

Аномальная намагниченность красноцветов недубровской пачки пограничных пермо-триасовых отложений Русской плиты

А. М. Фетисова^{1, 2}, Ю. П. Балабанов³, Р. В. Веселовский^{1, 2}, Д. А. Мамонтов¹

¹ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

² Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН,
Российская Федерация, 123995, Москва, ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Российская Федерация, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

Для цитирования: 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. 2018. Т. 63. Вып. 4. С. 544–560. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2018.409>

Выделенная сравнительно недавно недубровская пачка — предмет неутраченных споров в связи с неопределенностью возраста слагающих ее отложений. Проведенные различными исследователями многочисленные определения фауны и флоры позволяют относить недубровские отложения, с одной стороны, к терминальной перми, с другой — к нижнему триасу. Уникальность недубровской пачки определяется также отсутствием известных возрастных аналогов в пределах Московской синеклизы. В настоящей статье даны результаты комплексных палеомагнитных и магнитно-минералогических исследований предположительно наиболее древних недубровских слоев нижнего триаса Московской синеклизы, вскрывающихся в нижнем течении р. Кичменьги (Вологодская обл.) и залегающих на глинах вятского яруса верхней перми. Детальные температурные магнитные чистки позволили выявить в большинстве образцов наличие монополярной стабильной компоненты естественной остаточной намагниченности (ЕОН). Среднее направление характеристической компоненты намагниченности изученных красноцветов ($slat = 60,04521^\circ$, $slong = 45,74047^\circ$, $N = 142$, $D = 246,3^\circ$, $I = -6,6^\circ$, $K = 10,0$, $\alpha95 = 3,9^\circ$) значительно отличается от ожидаемых позднепермских-раннетриасовых палеомагнитных направлений и с высокой степенью вероятности может быть аномальным. Мы полагаем, что аномальная намагниченность сформировалась во время продолжительного, порядка первых тысяч лет, отклонения конфигурации магнитного поля Земли от поля центрального осевого диполя. Имеющиеся свидетельства присутствия соответствующих интервалов с аномальными палеомагнитными направлениями в осадочных и вулканических разрезах верхней перми Западной Сибири указывают на возможность их использования в качестве маркеров для проведения региональных и глобальных магнитостратиграфических корреляций, а также позволяют косвенно предполагать верхнепермский возраст недубровских отложений.

Ключевые слова: палеомагнетизм, магнитная стратиграфия, пермь, триас, Русская плита, недубровская пачка.

Введение

Ранний триас Московской синеклизы по характеру седиментации и режиму геомагнитного поля во многом сходен с татарской эпохой, вследствие чего их стратиграфическое разделение всегда встречало большие сложности. Кроме этого, обоснование границы перми и триаса на Русской плите осложняется существованием несогласий, объем которых отличен в разных районах бассейна, что существенно затрудняет интерпретацию палеомагнитных данных (Буров и Боронин, 1977; Молоствовский и Храмов, 1997). Триас в различных разрезах залегает на прямо или на обратно намагниченных отложениях вятского, а в некоторых случаях — и северодвинского ярусов. В основании триаса чаще лежат прямо намагниченные породы, но нередко встречаются обратно намагниченные, и не всегда удается показать соответствие выделенных палеомагнитных зон определенному интервалу магнито-стратиграфической шкалы.

Нижний в составе триаса вохминский горизонт, как и одноименная свита, установлены в стратотипической местности вдоль р. Вохмы по разрезам буровых скважин, а парастратотип горизонта изучен по естественным выходам на правом берегу р. Ветлуги (Лозовский и др., 2001). Из-за ритмичного строения свита разделяется на нижнюю и верхнюю подсвиты (Постановления ..., 1996). В составе нижней выделены мелкие ритмопачки: асташихинская (глины со скорлуповатой отдельностью) и рябинская (тонкослоистые глины). Верхняя подсвита представлена краснобаковской ритмопачкой. Установленные толщи содержат разнообразные комплексы ископаемых остатков: кости наземных позвоночных, раковины конхострак и остракод, растительные макроостатки и миоспоровые комплексы. В начале XXI века выяснилось (Лозовский и др., 2001), что в бассейне р. Кичменьги под асташихинскими образованиями вскрывается еще одна, более древняя триасовая(?) недубровская ритмопачка, палеонтологически отличная от вышележащих отложений. Здесь же прослеживается и контакт вохминских пород с подстилающими отложениями вятского яруса татарского отдела перми.

Среди наслоений вохминского горизонта Московской синеклизы недубровская пачка выделяется разнообразием и богатством различных групп континентальной биоты (Лозовский и др., 2001), однако представления о возрасте недубровской пачки за 17 лет исследований активно менялись с раннетриасового на позднепермский и обратно, что отчасти связано с отсутствием для нее известных стратиграфических аналогов. Данная проблема сохраняется и на сегодняшний день, хотя с момента открытия недубровской пачки из нее и из смежных местонахождений было описано множество палеонтологических остатков по различным группам ископаемых (Ярошенко, 2005; Сенников и Новиков, 2011; Лозовский и др., 2011; Лозовский, 2013; Лозовский, Новиков, 2016; Лозовский и др., 2017 и др.). На настоящий момент установление границы перми и триаса по синхронности вымирания различных групп организмов, обитавших на суше и в море, также сталкивается с рядом объективных трудностей. К примеру, ранее в континентальных отложениях начало триаса принимали в основном по появлению *Lystrosaurus*, хотя позднее было показано присутствие остатков листрозавров в поздней перми Северо-Западного Китая и Южной Африки (Лозовский и др., 2016). Первые листрозавры появляются выше отложений в асташихинской пачке, т. е. выше недубровской пачки стратотипического района.

В соответствии же с принятой уточненной субрегиональной стратиграфической схемой (Лозовский и др., 2011) недубровская пачка надстраивает объем вохминской свиты нижнего триаса. Позднее стало известно, что пачка не содержит типично триасовых остатков тетрапод, а характеризуется позднепермскими насекомыми, миоспорами и макроостатками растений (Лозовский, Новиков, 2016). Более того, комплексный анализ накопленных палеонтологических и палеомагнитных данных показал правомерность отнесения недубровской пачки к терминальной части вятского яруса татарского отдела перми (Лозовский и др., 2016). Миоспоровые комплексы, описанные из отложений недубровской свиты (Ярошенко, 2005), отличаются присутствием позднепермских спор и пыльцы наряду с более молодыми триасовыми элементами. В последнее время состав миоспор недубровского комплекса рассматривают по возрасту как позднепермский либо смешанный пермо-триасовый, в отличие от палинокомплекса из вышележащей асташихинской свиты, который обогащен триасовыми видами (Лозовский и др., 2016). Интересно, что новые данные по разрезам недубровской пачки в районе р. Кичменьги позволили вновь поднять вопрос о возрасте пачки и ее рассмотрении в составе нижнего триаса (Лозовский и др., 2017).

Сведения о магнитостратиграфии недубровской пачки крайне скудны. В работе (Лозовский и др., 2001) упоминается, что она соответствует уровню отрицательной намагниченности (зона R_0), который сопоставляется со сходной отрицательной магнитозоной в разрезе Мейшань в Китае, а основание последней соотносится с уровнем появления конодонтов *Hindeodus parvus* — нижней границей триаса. Однако в литературе отсутствуют какие-либо данные, которые позволили бы оценить качество и надежность магнитостратиграфических исследований недубровских отложений. Поэтому главной задачей данной работы стало детальное определение палеомагнитной характеристики пород разреза Недуброво, чтобы составить схему его магнитной полярности и получить дополнительные ограничения на его стратиграфическое положение.

1. Объекты и методы исследований

Главным объектом исследований было естественное обнажение пород недубровской пачки (рис. 1), расположенное на крутом левом берегу р. Кичменьги в д. Недуброво ($60,04521^\circ$ с. ш., $45,74047^\circ$ в. д.). Недубровская пачка по характеру окраски глин и алевролитов в светлые яркие тона имеет типичный ветлужский облик, что достаточно резко отличает ее от бурых подстилающих глин и песчаников вятского яруса. Базальные отложения недубровской пачки залегают на известковистых обводненных глинах вятского яруса и представлены (рис. 2, слой 1) серовато-коричневыми песками с зеленоватым оттенком с неясно выраженной косой слоистостью, прослоями цементированных известковым цементом до состояния некрепкого песчаника (~1 м). В подошве они содержат прослой (мощностью до 20 см), состоящий из гравия и конкреций песчаника шаровидной, удлиненно-округлой и причудливо вытянутой формы, среди красных глин татарского яруса (рис. 2). Выше по разрезу недубровскую пачку слагают следующие слои (рис. 2):

- слой 2: тонкое (до ленточного) переслаивание глин и зеленовато-серых и серых алевролитов, тонкоплитчатых, содержащих на плоскостях напла-

ствования включения обугленного растительного детрита. В нижней части отдельные прослои окрашены в фиолетово-розовый цвет, а в верхней прослеживается прослой, состоящий из светло-серых мергелистых стяжений размером до 3–5 см. В средней части слоя встречаются линзы и конкреции мелкозернистого глинистого песчаника. В этом слое обнаружены многочисленные дисперсные фитолеймы, мегаспоры *Otyinisporites*, пыльцевые зерна и споры, остракоды, конхостраки, насекомые. По данным работы (Лозовский и др., 2001), глинистая составляющая породы представлена в основном смектитом — продуктом измененного вулканического пепла. По генезису данный слой представляет собой отложения эстуариев, образовавшиеся в бескислородных условиях с ярко выраженным сезонным поступлением материала. Мощность слоя 5–6 м;

- слой 3: глины буровато-красные, тонкослоистые, с мергелистыми конкрециями размером до 5 см, с двумя прослоями (толщиной 0,3 и 0,1 м) серых глин. В верхней части слоя встречаются линзовидные прослои (толщиной 0,1–0,2 м) и стяжения зеленовато-серого и розоватого мелкозернистого песчаника и мергеля. Мощность слоя 0,85 м;
- слой 4: глина зеленовато-серая, плотная, крупнооскольчатая. Мощность слоя 0,4 м;
- слой 5: выше по разрезу со следами размыва залегают зеленовато-серые аллювиальные полимиктовые пески с прослоями слабосцементированных песчаников и конгломератов, а над ними — переслаивание красновато-коричневых и красных глин и зеленовато-серых алевролитов, с горизонтами трещин усыхания, заполненных зеленовато-серым песчаником. Видимая мощность слоя — около 5,5 м.

Верхняя часть склона сложена четвертичными делювиальными супесями и суглинками с включениями гравия и гальки.

Ориентированные штуфы, из которых впоследствии были выпилены палеомагнитные образцы размером 20×20 мм в основании и 5–20 мм по высоте, были отобраны в 2008 и 2015 гг. по всей мощности разреза с шагом до 5 см, оба раза — в траншеях, вскрывавших субгоризонтально залегающие коренные породы недубровской пачки. Верхняя и нижняя грани образцов в подавляющем большинстве случаев совпадали с поверхностями напластования. Общая мощность опробованного интервала разреза превысила 12 м, суммарный размер палеомагнитных коллекций — 210 образцов. В разные годы образцы были отобраны двумя независимыми научными группами, а опробованные интервалы разреза перекрывали друг друга (рис. 2); это обстоятельство позволяет исключить значимое влияние «человеческого фактора» на конечный результат.

Лабораторные палео- и петромагнитные исследования выполнялись по стандартной методике (Гончаров и др., 1982; Tauxe et al., 2018). Ориентированные штуфы отбирались вручную при помощи геологического молотка и ножа. Образцы ориентировали при помощи горного компаса с учетом местного склонения согласно модели IGRF¹ (12-е поколение). Магнитные чистки палеомагнитных коллекций проводились на современном оборудовании в лаборатории главного гео-

¹ International Geomagnetic Reference Field.

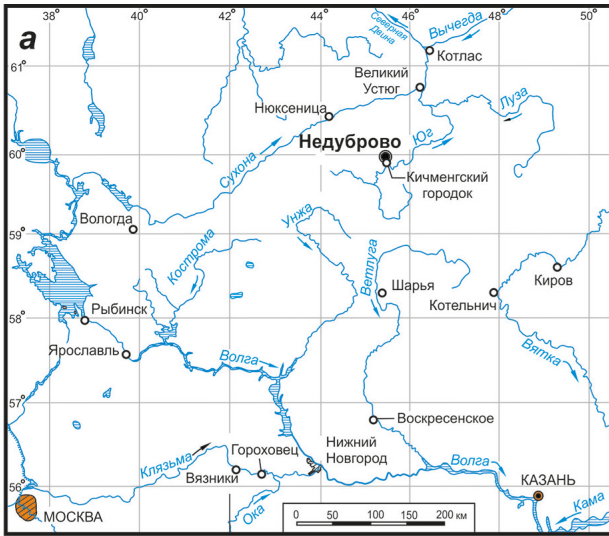


Рис. 1. Район работ: географическое положение (а), верхняя (б) и нижняя (в) части разреза обнажения Недуброво

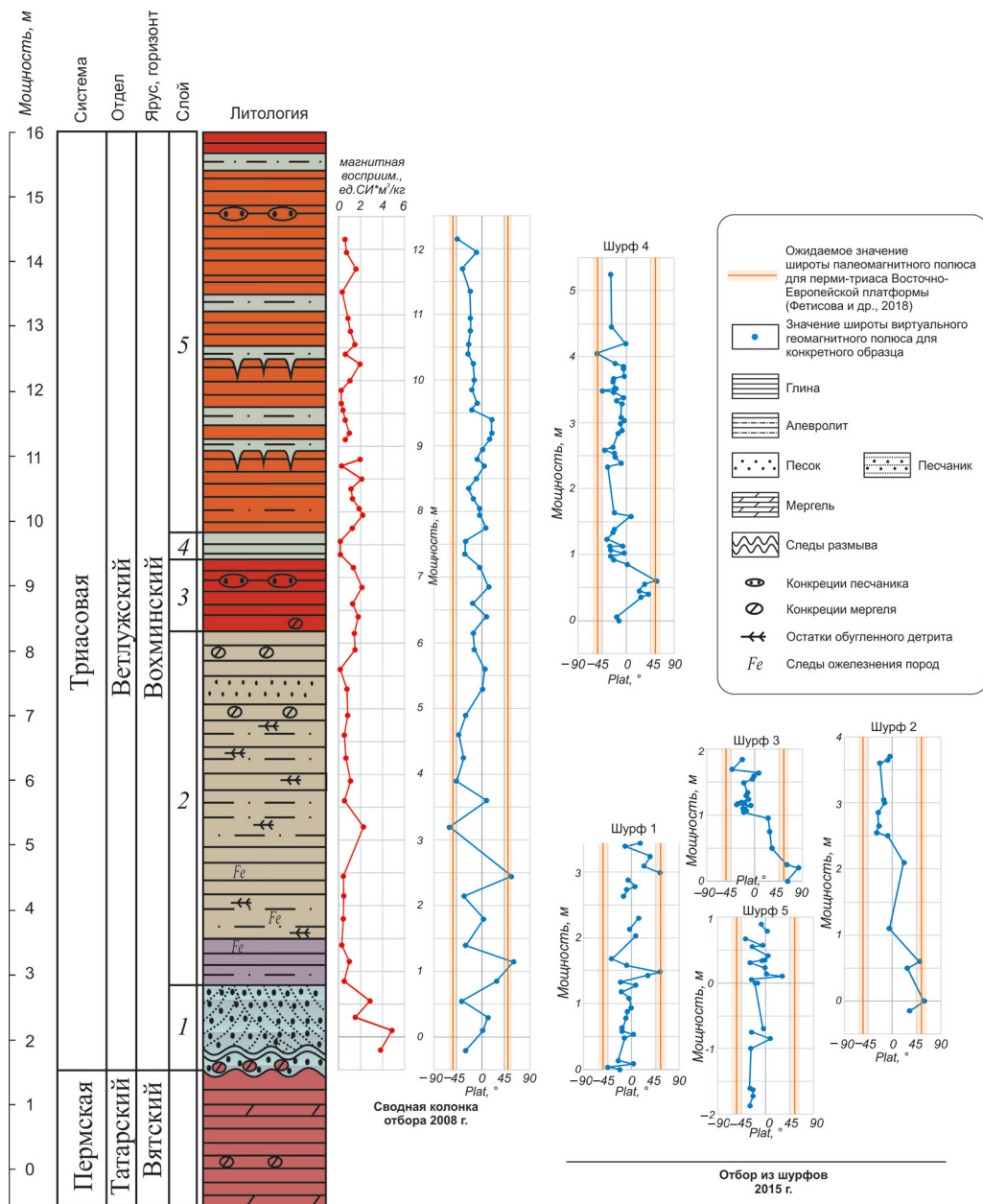


Рис. 2. Стратиграфическое описание разреза Недуброво и изменение нормированной на массу образца магнитной восприимчивости и широты виртуального геомагнитного полюса для конкретного образца по разрезу

магнитного поля и геомагнетизма ИФЗ РАН на криогенном магнитометре SQUID (2G Enterprises, США), установленном в немагнитной комнате, и в петромагнитной лаборатории геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова на спинмагнитометре JR-6 (AGICO, Чехия). Образцы размагничивались в немагнитных печах MMTD80 (Magnetic Measurements, Великобритания) и TD48 (ASC Scientific, США). Температурная зависимость и анизотропия магнитной восприимчивости (AMB) измерялись с использованием каппабриджей KLY-4S и MFK1-FA (AGICO, Чехия) с высокотемпературными приставками CS-3 и CS-4. Петли гистерезиса снимались на вибромагнитометре PMC MicroMag 3900 Series (Lake Shore, Великобритания). Температурные зависимости намагниченности насыщения (I_s) и остаточной намагниченности насыщения (I_{rs}) изучались на термомагнитометрах конструкции Ю. К. Виноградова (ГО «Борок»). Результаты магнитных чисток обрабатывались при помощи пакета программ Р. Энкина (Enkin, 1994) и М. Чадимы (Chadima and Hrouda, 2006), использующих при выделении компонент намагниченности метод PCA (Kirschvink, 1980).

2. Палео- и петромагнетизм недубровских отложений

Удельная магнитная восприимчивость, измеренная для каждого образца, колеблется в интервале $0,15 \cdot 10^{-6}$ – $4,85 \cdot 10^{-6}$ м³/кг (см. рис. 2), в среднем составляя $1,17 \cdot 10^{-6}$ м³/кг. Эта характеристика позволяет выделить как минимум два контрастных интервала разреза:

- породам из нижней части (85–560 см) свойственны относительно низкие значения магнитной восприимчивости (среднее значение $0,71 \cdot 10^{-6}$ м³/кг);
- породам из верхней части разреза (590–870 см) — повышенные (среднее значение $1,33 \cdot 10^{-6}$ м³/кг).

Результаты измерений магнитной восприимчивости для коллекций 2008 и 2015 гг. убедительно коррелируют друг с другом, поэтому для упрощения читаемости иллюстраций на рис. 2 приведены значения восприимчивости только для образцов, отобранных в 2008 г.

Выполненные петромагнитные исследования — температурная зависимость магнитной восприимчивости (рис. 3, а), термомагнитный анализ (рис. 3, б и в), анализ петель магнитного гистерезиса (рис. 3, г) — свидетельствуют, что магнитные минералы в породах недубровской пачки — магнетит и гематит. Магнетит уверенно диагностируется по резкому спаду намагниченности и магнитной восприимчивости в интервале температур, близких к его точке Кюри — 578°C (рис. 3, а–в), а также по виду и параметрам петли гистерезиса (рис. 3, г). Наличие гематита в породах определяется по характерному «гематитовому хвосту» на термокривых в интервале температур 580–680°C (рис. 3, а–в). Отметим, что некоторая часть гематита могла возникнуть в ходе экспериментов как результат окисления магнетита, поскольку образцы нагревались в воздушной среде.

До 95 % ЕОН разрушается в ходе ступенчатой магнитной чистки образцов при нагревании их до температур 590–610°C. Этот факт свидетельствует о том, что основной носитель намагниченности — магнетит, а сама намагниченность, наиболее вероятно, имеет ориентационную природу. Уровень обусловленного гематитом палеомагнитного сигнала (в интервале температур 600–680°C) в большинстве образ-

Образец 213 (серый алевролит)

Образец 235 (коричневая глина)

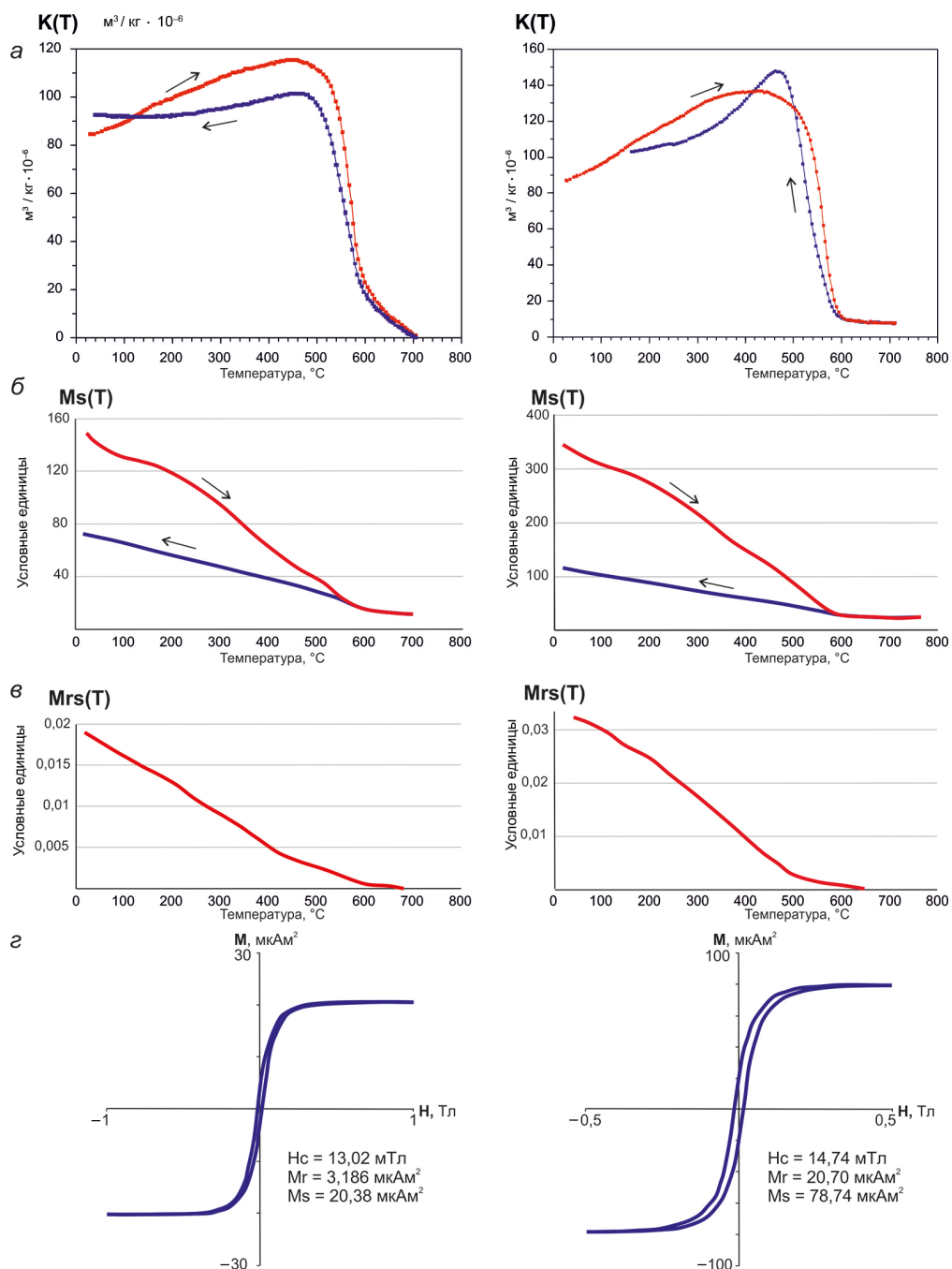


Рис. 3. Результаты петромагнитных исследований образцов разреза Недуброво:

a–в — кривые температурной зависимости (красные — нагрев, синие — охлаждение): *a* — магнитная восприимчивость (K); *б* — намагниченность насыщения (M_s); *в* — остаточная намагниченность насыщения (M_{rs}); *г* — петли магнитного гистерезиса, скорректированные на пара- и диамагнитную составляющие

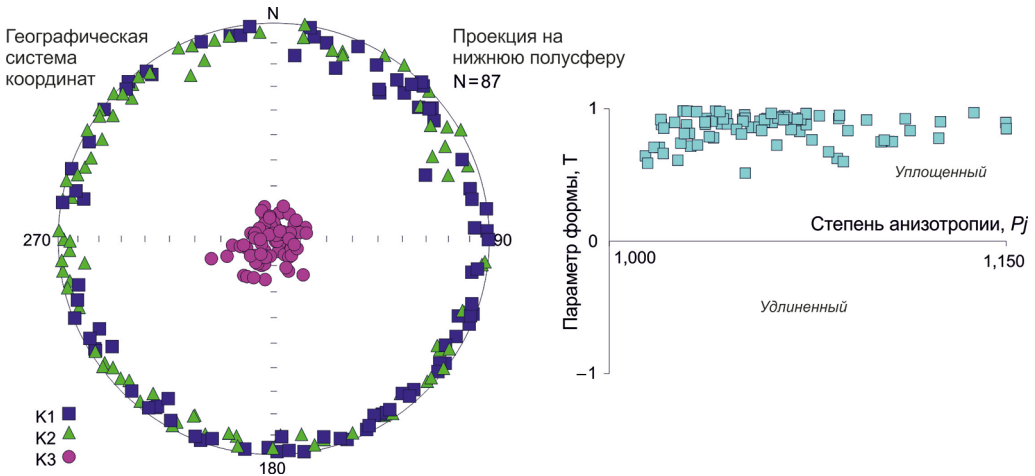


Рис. 4. Результаты измерений АМВ

Слева — стереограмма распределения полюсов овала АМВ: K1, K2 и K3 — соответственно проекции длинной, промежуточной и короткой осей эллипсоида АМВ на нижнюю полусферу; справа — диаграмма Желинека (Jelínek, 1981), иллюстрирующая зависимость параметра формы эллипсоида АМВ (Т) — уплощенная/удлиненная — от степени анизотропии (Pj).

цов сопоставим с чувствительностью магнитометра и интерпретации не подлежит. ЕОН изученных пород изменяется в интервале $2,51 \cdot 10^{-3} \dots 4,14 \cdot 10^{-1}$ А/м, в среднем составляя $8,92 \cdot 10^{-2}$ А/м.

Измеренные значения АМВ образцов свидетельствуют о нормальной для континентальных отложений магнитной текстуре изученных пород, которая характеризуется расположением длинных осей эллипсоида АМВ в субгоризонтальной плоскости и субвертикальной ориентировкой коротких осей (рис. 4). Отметим, что описанную магнитную текстуру пород недубровской пачки можно рассматривать как свидетельство отсутствия дислокации последних со времени их формирования.

Число шагов температурной магнитной чистки достигало 25, чистка велась до полного размагничивания образца (680°C ; рис. 5, а). Для пилотной коллекции образцов-дублей выполнена детальная (до 20 шагов) чистка переменным магнитным полем с амплитудой до 130 мТл (рис. 5, в). Компонентный анализ результатов магнитных чисток вектора ЕОН в образцах (Kirschvink, 1980) выявил наличие низкотемпературной «современной» компоненты ($20\text{--}200^\circ\text{C}$; $N = 47$, $D = 350,6^\circ$, $I = 79,1^\circ$, $K = 120,0$, $\alpha_{95} = 1,9^\circ$; рис. 6) и наиболее стабильной ($350\text{--}610^\circ\text{C}$) характеристической монополярной компоненты ЕОН в большинстве изученных образцов, среднее направление которой ($N = 142$, $D = 246,3^\circ$, $I = -6,6^\circ$, $K = 10,0$, $\alpha_{95} = 3,9^\circ$) значительно отличается от ожидаемых пермских и триасовых палеомагнитных направлений для данной территории (рис. 6) (Фетисова и др., 2018).

3. Обсуждение полученных результатов

В силу геологической ситуации и особенностей палеомагнитной записи невозможно по результатам полевых тестов доказать первичность характеристической компоненты намагниченности. Но к настоящему моменту достаточно очевидно,

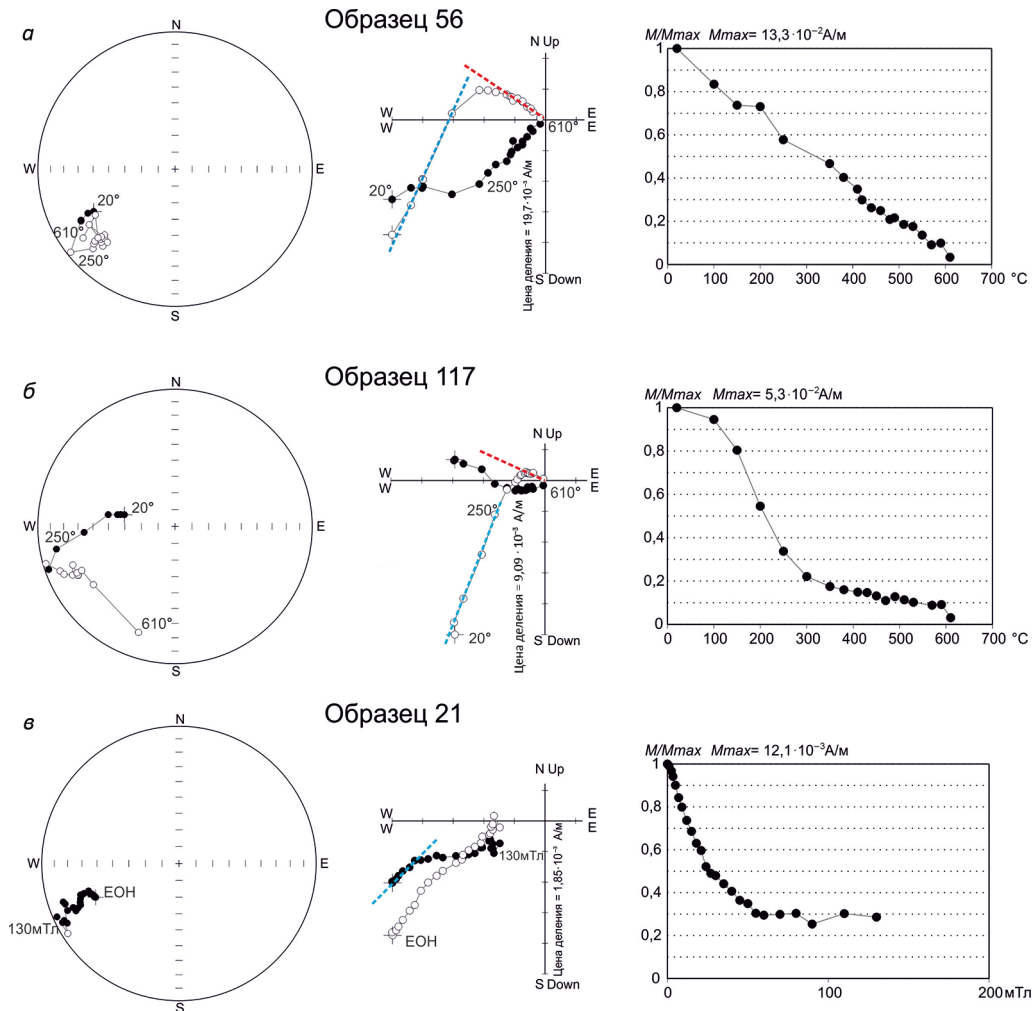


Рис. 5. Результаты температурной магнитной очистки (а, б) и очистки переменным магнитным полем (в) типичных образцов: стереограммы (в географической системе координат), диаграммы Зийдверельда и кривые размагничивания ЕОН. Залитые и пустые кружки на стереограммах — проекция вектора соответственно на нижнюю и верхнюю полусферы; залитые и пустые кружки на диаграммах Зийдверельда — проекции вектора на горизонтальную и вертикальную плоскости. Голубой пунктир — низкотемпературная (низкокоэрцитивная) компонента ЕОН, красный пунктир — высокотемпературная характеристическая компонента (ChRM)

что ее аномальное направление невозможно объяснить неучетом локальной тектоники, более поздним (постпермским) перемагничиванием, а также контаминацией другими менее стабильными компонентами намагниченности. В пользу первого довода говорят общий вид обнажения, которое не оставляет сомнений в отсутствии хоть сколько-нибудь существенной его дислокации путем поворота в вертикальной плоскости, а также характер распределения осей эллипсоидов АМВ. Более позднее перемагничивание мы не рассматриваем, поскольку для послепермского времени неизвестны палеомагнитные направления, близкие к направлению

характеристической компоненты разреза Недуброво для Восточно-Европейской платформы (Torsvik et al., 2012). Так как характеристическая компонента является конечной, а менее стабильная компонента для значительного числа образцов одно-значно выделяется в низкотемпературном интервале, то можно отклонить вариант о неполном разделении компонент ЕОН. О последнем также свидетельствует тот факт, что большой круг, соединяющий средние направления характеристической и низкотемпературной компонент намагниченности (см. рис. 6), существенно отдален от областей ожидаемых позднепермских-раннетриасовых палеомагнитных направлений для Русской плиты.

Одной из потенциально возможных причин «искажения» палеомагнитной записи пород разреза Недуброво может быть занижение наклона из-за уплотнения осадка. Такой случай возможен при практически полном занижении наклона с коэффициентом $f = 0,1$, но он до сих пор неизвестен в практике палеомагнитных исследований, тем более для магнетитсодержащих пород (Kodama, 2012). Кроме того, при занижении наклона соответствующий палеомагнитный полюс смещается вдоль палеомеридиана — дуги большого круга, которая соединяет точку отбора образцов и непосредственно палеомагнитный полюс. Однако для недубровской пачки палеомагнитный полюс, соответствующий среднему направлению характеристической компоненты намагниченности, имеет координаты $PLat = 14,4^\circ$, $PLong = 154,7^\circ$ ($dp/dm = 2,0^\circ/3,9^\circ$) и смещен скорее в направлении, перпендикулярном палеомеридиану.

Тем не менее мы формально проверили предположение о том, что возможной причиной аномального палеомагнитного направления недубровских отложений может быть занижение наклона. По методу E—I (Elongation—Inclination) (Tauxe and Kent, 2004) был определен коэффициент занижения $f = 0,8$; но и в этом случае скорректированное палеомагнитное наклонение недубровской пачки $I_{corr} = -8,2^\circ$ по-прежнему значительно отличается от ожидаемого наклона $I_{expect} \sim -40^\circ$ (Фетисова и др., 2018). Таким образом, эффект занижения наклона если и повлиял на палеомагнитную запись изученных пород, то весьма незначительно, и его и не следует рассматривать как причину их аномальной намагниченности.

Отметим, что в изученных нами ранее разрезах пограничных пермо-триасовых отложений Русской плиты, мощность и литология которых схожи с разрезом Недуброво, характеристическая компонента чаще всего имеет биполярное распределение (Фетисова и др., 2018). Тот факт, что недубровские отложения несут монополярную характеристическую компоненту, можно рассматривать как дополнительное указание на следующие обстоятельства: 1) относительно быстрое накопление пород и/или 2) продолжительное аномальное состояние геомагнитного поля в недубровское время. Действительно, даже если предположить экстремально высокую скорость накопления пород в красноцветных континентальных разрезах, равную 1 м за 1 тыс. лет (Kodama, 2012), то продолжительность накопления недубровской пачки составит около 12 тыс. лет. В то же время в литературе встречаются и гораздо менее значительные оценки скорости седиментации платформенных красноцветов, например 5 мм за 1 тыс. лет (Кукал, 1987); при такой скорости период осадконакопления в недубровском длился бы около 2,4 млн лет. Подсчет слоев в образцах ленточных глин разреза Недуброво показал, что на 2 см мощности приходится 20–30 годовых циклов; в этом случае продолжительность накопления

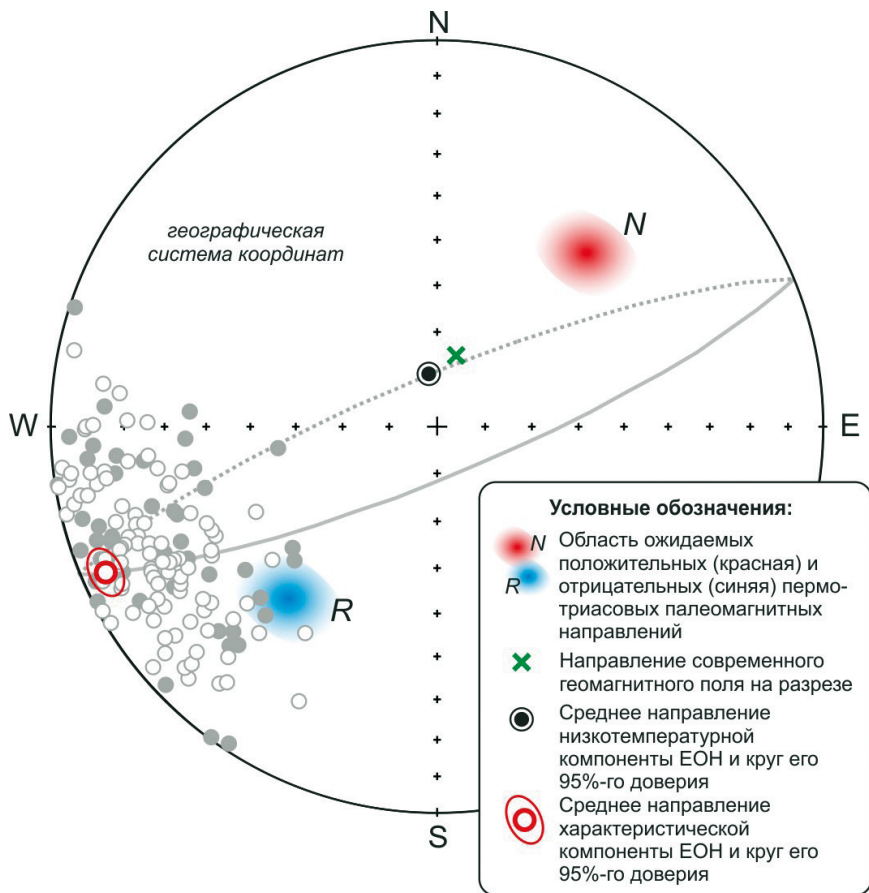


Рис. 6. Направления характеристической компоненты намагниченности на уровне образцов. Средние направления низкотемпературной и характеристической компонент ЕОН с кругами 95%-го доверия. Области ожидаемых палеомагнитных направлений показаны согласно работе (Фетисова и др., 2018)

12-метрового слоя ленточных глин можно оценить в 18 тыс. лет. Однако на долю последних в разрезе Недуброво приходится не более 50 % мощности, а остальные 50 % разреза, представленные песчаными фракциями, могли накапливаться значительно быстрее. Учитывая приведенные оценки, мы полагаем в первом приближении, что породы в изученном разрезе недубровской пачки накапливались не менее нескольких тысяч лет, возможно, первых десятков тысяч лет.

Принимая во внимание перечисленные выше доводы, на данном этапе исследований мы предполагаем, что характеристическая компонента намагниченности красноцветов недубровской пачки соответствует времени накопления этих пород, а ее направление отражает аномальную конфигурацию магнитного поля Земли вблизи границы палеозоя и мезозоя. Низкое значение палеомагнитного наклона ($I = -6,6^\circ$) свидетельствует о том, что породы недубровского разреза накапливались вблизи магнитного экватора (палеоширота разреза составляет $\varphi_m = 3,3^\circ$), что с учетом ожидаемой палеошироты данного места в позднепермское время ($\sim 30-35^\circ$) соответствует наклону оси магнитного диполя относительно оси

вращения Земли примерно на 25–30°. Значительная мощность изученных отложений и их литологическая изменчивость позволяют судить о том, что геомагнитное поле имело аномальную конфигурацию довольно долго — не менее нескольких тысяч — первых десятков тысяч лет, что больше имеющихся характерных оценок продолжительности геомагнитных экскурсов, а также пред- и постинверсионных состояний.

Заметим, что палеомагнитные направления с аномально низким наклоном, подобно характеристической компоненте разреза Недуброво, определяются для нижней части лавового разреза пермо-триасовых траппов Западной Сибири (Михальцов, 2013; Gurevitch et al., 2004), а также для верхнепермского разреза «Монастырский овраг» в Казанском Поволжье (Вестфаль и др., 2005). К сожалению, корреляция перечисленных разрезов и между собой, и с отложениями недубровской пачки на настоящий момент не представляется возможной.

Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют предположить наличие записи относительно длительного, порядка первых тысяч лет, интервала стабильной аномальной конфигурации геомагнитного поля, а наличие схожих аномальных палеомагнитных направлений в верхнепермских разрезах Восточной Европы и Западной Сибири косвенно свидетельствует о позднепермском возрасте недубровских красноцветов. Особо отметим, что обнаружение и доказательство существования записи аномального направления магнитного поля Земли может иметь важное значение как для решения проблемы поиска региональных и глобальных магнитостратиграфических реперов, так и для установления режима работы геодинамо и конфигурации магнитного поля вблизи границы палеозоя и мезозоя.

Дальнейшие комплексные исследования соотношений недубровской пачки с подстилающими и перекрывающими отложениями, а также U—Pb-датирование обломочных цирконов будут способствовать решению вопроса касательно ее возраста и природы аномальной намагниченности.

Исследования выполнены при частичной поддержке РФФИ (гранты № 15-05-06843, 18-05-00593, 17-05-01121) и мегагранта Правительства РФ 14.Z50.31.0017. Лабораторные исследования выполнялись на оборудовании, приобретенном в рамках Программы развития МГУ. Авторы крайне признательны А. Ю. Гужикову и анонимному рецензенту за ценные замечания и критический анализ работы.

Литература

- Арефьев, М. П., Голубев, В. К., Кулешов, В. Н., Кухтинов, Д. А., Миних, А. В., Покровский, Б. Г., Силантьев, В. В., Уразаева, М. Н., Шкурский, Б. Б., Ярошенко, О. П., Григорьева, А. В., Наумчева, М. А., 2016. Комплексная палеонтологическая, седиментологическая и геохимическая характеристика терминальных отложений пермской системы северо-восточного борта Московской синеклизы. Бюллетень Моск. общества испытателей природы. Отделение геологии, 91(1), 24–49.
- Буров, Б. В., Боронин, В. П., 1977. Палеомагнитная зона Иллава в отложениях верхней перми и нижнего триаса Среднего Поволжья, в: Материалы по стратиграфии верхней перми на территории СССР. Изд-во Казанского ун-та, Казань, 25–52.
- Вестфаль, М., Суркис, Ю. Ф., Гуревич, Е. Л., Храмов, А. Н., 2005. Геомагнитная инверсия Киам-Иллаварра: запись в стратотипическом разрезе татарского яруса, Казанское Поволжье. Физика Земли 8, 41–62.

- Гончаров, Г.И., Комиссарова, Р.А., Писаревский, С.А., Погарская, И.А., Ржевский, Ю.С., Родионов, В.П., Слауцитайс, И.П., Храмов, А.Н., 1982. Палеомагнитология. Недра, Ленинград.
- Кукал, З., 1987. Скорость геологических процессов. Мир, Москва.
- Лозовский, В.Р., 2013. Пермо-триасовый кризис и его возможная причина. Бюллетень Моск. общества испытателей природы. Отделение геологии, 88(1), 49–58.
- Лозовский, В.Р., Балабанов, Ю.П., Карасев, Е.В., Новиков, И.В., Пономаренко, А.Г., Ярошенко, О.П., 2016. Терминальная пермь европейской России: вязниковский горизонт и недубровская пачка и граница перми и триаса. Стратиграфия. Геологическая корреляция 24 (4), 38–54.
- Лозовский, В.Р., Красилов, В.А., Афонин, С.А., 2001. О выделении новой пачки в составе вохминской свиты нижнего триаса Московской синеклизы. Бюллетень Региональной межведомственной стратиграфической комиссии по центру и югу Русской платформы 3, 151–163.
- Лозовский, В.Р., Морковин, Б.И., Кухтинов, Д.А., Миних, А.В., Балабанов, Ю.П., 2017. Недубровская пачка имеет раннетриасовый возраст! в: ПАЛЕОСТРАТ-2017. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН, Москва, 39–40.
- Лозовский, В.Р., Новиков, И.В., 2016. Стратиграфическая схема триасовых отложений Московской и мезенской синеклиз: состояние и проблемы, в: Состояние стратиграфической базы центра и юго-востока Восточно-Европейской платформы. Материалы совещания (Москва, ВНИГНИ, 23–25 ноября 2015 г.). ВНИГНИ, Москва, 80–87.
- Лозовский, В.Р., Олферьев, А.Г., Новиков, И.В., Миних, М.Г., Миних, А.В., Сенников, А.Г., 2011. Уточненная субрегиональная стратиграфическая схема триасовых отложений запада, центра и севера Восточно-Европейской платформы (Польско-Литовская, Московская и Мезенская синеклизы, Вятско-Камская впадина). ПИН РАН, Москва.
- Михальцов, Н.Э., 2013. Палеомагнетизм и петромагнитная характеристика трапповой формации северо-запада Сибирской платформы. URL: http://dissovet.sbras.ru/SBdisdocs/mikhaltsov2014/avtoref_Mikhaltsov_signed.pdf (дата обращения: 30.11.2018).
- Молостовский, Э.А., Храмов, А.Н., 1997. Магнитостратиграфия и ее значение в геологии. Изд-во Саратов. ун-та., Саратов.
- Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий 28, 1995. Изд. Межведомственного стратиграфического комитета, Санкт-Петербург. URL: http://vsegei.ru/ru/about/msk/postanovleniya/msk1996_28.pdf (дата обращения: 07.12.2018).
- Сенников, А.Г., Новиков, И.В., 2011. Раннетриасовые дицинодонты Восточной Европы. Бюллетень Моск. общества испытателей природы. Отделение Геологии, 86(5), 61–64.
- Фетисова, А.М., Веселовский, Р.В., Scholze, F., Балабанов, Ю.П., 2018. Новый пермо-триасовый палеомагнитный полюс Восточно-Европейской платформы, вычисленный с учетом занижения наклона в осадочных породах. Физика Земли 1, 158–171.
- Ярошенко, О.П., 2005. Палинофлористическая перестройка на границе перми и триаса (на примере палинокомплексов Восточно-Европейской платформы). Стратиграфия. Геологическая корреляция 13(4), 78–85.
- Chadima, M., Hroudá, F., 2006. Remasoft 3.0 a user_friendly paleomagnetic data browser and analyzer. Travaux Geophysiques, XXVII, 20–21.
- Enkin, R. J., 1994. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada, 16.
- Gurevitch, E.L., Heunemann, C., Rad'ko, V., Westphal, M., Bachtadse, V., Pozzi, J.P., Feinberg, H., 2004. Palaeomagnetism and magnetostratigraphy of the Permian—Triassic northwest central Siberian Trap Basalts. Tectonophysics 379, 211–226.
- Jelinek, V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. Tectonophysics 79, 63–67.
- Kirschvink, J.L., 1980. The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data. Geophysical Journal International 62(3), 699–718. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x>.
- Kodama, K., 2012. Paleomagnetism of sedimentary rocks: process and interpretation. Wiley-Blackwell.
- Tauxe, L., Banerjee, S.K., Butler, R.F., Van der Voo, R., 2018. Essentials of Paleomagnetism. 5th Web Edition. URL: <https://earthref.org/MagIC/books/Tauxe/Essentials/> (accessed: 30.11.2018).
- Tauxe, L., Kent, D. V., 2004. A simplified statistical model for the geomagnetic field and the detection of shallow bias in paleomagnetic inclinations: was the ancient magnetic field dipolar? in: Channell, J.E.T., Kent, D. V., Lowrie, W., Meert, J. (eds). Timescales of the Paleomagnetic Field 145, American Geophysical Union, Washington, D. C.

Torsvik, T.H., Van der Voo, R., Preeden, U., Mac Niocaill, C., Steinberger, B., Doubrovine, P.V., Cocks, L.R.M., 2012. Phanerozoic Polar Wander, Palaeogeography and Dynamics. *Earth-Science Reviews* 114(3–4), 325–368. URL: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.06.007>.

Статья поступила в редакцию 31 мая 2018 г.

Статья рекомендована в печать 15 октября 2018 г.

Контактная информация:

Фетисова Анна Михайловна — anna-fetis@yandex.ru

Балабанов Юрий Павлович — balabanov-geo@mail.ru

Веселовский Роман Витальевич — roman.veselovskiy@ya.ru

Мамонтов Дмитрий Аркадьевич — palynologist.dm@mail.ru

Anomalous magnetization of the Permian-Triassic Nedubrovo red beds, Moscow basin

A. M. Fetisova^{1, 2}, Yu. P. Balabanov³, R. V. Veselovskiy^{1, 2}, D. A. Mamontov¹

¹ Lomonosov Moscow State University,

1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russian Federation

² Institute of Physics of the Earth RAS,

10, building 1, ul. Bolshaya Gruzinskaya, Moscow, 123995, Russian Federation

³ Kazan Federal University,

18, ul. Kremlevskaya, Kazan, 420008, Russian Federation

For citation: Fetisova A. M., Balabanov Yu. P., Veselovskiy R. V., Mamontov D. A. Anomalous magnetization of the Permian-Triassic Nedubrovo red beds, Moscow basin. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 2018, vol. 63, issue 4, pp. 544–560. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2018.409> (In Russian)

A Nedubrovo member was recently described by (Lozovsky et al., 2001) and is the subject of continuing disputes due to the uncertainty of its age. Numerous determinations of fauna and flora allow to suggest the age of the Nedubrovo deposits as Upper Permian (Arefiev et al., 2016, Lozovsky et al., 2016) or Lower Triassic (Lozovsky et al., 2017). The uniqueness of the Nedubrovo member is also determined by the absence of its stratigraphic analogues within the Moscow sedimentary basin. Here we present the results of complex paleomagnetic and rock magnetic studies of the oldest Nedubrovo horizons of the Lower Triassic of the Moscow basin, which are outcropped in the lower stream of the Kichmenga River and lie on the clays of the Vyatkian stage of the Upper Permian. We found the paleomagnetic direction of the characteristic component of the magnetization of the studied red beds to be anomalous (slat = 60.04521°, slong = 45.74047°, N = 142, D = 246.3°, I = -6.6°, K = 10.0, $\alpha_{95} = 3.9^\circ$) and, with a high degree of probability, it corresponds to the period of significant and prolonged deviation of the Earth's magnetic field configuration from the Geocentric Axial Dipole (GAD). The presence of anomalous paleomagnetic directions in Late Permian sedimentary and volcanic sections within Eurasia can be used as a powerful tool for local and regional magnetostratigraphic correlations, and it also indirectly suggests the Late Permian age of the Nedubrovo sediments.

Keywords: paleomagnetism, magnetostratigraphy, Permian-Triassic boundary, Russian sedimentary basin, Nedubrovo member.

References

- Arefiev, M. P., Golubev, V. K., Kuleshov, V. N., Kukhtinov, D. A., Minikh, A. V., Pokrovsky, B. G., Silantyev, V. V., Urazaeva, M. N., Shkursky, B. B., Yaroshenko, O. P., Grigorieva, A. V., Naumcheva, M. A., 2016. Kompleksnaia paleontologicheskaiia, sedimentologicheskaiia i geokhimeskaiia kharakteristika terminal'nykh otlozhenii perm'skoi sistemy severo-vostochnogo borta Moskovskoi sineklizy [Complex paleontological, sedimentological and geochemical characteristics of the terminal sediments of the Permian system of the northeast side of the Moscow syncline]. *Biulleten' Mosk. obshchestva ispytatelei prirody. Otdelenie Geologii* [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Department of Geology], 91(1), 24–49. (In Russian)
- Burov, B. V., Boronin, V. P., 1977. Paleomagnitnaia zona Illavara v otlozheniiakh verkhnei perm'i i nizhnego triasa Srednego Povolzh'ia [The Illawarra paleomagnetic zone in the Upper Permian and Lower Triassic strata in the middle Volga area], in: *Materialy po stratigrafii verkhnei perm'i na territorii SSSR* [Data on the stratigraphy of the Upper Permian in the USSR territory]. Kazan: Izd. Kazan Univ. (In Russian)
- Chadima, M., Hroudá, F., 2006. Remasoft 3.0 a user_friendly paleomagnetic data browser and analyzer. *Travaux Geophysiques*, XXVII, 20–21.
- Postanovleniia Mezhdvdomstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoiannykh komissii 28, 1995. [Decisions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing commissions (Iss. 28, 24), 1995]. Interdepartmental Stratigraphic Committee, St. Petersburg. Available at: http://vsegei.ru/about/msk/postanovleniya/msk1996_28.pdf (accessed: 07.12.2018). (In Russian)
- Enkin, R. J., 1994. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada.
- Fetisova, A. M., Veselovskii, R. V., Scholze, F., Balabanov, Yu. P., 2018. Novyi permio-triasovyi paleomagnitnyi polius Vostochno-Evropeskoi platformy, vychislennyy s uchetom zanizheniia nakloneniia v osadochnykh porodakh [New Permian-Triassic Paleomagnetic Pole of the East European Platform, calculated taking into account the lowering of the inclination in sedimentary rocks]. *Fizika Zemli* [Physics of the Earth] 1, 158–171. (In Russian)
- Goncharov, G. I., Komissarova, R. A., Pisarevskiy, S. A., Pogarskaya, I. A., Rzhnevskiy, Yu. S., Rodionov, V. P., Slautsitays, I. P., Khramov, A. N., 1982. Paleomagnitologiya [Paleomagnetology]. Nedra, Leningrad. (In Russian)
- Gurevitch, E. L., Heunemann, C., Rad'ko, V., Westphal, M., Bachtadse, V., Pozzi, J. P., Feinberg, H., 2004. Palaeomagnetism and magnetostratigraphy of the Permian — Triassic northwest central Siberian Trap Basalts. *Tectonophysics* 379, 211–226.
- Jelinek, V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics* 79, 63–67.
- Kirschvink, J. L., 1980. The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophysical Journal International* 62(3), 699–718. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x>.
- Kodama, K., 2012. *Paleomagnetism of Sedimentary Rocks: Process and Interpretation*. Wiley-Blackwell.
- Kukal, Z., 1987. Skorost' geologicheskikh protsessov [The speed of geological processes]. Mir, Moscow. (In Russian)
- Lozovsky, V. R., Balabanov, Yu. P., Karasev, E. V., Novikov, I. V., Ponomarenko, A. G., Yaroshenko, O. P., 2016. Terminal'naia perm' evropeiskoi Rossii: viaznikovskii gorizont i nedubrovskaiia pachka i granitsa perm'i i triasa [Terminal Permian of European Russia: the Ulynite horizon and not-Dubrovsky tuft and border of Permian and Triassic]. *Stratigrafiia. Geologicheskaiia korreliatsiia* [Stratigraphy. Geological Correlation] 24(4), 38–54. (In Russian)
- Lozovsky, V. R., Krasilov, V. A., Afonin, S. A., 2001. O vydelenii novoi pachki v sostave vokhminskoi svity nizhnego triasa Moskovskoi sineklizy [About allocation of a new bundle in the Vokhmin suite of the Lower Triassic of the Moscow syncline]. *Biulleten' Regional'noi mezhdvdomstvennoi stratigraficheskoi komissii po tsentru i iugu Russkoi platformy* [Bull. The regional interdepartmental stratigraphic commission for the center and south of the Russian Platform] 3, 151–163. (In Russian)
- Lozovsky, V. R., Morkovin, B. I., Kukhtinov, D. A., Minikh, A. V., Balabanov, Yu. P., 2017. Nedubrovskaiia pachka imeet rannetriasovyi vozrast! PALEOSTRAT-2017 [The Nedubrovskaya pack has Early Triassic age!], in: *PALEOSTRAT-2017. Godichnoe sobranie (nauchnaia konferentsiia) sektsii paleontologii MOIP i Moskovskogo otdeleniia Paleontologicheskogo obshchestva pri RAN* [PALEOSTRAT-2017. The annual meeting (scientific conference) of the section of paleontology of the Moscow Institute of Information Technologies and the Moscow branch of the Paleontological Society at the Russian Academy of Sciences], Moscow, 39–40. (In Russian)

- Lozovsky, V. R., Novikov, I. V., 2016. Stratigraficheskaia skhema triasovykh otlozhenii Moskovskoi i mezen-skoj sinekliz: sostoianie i problemy, v: Sostoianie stratigraficheskoj bazy tsentra i iugo-vostoka Vostochno-Evropejskoj platformy [Stratigraphic scheme of Triassic deposits of the Moscow and Mezen synec-lise: state and problems. Status of stratigraphic base of the center and South-East of the East European platform], in: Materialy soveshchaniia (Moskva, VNIGNI, 23–25 noiabria 2015 g.) [Materials of the meeting (Moscow, VNIGNI, 23–25 November 2015)]. VNIGNI, Moscow, 80–87.
- Lozovsky, V. R., Olferev, A. G., Novikov, I. V., Minikh, M. G., Minikh, A. V., Sennikov, A. G., 2011. Utochnennaia subregional'naiia stratigraficheskaia skhema triasovykh otlozhenii zapada, tsentra i severa Vostochno-Evropejskoj platformy (Pol'sko-Litovskaia, Moskovskaia i Mezenskaia sineklizy, Viatsko-Kamskaia vpadina) [Refined subregional stratigraphic scheme of the Triassic deposits of the west, center and north of the East European platform (Polish-Lithuanian, Moscow and Mezen synecises, Vyatka-Kamskaya depression)]. PIN RAS, Moscow. (In Russian)
- Lozovsky, V. R., Krasilov, V. A., Afonin, S. A., 2001. Permo-triasovyi krizis i ego vozmozhnaia prichina [About allocation of a new bundle in the Vokhmin suite of the Lower Triassic of the Moscow synec-lise]. Biulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdelenie Geologii [Bull. The regional interdepartmental stratigraphic commission for the center and south of the Russian Platform] 3, 151–163. (In Russian)
- Mikhaltsov, N. E., 2013. Paleomagnetizm i petromagnitnaia kharakteristika trappovoi formatsii severo-zapada Sibirskoi platformy [Paleomagnetism and petromagnetic characteristic of the trap formation in the northwest of the Siberian platform]. Available at: http://dissovet.sbras.ru/SBdisdocs/mikhaltsov2014/avtoref_Mikhaltsov_signed.pdf (accessed: 30.11.2018). (In Russian)
- Molostovskiy, E. A., Khramov, A. N., 1997. Magnitostatigrafia i ee znachenie v geologii [Magnetostratigraphy and its importance in geology]. Saratov University Press, Saratov. (In Russian)
- Sennikov, A. G., Novikov, I. V., 2011. Rannetriasovye ditsinodony Vostochnoi Evropy [Early Triassic dicynodons of Eastern Europe]. Biulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdelenie Geologii [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Department of Geology], 86(5), 61–64. (In Russian)
- Tauxe, L., Banerjee, S. K., Butler, R. F., Van der Voo, R., 2018. Essentials of Paleomagnetism. 5th Web Edition. Available at: <https://earthref.org/MagIC/books/Tauxe/Essentials/> (accessed: 30.11.2018).
- Tauxe, L., Kent, D. V., 2004. A simplified statistical model for the geomagnetic field and the detection of shallow bias in paleomagnetic inclinations: was the ancient magnetic field dipolar? in: Channell, J. E. T., Kent, D. V., Lowrie, W., Meert, J. (eds). Timescales of the Paleomagnetic Field 145, American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Torsvik, T. H., Van der Voo, R., Preeden, U., Mac Niocaill, C., Steinberger, B., Doubrovine, P. V., van Hinsbergen, D. J. J., Domeier, M., Gaina, Tohver, C., E., Meert, J. G., McCausland, P. J. A., Cocks, L. R. M., 2012. Phanerozoic Polar Wander, Palaeogeography and Dynamics. Earth-Science Reviews 114(3–4), 325–368. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.06.007>.
- Westphal, M., Surkis, Yu. F., Gurevich, E. L., Hramov, A. N., 2005. Geomagnitnaia inversiia Kiama-Illavarra: zapis' v stratotipicheskom razreze tatarskogo iarusu Kazanskoe Povolzh'e [Geomagnetic inversion of Kiama-Illavarra: recording in the stratotype section of the Tatar stage, the Kazan Volga region]. Fizika Zemli [Physics of the Earth] 8, 41–62. (In Russian)
- Yaroshenko, O. P., 2005. Palinofloristicheskaia perestroika na granitse permi i triasa (na primere palinokompleksov Vostochno-Evropejskoj platformy) [Palinofloristic restructuring at the Permian and Triassic (on the example of the Palinocomplexes of the East European Platform)]. Stratigrafia. Geologicheskaiia korreliatsiia Stratigraphy. Geological correlation 13(4), 78–85. (In Russian)

Received: May 31, 2018

Accepted: October 15, 2018

Author's information:

Anna M. Fetisova — anna-fetis@yandex.ru

Yuriy P. Balabanov — balabanov-geo@mail.ru

Roman V. Veselovskiy — roman.veselovskiy@ya.ru

Dmitriy A. Mamontov — palynologist.dm@mail.ru