд (рис. 1).

### **ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОТБОР ОБРАЗЦОВ**

Все три разреза в магнитостратиграфическом отношении исследовались нами ранее [Балабанов и др., 2016; Голубев и др., 2012а]: 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 годах. Положение изученных разрезов и их фотографии приведены на рис. 1.

Разрез **Жуков овраг** (56.180°N, 42.637°E) расположен во Владимирской области на правом берегу р. Клязьма в 2 км выше по течению от города Гороховец между деревнями Слукино и Арефино (рис. 1, а-в). Это один из самых стратиграфически полных разрезов пограничных пермо-триасовых отложений на территории центральной части Восточно-Европейской платформы [Голубев и др., 2012a]. Он является опорным стратиграфическим разрезом перми и триаса юго-восточных районов Московской синеклизы и неоднократно изучался в процессе геологосъёмочных и стратиграфических работ [Молостовская, 2010; Молостовский, 1983; Сенников, Голубев, 2012; Строк и др., 1984; Newell et al., 2010]. В 1970 г. палеомагнитное исследование данного разреза было проведено Э.А. Молостовским, который выделил здесь четыре палеомагнитные зоны (снизу вверх):  $r_1P_2t_1$ ,  $p_1P_2t_2$ ,  $r_2P_2t_2$  и  $p_1T_1$  [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 озёрными 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 трёхметрового песчано-глинистого интервала в средней части пачки. Отсюда определены конхостраки и рыбы, свидетельствующие о приуроченности отложений к терминальной части путятинского и быковскому горизонтам (терминальная часть верхнесеверодвинского подъяруса и нижневятский подъярус верхнепермского (татарского) отдела) [Голубев и др., 2012a]. 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 (нефёдовскому горизонту и нижней части жуковского горизонта) [Голубев и др., 2012a; Наумчева, 2020; Наумчева, Голубев, 2019; Силантьев, 2014; Scholze et al., 2019]. 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 [Голубев и др., 2012a; Наумчева, 2020; Наумчева, Голубев, 2019; Силантьев, 2014; Scholze et al., 2019]. Завершает разрез рябинская пачка вохминской свиты видимой мощностью 14 м. Эта пачка охарактеризована остракодами, тетраподами, конхостраками и рыбами вохминского горизонта [Голубев и др., 2012a; Наумчева, 2020; Наумчева, Голубев, 2019; Scholze et al., 2015, 2019]. Внутри вохминской свиты на границе жуковской и рябинской пачек зафиксировано резкое изменение в составе комплексов остракод [Наумчева, 2020; Наумчева, Голубев, 2019], 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

[Голубев и др., 2012а; Молостовская, 2010; Наумчева, 2020; Наумчева, Голубев, 2019; Силантьев, 2014; Newell et al., 2010; Scholze et al., 2015, 2019]. Разрез Жуков овраг опробовался нами в девяти перекрывающих и надстраивающих друг друга канавах в течение полевых сезонов 2010 и 2018 годов. Общая мощность опробования составила около 45 м. Шаг опробования составлял от 2 см до 20 см, отбор происходил практически равномерно по разрезу (рис. 2). Из угличской пачки был отобран 81 ориентированный образец, из гороховецкой – 105 образцов, из жуковской – 16, из рябинской – 82. Палеомагнитная коллекция составила 284 штуфов.

Разрез **Слукино** (56.188°N, 42.648°E) располагается в овраге, соседнем с разрезом Жуков овраг, в 1.4 км ниже по течению р. Клязьма от последнего, на западной окраине д. Городищи (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 (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 эрозионным несогласием на гороховецкой пачке обнорской свиты, увеличиваясь в мощности до 16 м. Подробное описание разреза и его биостратиграфическая характеристика представлены в работах [Наумчева, 2020; Наумчева, Голубев, 2019; Naumcheva, Golubev, 2020]. Разрез опробовался в 4 канавах в течение полевых сезонов 2010 и 2019 годов, общая мощность опробования составила около 35 м. Отбор образцов производился равномерно по мощности, однако два интервала разреза, мощностью не более 5 метров, опробовать не удалось (рис. 3). В итоге, нами были опробованы верхнепермская гороховецкая пачка (10 штуфов) и нижнетриасовые рябинская пачка (30 штуфов), рябинская и краснобаковская пачки нерасчленённые (3 штуфа) и краснобаковская пачка (37 штуфов). Палеомагнитная коллекция составила 80 штуфов.

Разрез **Окский Съезд** (56.302°N, 43.971°E) был изучен на правом берегу р. Ока, в пределах города Нижний Новгород, на абсолютных отметках 120-175 м между оврагами Лагерный и Монастырский (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 (рис. 4) представлена гороховецкой пачкой обнорской свиты видимой мощностью 18 м. Сложена она пестроцветными песчано-глинистыми отложениями преимущественно аллювиального генезиса. Присутствуют единичные маломощные (до 15 см) сероцветные прослои озёрных известняков. Обнаруженные в пачке остатки остракод, конхострак, двустворчатых моллюсков, рыб, тетрапод и растений свидетельствуют о её нефёдовском возрасте [Голубев и др., 2012б; Наумчева, 2020; Наумчева, Голубев, 2019; Наумчева и др., 2017; Сенников, Голубев, 2011]. Выше, с эрозионным несогласием, залегает жуковская пачка вохминской свиты (5-8 м), образованная русловыми аллювиальными красноцветными песчаниками с прослоями и линзами внутрiformационных конгломератов. В пачке найдены остатки двустворчатых моллюсков, тетрапод и рыб жуковского горизонта [Голубев и др., 2012б; Сенников, Голубев, 2011]. 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 [Голубев и др.,

2012б; Наумчева, 2020; Наумчева, Голубев, 2019; Наумчева и др., 2017; Сенников, Голубев, 2011]. Описание разреза и его биостратиграфическая характеристика представлены в работах [Балабанов и др., 2016; Голубев и др., 2012б; Наумчева, 2020; Наумчева, Голубев, 2019; Наумчева и др., 2017; Сенников, Голубев, 2011]. Разрез Окский съезд опробовался в 9 дорожно-строительных выемках, охвативших по мощности около 60 м (рис. 4). 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 её 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 отбирались 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 имени 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 Magnetics, 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, Hroudá, 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  $PLat$ . Также, в ряде случаев, нами были использованы данные, полученные по образцам с шумным палеомагнитным сигналом, для которых компонентный анализ затруднён (вычисленное направление  $ChRM$  характеризовалось величиной  $MAD$  (Maximum Angular Deviation)  $>8^\circ$ ), однако полярность  $ChRM$  определяется вполне уверенно. Критерием для выделения зон аномальных палеомагнитных направлений служило наличие в разрезе последовательности из не менее чем 5 штуфов, наклонение  $ChRM$  в которых близко к  $0^\circ$ .

## **ПЕТРО- И ПАЛЕОМАГНИТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ РАЗРЕЗОВ**

### *Петромагнетизм*

Характер анизотропии магнитной восприимчивости (AMS) пород всех трёх изученных разрезов, в целом, подобен (рис. 5, а-в). Степень анизотропии в среднем составляет 4-7%, в редких случаях достигая 15%; эллипсоиды AMS преимущественно имеют уплощенную форму. Минимальные 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  $90^\circ$  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. 5 (г-д). Нагревы производились до  $700^\circ\text{C}$  при атмосферном давлении в воздушной среде. В общем случае, кривая нагрева имеет три характерных перегиба: (1) перегиб в интервале  $300$ - $400^\circ\text{C}$  наиболее вероятно соответствует переходу железосодержащих силикатных и карбонатных минералов в магнетит при нагреве; (2) перегиб в интервале  $550$ - $590^\circ\text{C}$  отвечает магнетиту; (3) перегиб в интервале  $670$ - $690^\circ\text{C}$  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 таблице 1 на уровне пачек, а на рисунках 2-4 – 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 её среднего значения (табл. 1, рис. 2-4). Этот вывод согласуется с существующими представлениями об увеличении сноса обломочного материала с Уральского орогена, испытавшего в начале триаса воздымание и проявления вулканизма [Арефьев и др., 2016; Граница..., 1998; 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 пермо-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 привёл 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 магнитожёсткого минерала, вероятнее всего гематита. Диаграммы Зийдервельда, стереограммы и кривые размагничивания, отражающие результаты температурных магнитных чисток типичных образцов, представлены на рис. 6.

Магнитные чистки образцов показали, что ЕОН чаще всего является суммой двух компонент: (1) низкотемпературной, с температурами деблокирования около 180-200°C, наиболее вероятно имеющей вязкую природу, и (2) характеристической компоненты (ChRM) прямой (N) или обратной (R) полярности, разрушение которой происходит в температурных интервалах 550-590°C и 670-700°C. Распределение направлений ChRM для каждого разреза приведено на рис. 7, а соответствующие палеомагнитные полюсы представлены в таблице 2. С использованием распределений ChRM прямой полярности разреза Жуков овраг и обратной полярности разреза Окский съезд были получены оценки коэффициента занижения наклона, составившие 0.81 и 0.51, соответственно. Скорректированные палеомагнитные направления ( $I_{\text{corr}}$ ) 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 наклоны, 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) её 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 рис. 2-4.

В **Жуковом овраге** (рис. 2) низы угличской пачки, обнажающиеся в канаве 1022, намагничены, преимущественно, в эпоху обратной полярности; лишь в верхней части изученной толщи по четырём 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 рис. 2-4 показаны только величины скалярных петромагнитных характеристик, а определения полярности характеристической компоненты и её 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., 2018a]. Залегающие выше породы жуковской и рябинской пачек вохминской свиты горизонта образовались в эпоху нормальной полярности магнитного поля Земли.

Разрез **Слукино** (рис. 3) 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 [Лозовский, Шик, 2011].

Самые низы разреза **Окский съезд** (рис. 4), 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 (o), тетрапод (t) и рыб (p) даёт возможность сопоставить изученные разрезы и составить сводную палеомагнитную колонку (рис. 8), который отвечает знакопеременной гиперзоне Иллавара. В нём 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  $R_2P_3$ ,  $N_2P_3$ ,  $R_3P_3$ ,  $N_1T_1$  региональной магнитостратиграфической шкалы (Молостовская, 2010). Мы предлагаем следующую корреляцию выделенных нами магнитозон с региональной магнитостратиграфической шкалой пермо-триаса Восточно-Европейской платформы (рис. 8).

Нижняя часть разреза, которой отвечают магнитозоны  $r1$ ,  $n1$  и  $r2$ , имеет недостаточный набор биостратиграфических данных, но обнаруженные конхостраки и рыбы [Голубев и др., 2012а; Scholze et al., 2019] позволяют предположить нижневятский возраст (быковский горизонт) этих толщ. Поэтому магнитозоны  $r1$ ,  $n1$ ,  $r2$  наиболее вероятно отвечают ортозоне  $R_2P$ . Интервал разреза, отвечающий зоне прямой полярности  $n2$ , не имеет биостратиграфической характеристики, но поскольку он литологически более близок к нижележащим породам, то условно соотносится нами с ортозоной  $N_2P$ .

Магнитные зоны  $r3$ ,  $n3$ ,  $r4$  соответствуют нефёдовскому горизонту, который по фауне остракод делится на две части: нижнюю (слои с *Suchonella typica*) и верхнюю (слои с *Suchonella clivosa*) [Наумчева, 2020; Наумчева, Голубев, 2019]. Нижняя часть этого горизонта (слои с *Suchonella typica*) в изученных в рамках данной работы 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 объёме. Здесь они в нижней части (разрезы Саларёво и Аристово) соответствуют субзоне обратной полярности  $r_1R_3P$  [Молостовский, Миних, 2001], а в верхней части (разрезы Аристово и Верхнее Кузино) – субзоне прямой полярности  $n_1R_3P$  [Молостовский, Миних, 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 нём отсутствуют. Однако в этом случае строение ортозоны  $R_3P$  становится несколько более сложным, и, в дополнение к описанным в её составе четырём 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  $r3$  с субзоной  $r_2R_3P$ , зону  $n3$  – с субзоной  $n_2R_3P$ , а зону  $r4$  – с субзоной  $r_3R_3P$ . Принимая во внимание расширение состава ортозоны  $R_3P$ , мы предлагаем переименовать её в ортозону  $RnP$  с соответствующим изменением индексов входящих в неё субзон (рис. 8).

В субзоне  $r_3RnP$ , на основании данных по разрезам Жуков овраг и Окский съезд, нами уверенно выделяется интервал аномальных палеомагнитных направлений (рис. 8), палеомагнитная характеристика которого (направление  $ChRM$ ) позволяет надёжно сопоставить его с аналогичными аномальными интервалами разрезов Недуброво [Фетисова и др., 2018а] и Балебиха [Fetisova et al., 2019]. При этом актуальные биостратиграфические данные свидетельствуют о том, что в разрезе Окский съезд интервал аномальных палеомагнитных направлений ( $a1r4$ ) имеет несколько более древний возраст (слои с *Suchonella clivosa*, нефёдовский горизонт), чем субзона аномальных направлений ( $a2r4$ ) 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* (нефёдовский 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 трёх идентичных по своим характеристикам, но разнесённых во времени интервалов аномальной конфигурации геомагнитного поля представляется нам крайне маловероятным. Этот вопрос, очевидно, требует дальнейшего решения и на настоящий момент остаётся открытым.

Индексация зоны прямой полярности  $n4$  выполняется по следующему принципу. В изученных нами разрезах нижняя часть этой зоны охарактеризована богатой фауной остракод, тетрапод, рыб, двустворчатых 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, 2012б; Scholze et al., 2015, 2019; Наумчева, Голубев, 2019; Naumcheva, Golubev, 2020; Наумчева, 2020]. Таким образом, по современным стратиграфическим представлениям, внутри зоны прямой полярности  $n4$  располагается граница перми и триаса [Golubev, 2019]. Тогда, согласно [Стратиграфический..., 2019], рассматриваемая зона прямой полярности  $n4$  будет иметь индекс  $N_3P-T$ .

Зона обратной полярности  $r5$  охарактеризована остракодами, тетраподами и рыбами, типичными для вохминского горизонта, что позволяет уверенно сопоставить её с ортозоной  $R_1T$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальные палеомагнитные исследования трёх разрезов пермо-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-триаса, а также получить магнитостратиграфическую характеристику этих разрезов, на основе которой предложен уточнённый вариант региональной магнитостратиграфической шкалы пограничных пермо-триасовых толщ 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 о том, что магнитозона  $R_3P$  включает в себя 5 субзон магнитной полярности, а не 4, как это считалось ранее. Это даёт достаточные основания для переименования её в ортозону  $R_nP$ ;
- 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 её как магнитостратиграфический маркер для пограничных отложений перми и триаса, однако вопрос о природе и

точном стратиграфическом положении аномальной палеомагнитной зоны остаётся, во многом, открытым.

- 3) с использованием представительных палеомагнитных коллекций получено три новых пермо-триасовых палеомагнитных полюса Восточно-Европейской платформы, при вычислении которых учтён эффект занижения магнитного наклонения в осадочных породах.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ №18-05-00593 и за счёт 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 имени М.В. Ломоносова. Лабораторные исследования выполнялись на оборудовании ЦКП «Петрофизика, геомеханика и палеомагнетизм» ИФЗ РАН. Авторы крайне признательны А.Ю.Гужикову за подробный анализ рукописи и ценные замечания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический, 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 // Толмачева Т.Ю. (отв. ред.) Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России. Материалы Межведомственного рабочего совещания. Санкт-Петербург, 17–20 октября 2016 г. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2016, с. 18-20.

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

Буров Б.В., Жарков И.Я., Нурғалиев Д.К., Балабанов Ю.П., Борисов А.С., Ясонов П.Г. Магнитостратиграфическая характеристика верхнепермских разрезов Поволжья и Прикамья // Есаулова Н.К., Лозовский В.Р. (ред.) Стратотипы и опорные разрезы верхней перми Поволжья и Прикамья. 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 // Бюллетень 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 пермо-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., Палеонтол. ин-т им. А.А. Борисяка 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.

Лозовский В.Р., Шик С.М. (ред.) Уточнённая субрегиональная стратиграфическая схема триасовых отложений запада, центра и севера Восточно-Европейской платформы (Польско-Литовская, Московская и Мезенская синеклизы, Вятско-Камская впадина). М., ПИН РАН, 2011, 32 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, посвящённой 170-летию со дня открытия пермской системы (5-9 сент. 2011 г.). Пермь, Пермский государственный университет, 2011, с. 133-138.

Молостовская И.И. О границе перми и триаса в разрезе Жукова оврага // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2010, № 3, с. 10-14.

Молостовский Э.А. Палеомагнитная стратиграфия верхней перми и триаса востока Европейской части СССР. Саратов, Изд-во Саратовского университета СССР, 1983, 168 с.

Молостовский Э.А., Миних А.В. (ред.) Татарские отложения реки Сухоны. Саратов, Научная книга, 2001, 204 с.

Наумчева М.А. Остракоды и биостратиграфия пограничных отложений перми и триаса центральных районов Русской плиты. Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. М., Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2020, 264 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 // Алексеев А.С. (ред.) Палеострат-2017. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН (Москва, 30 января - 1 февраля 2017 г.). М., Палеонтол. ин-т им. А.А. Борисяка 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, посвящённой 80-летию со дня рождения Виталия Георгиевича Очева (1931-2004) (6 декабря 2011 г., ПИН РАН, Москва). М., Палеонтол. ин-т им. А.А. Борисяка 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.: Издательство ВСЕГЕИ, 2019, 96 с.

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

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., 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., Веселовский Р.В., Арефьев М.П. Новые палеомагнитные данные по пермо-триасовым осадочным разрезам Московской синеклизы // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. Науки, 2020, т. 162, кн. 2, с. 228–243.

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.

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 // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 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 // Esaulova N.K., Lozovsky V.R., Rozanov A.Yu. (eds). 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 \(Russia, Severnaya Dvina River\) // PROCEEDINGS Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting. 2019 Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources, Filodiritto Editore, 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 // Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M.D., Ogg G.M. (eds). 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 // Lucas S.G., Shen S.Z. (eds). *The Permian Timescale*. Geological Society, London, Special Publications, 2016, 450, p. 61-103. DOI: 10.1144/SP450.8

Kirschvink J. L. The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data // *Geophysical Journal International*, 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* // *Computers and Geosciences*, 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 // *Geophysical Journal International*, 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 // *Journal of the Geological Society, London*, 2010, v. 167, p. 695-716. DOI: 10.1144/0016-76492009-103

Opdyke N.D., Channell J.E.T. *Magnetic stratigraphy*. 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., Schneider J.W., Sennikov A.G. Late Permian conchostracans (Crustacea, Branchiopoda) from continental deposits in the Moscow Syncline, Russia // *Journal of Paleontology*, 2019, v. 93 (1), p. 72-97. DOI: 10.1017/jpa.2018.58

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 // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2015, v. 429, p. 22-40. DOI: 10.1016/j.palaeo.2015.04.002

Taylor G.K., Tucker C., Twitchett R.J., Kearsy 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 and Planetary Science Letters*, 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? // Channell J.E.T., Kent D.V., Lowrie W., Meert J. (eds). *Timescales of the Paleomagnetic Field*, v. 145. American Geophysical Union, Washington, D.C., 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, № 24, p. 102–114.

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; г – Слукино, шурфы №№ 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.

Рис. 2. Разрез Жуков овраг: стратиграфия, литология, схема опробования с номерами образцов, нормированная на вес образца величина естественной остаточной намагниченности (ЕОН), широта виртуального геомагнитного полюса (ВГП). 1 - конгломерат; 2 - песчаник; 3 – песчаник глинистый; 4 – алевролит песчаный; 5 – алевролит; 6 – алевролит глинистый; 7 – глина; 8 – мергель; 9 – глинистый известняк; 10 – известняк; 11 – палыгорскит; 12 – осыпь; 13 – красноцветы; 14 – пестроцветы; 15 – сероцветы; 16 – образец прямой полярности; 17 – образец обратной полярности; 18 – образец с аномальной компонентой намагниченности; 19 – образец с шумной палеомагнитной записью; 20 – зона прямой (N) полярности; 21 – зона обратной (R) полярности; 22 – зона аномальных палеомагнитных направлений.

Рис. 3. Разрез Слукино: стратиграфия, литология, схема опробования с номерами образцов, нормированная на вес образца величина естественной остаточной намагниченности (ЕОН), широта виртуального геомагнитного полюса (ВГП). Условные обозначения см. рис. 2.

Рис. 4. Разрез Окский съезд: стратиграфия, литология, схема опробования с номерами образцов, нормированная на вес образца величина естественной остаточной намагниченности (ЕОН), широта виртуального геомагнитного полюса (ВГП). Условные обозначения см. рис. 2.

Рис. 5. А-В – Анизотропия магнитной восприимчивости в породах изученных разрезов и зависимость параметра формы (Т) от степени анизотропии (Р); Г-Д – температурная зависимость магнитной восприимчивости при нагреве (красная кривая) и охлаждении (синяя кривая) образца.

Рис. 6. Палеомагнетизм разрезов Жуков овраг (а-в), Слукино (г-д) и Окский съезд (е-з): стереограммы, кривые размагничивания и диаграммы Зийдервельда, иллюстрирующие процесс ступенчатой температурной магнитной чистки. Географическая (современная) система координат. (а, д, ж) – примеры образцов с ChRM обратной полярности; (в, г, е) – примеры образцов с ChRM прямой полярности; (б, з) – примеры образцов с аномальным направлением ChRM.

Рис. 7. Распределение единичных направлений характеристической компоненты намагниченности (ChRM) в изученных разрезах и средние направления компонент прямой (синий цвет), обратной (белый цвет), а также прямой и обращённой обратной (красный цвет) полярности с кругами 95%-го доверия.

Рис. 8. Палеомагнитные колонки изученных разрезов, сводная палеомагнитная колонка и региональная магнитостратиграфическая шкала с индексами магнитных зон. Сокращения, уровни находок стратиграфически значимых ископаемых остатков: «О» – остракоды, «Т» – тетраподы, «Р» – рыбы. Корреляционные уровни – нижние границы: 1 – слоёв с *Darwinula prisca*, 2 – слоёв с *Gerdalia longa* (вохминского горизонта), 3 – слоёв с

*Suchonella rykovi* (жуковского горизонта), 4 – слоёв с *Suchonella clivosa*, 5 – слоёв с *Suchonella typica* (нефёдовского горизонта, верхневятского подъяруса).

**Таблица 1.** Скалярные петромагнитные характеристики изученных разрезов.

Разрез	Пачка	Удельная магнитная восприимчивость, $k$ ( $10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$ ), ед. СИ			Удельная естественная остаточная намагниченность, $J_n$ ( $10^{-6} \text{ А} \times \text{м}^2/\text{кг}$ )			Фактор Кёнигсбергера, $Q$		
		$k_{\min}$	$k_{\max}$	$k_{\text{ср}}$	$J_{n_{\min}}$	$J_{n_{\max}}$	$J_{n_{\text{ср}}}$	$Q_{\min}$	$Q_{\max}$	$Q_{\text{ср}}$
<b>Жуков овраг</b>	Рябинская, $T_1$	13.7	116.0	46.9	1.5	72.9	18.5	0.01	2.13	0.77
	Жуковская, $P_3$	2.2	16.3	7.5	0.8	5.5	2.5	0.45	0.97	0.64
	Гороховецкая, $P_3$	0.8	42.8	14.0	0.1	19.5	3.0	0.05	7.18	0.46
	Угличская, $P_3$	1.7	31.5	9.7	0.1	15.6	2.6	0.04	1.66	0.48
<b>Слукино</b>	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
<b>Окский съезд</b>	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

**Таблица 2.** Палеомагнитные направления и полюсы.

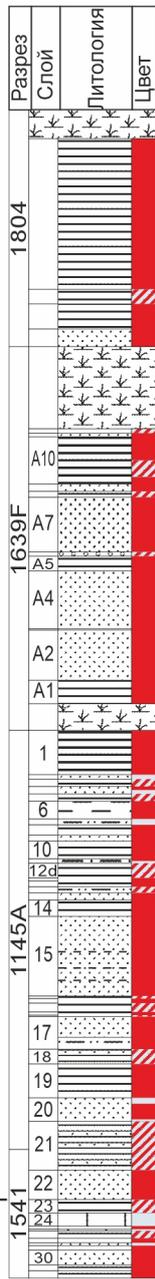
№	Разрез (возраст)	Точка отбора		Полярность	N/N <sub>c45</sub>	Географическая СК			
		slat (°N)	slong (°E)			D (°)	I/I <sub>corr</sub> (°)	k	α95 (°)
1	Жуков овраг (P <sub>3</sub> -T <sub>1</sub> )	56.180	42.637	N	141/128	25.9	48.7/54.6	16.6	3.2
				R	77/75	214.1	-26.3/-31.4	10.9	5.2
				NR	203	29.5	40.7/46.7	11.2	3.1
Полюс: P <sub>Lat</sub> =54.8°, P <sub>Long</sub> =173.6°, dp/dm=2.6°/4.0°, paleolat=27.9°									
2	Слукино (P <sub>3</sub> -T <sub>1</sub> )	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: P <sub>Lat</sub> =47.6°, P <sub>Long</sub> =164.3°, dp/dm=3.0°/4.8°, paleolat=24.7°									
3	Окский съезд (P <sub>3</sub> -T <sub>1</sub> )	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: P <sub>Lat</sub> =52.7°, P <sub>Long</sub> =153.6°, dp/dm=3.7°/5.4°, paleolat=33.3°									

Примечания: slat, slong – широта и долгота точки отбора (разреза); N – количество образцов, для которых выполнен компонентный анализ; N<sub>c45</sub> – количество образцов после применения селективного критерия «cutoff 45°» и включенных в выборку для вычисления среднего направления; D, I, k, α95 – характеристики распределения Фишера: склонение, наклонение, кучность и радиус круга 95%-доверия соответственно. I<sub>corr</sub> – палеомагнитное наклонение, скорректированное с учётом 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. P<sub>Lat</sub>, P<sub>Long</sub> – широта и долгота палеомагнитного полюса; dp/dm – величины полуосей овала 95%-доверия для палеомагнитного полюса; paleolat – палеоширота точки отбора.

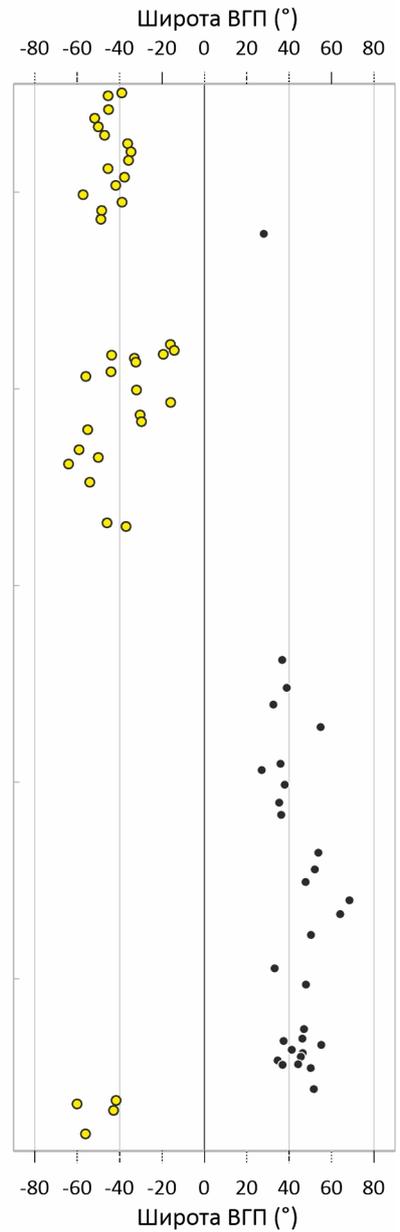
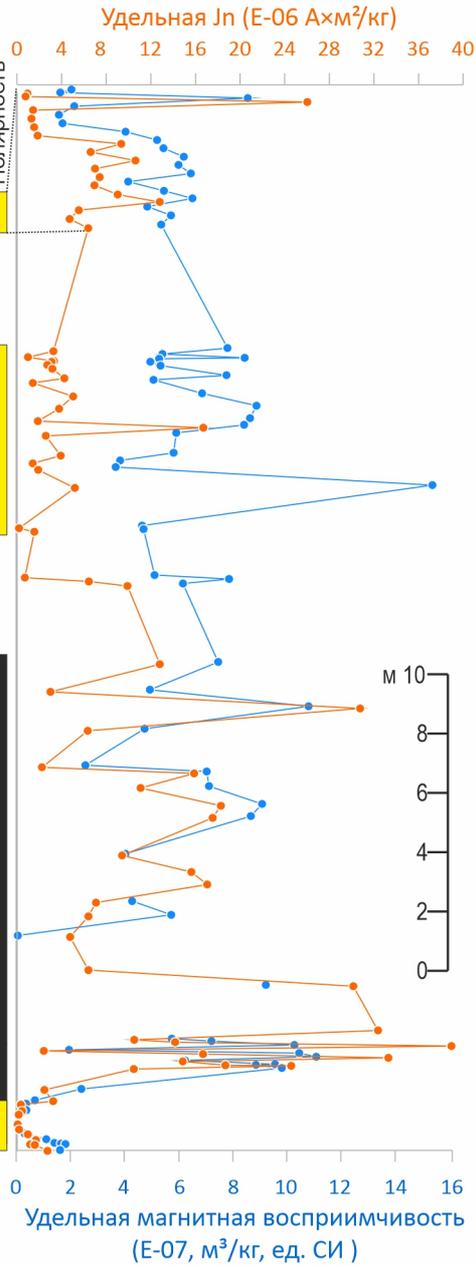


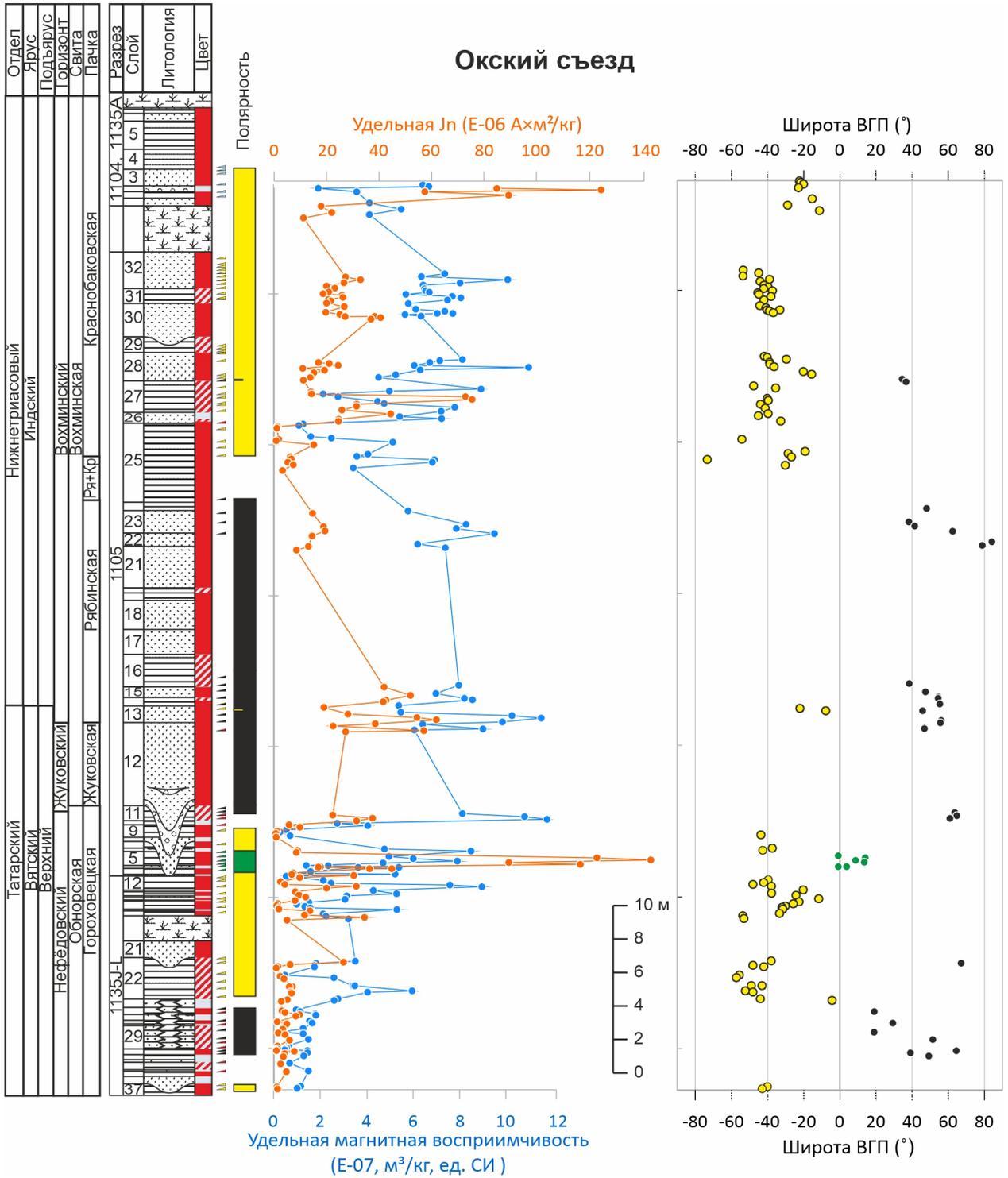


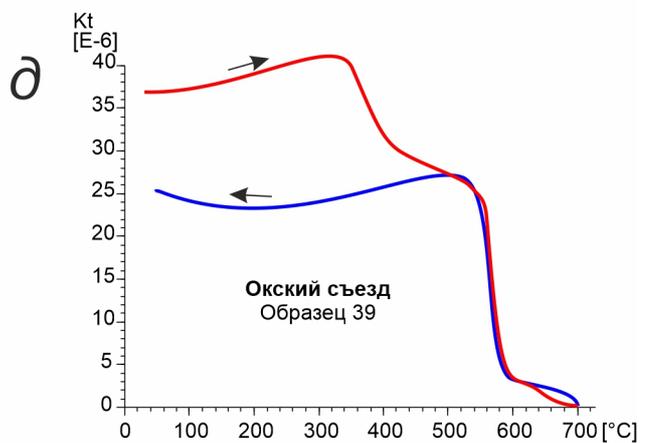
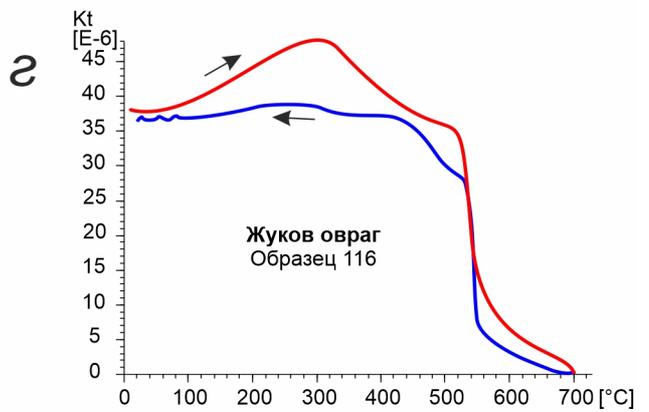
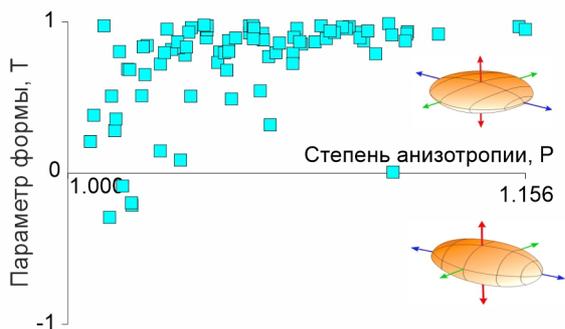
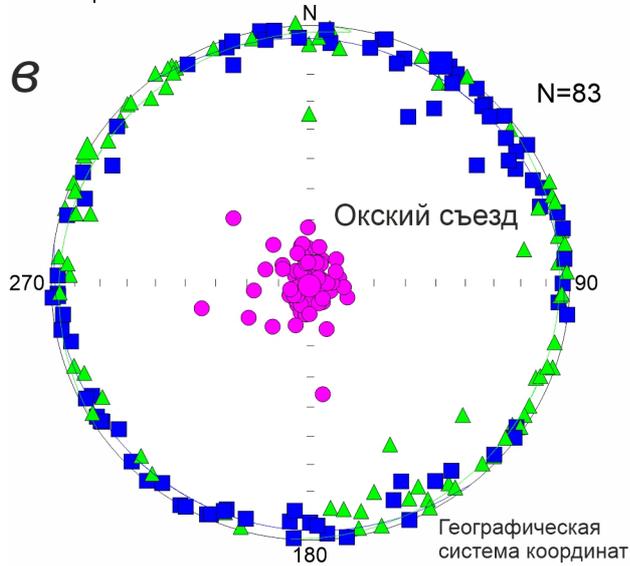
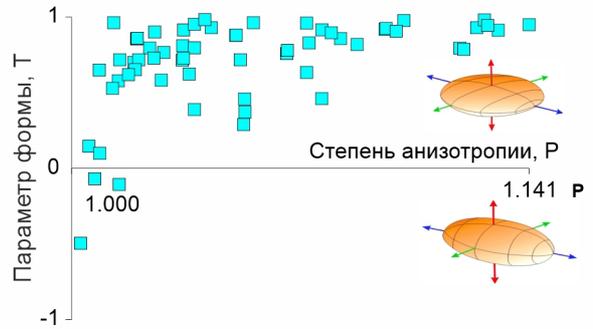
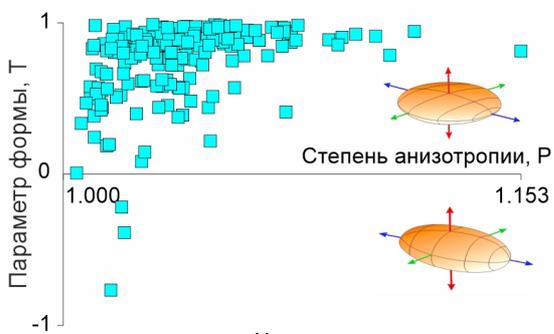
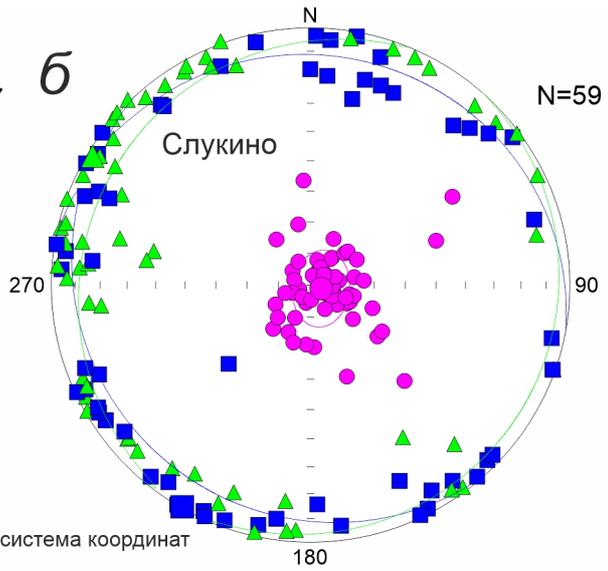
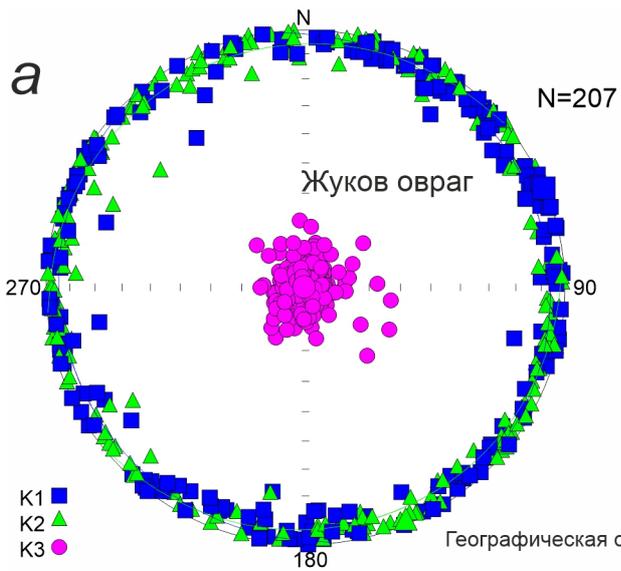
Татарский	Нижнегриясовый	Отдел
Вятский	Индский	Ярус
Верхний		Подъярус
Нефёдовский	Вохминский	Горизонт
Обнорская	Вохминская	Свита
Гороховецкая	Рябинская	Пачка
	Краснобаковская	

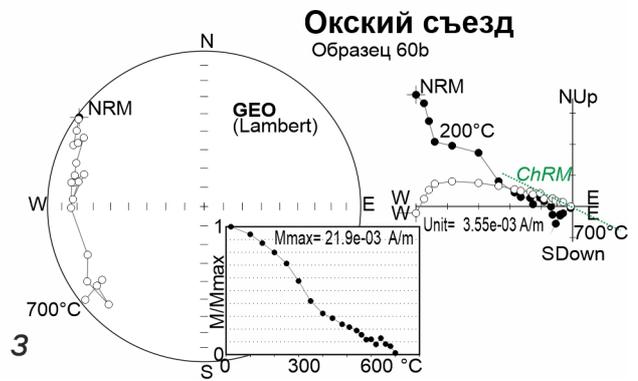
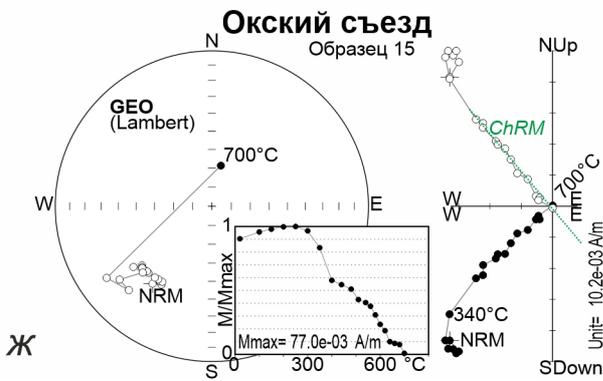
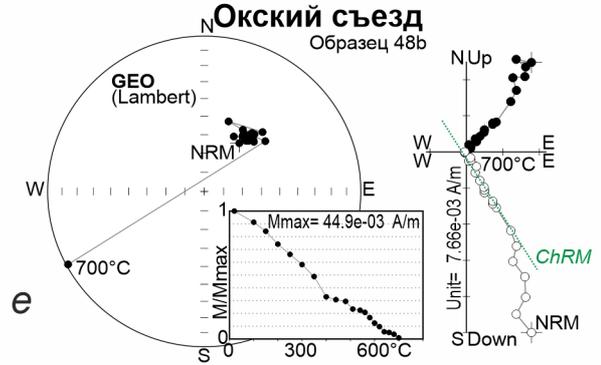
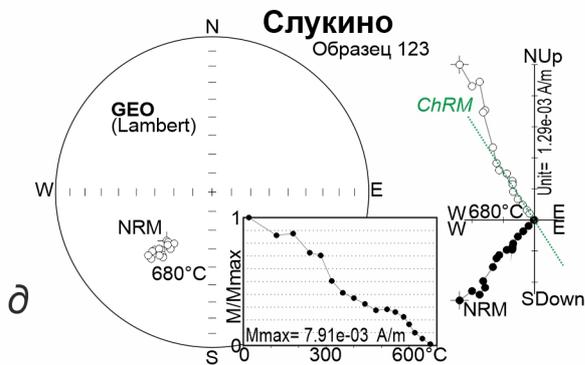
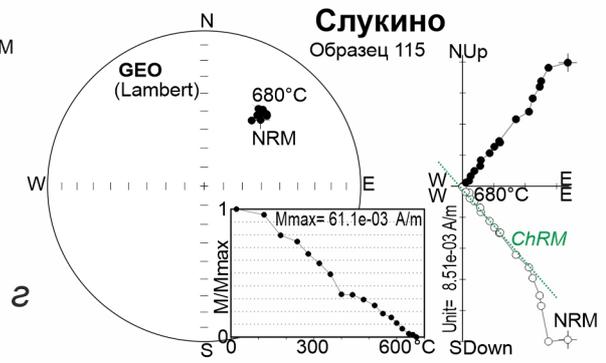
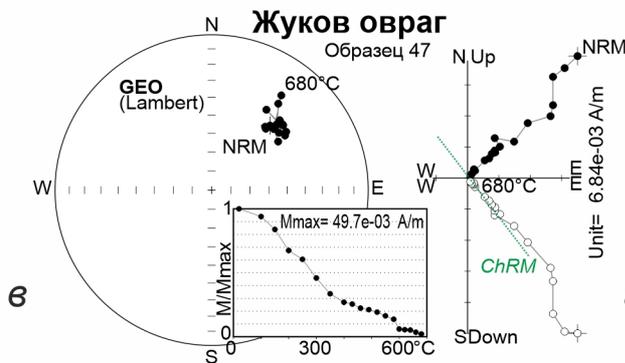
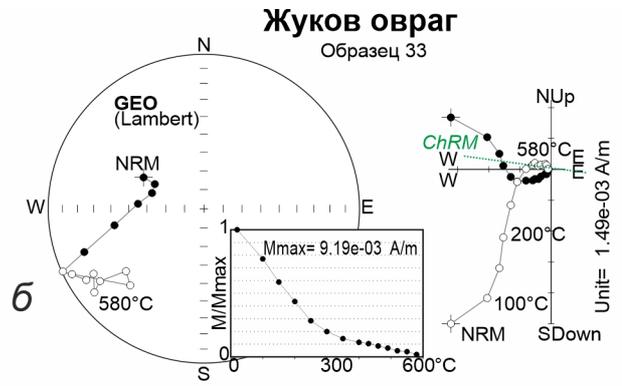
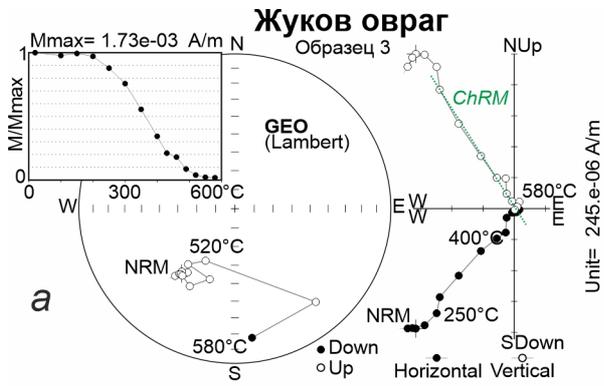


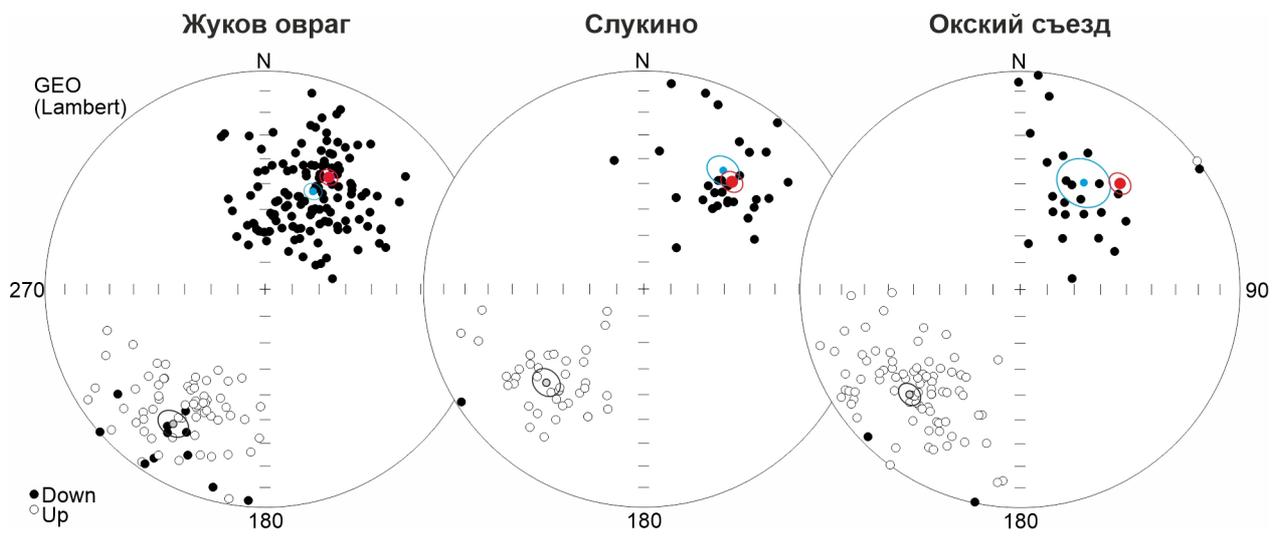
## Слукино











Татарский		Нижнетриасовый		Отдел
Вятский		Индский		Ярус
Верхний		Жуковский		Подъярус
Нижний		Нефёдовский		Горизонт
Быковский		Жуковский		Свента
Обнорская		Вохминский		Пачка
Угличская		Вохминская		Зона по остракодам
Wjatkellina fragilina — Dvinella cyrta		Гороховецкая		Зона по остракодам
Wjatkellina fragiloides — Suchonella typica		Жуковская		Слой с остракодами
Suchonella typica		Suchonella typica		Зона по тетраподам
Suchonella clivosa		Suchonella rykovi		
Chroniosuchus licharevi		Archosaurus rossicus		
		Рябинская		
		Краснобаковская		
		Darwinula meta — Gerdalia variabilis		
		Gerdalia longa		
		Darwinula prisca		
		Tupilakosaurus wetlugensis		

