

УДК 550.384

doi: 10.26907/2542-064X.2020.2.228-243

НОВЫЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПЕРМО-ТРИАСОВЫМ ОСАДОЧНЫМ РАЗРЕЗАМ МОСКОВСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

А.М. Фетисова^{1,2,3}, Р.В. Веселовский^{1,2}, М.П. Арефьев^{4,3}

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, 119991, Россия*

²*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, 123242, Россия*

³*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия*

⁴*Геологический институт РАН, г. Москва, 119017, Россия*

Аннотация

Приведены результаты детальных палеомагнитных исследований пяти пограничных пермо-триасовых осадочных разрезов Русской плиты: Слукино (Владимирская обл.), Сартаково и Прудовка (Нижегородская обл.), Клыково и Гаврино (Вологодская обл.). Породы всех изученных разрезов демонстрируют палеомагнитную запись отличного качества, что позволило провести компонентный анализ, определить средние палеомагнитные направления характеристической компоненты естественной остаточной намагниченности и вычислить соответствующие палеомагнитные полюсы для Восточно-Европейской платформы. Для палеомагнитного полюса разреза Прудовка была оценена и учтена поправка за занижение наклона ($f = 0.94$). В разрезах Слукино и Клыково характеристическая компонента имеет биполярное распределение и проходит тест обращения, что свидетельствует о ее первичности. Полученные палеомагнитные полюсы испытывают “far-side” эффект и смещены в сторону раннепермских полюсов Восточно-Европейской платформы несмотря на то, что близость возраста изученных пород к границе перми и триаса надёжно обоснована. Вопрос о причинах этого эффекта остается открытым.

Ключевые слова: пермь, триас, палеомагнетизм, красноцветы, Московская синеклиза, Русская плита

Введение

Задача получения надёжных палеомагнитных данных для интервала геологического времени, отвечающего поздней перми и раннему триасу, на сегодняшний день остаётся весьма актуальной. От прогресса в её решении напрямую зависит точность палеотектонических реконструкций для границы палеозоя и мезозоя, понимание структуры и эволюции магнитного поля Земли в этот период, а также разработка ряда вопросов региональной геологии. В частности, ожидается, что представительная выборка современных палеомагнитных данных по пермо-триасовым геологическим объектам Евразии позволит на новом качественном уровне выполнить проверку гипотезы центрального осевого диполя для этого времени, оценить возможность и кинематику относительных перемещений Восточно-Европейской и Сибирской древних платформ в послепермское

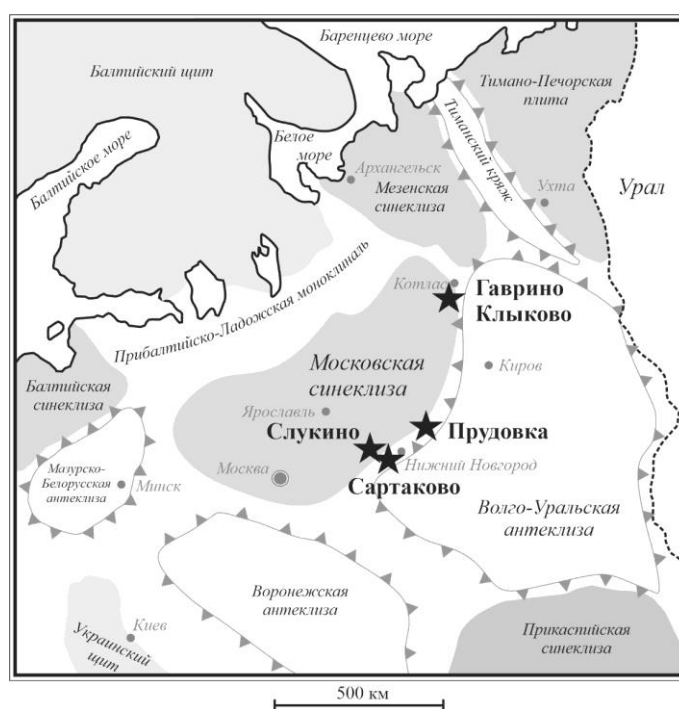


Рис. 1. Положение изученных разрезов (звездочки) на тектонической схеме Восточной Европы (по [19] с упрощениями)

время, решить вопросы внутрибассейновой и межрегиональной корреляции пермо-триасовых осадочных и магматических комплексов.

На территории Восточно-Европейской платформы пермо-триасовые отложения широко развиты в пределах осадочных бассейнов Русской плиты. Несмотря на длительную историю их всестороннего изучения, в том числе и магнитостратиграфического, количество палеомагнитных определений, которые отвечали бы современным требованиям надёжности, невелико. Начиная с 2011 г. наш коллектив проводит комплексное изучение опорных и наиболее представительных разрезов верхнепермских и нижнетриасовых пород на территории Восточно-Европейской платформы, а также внеальпийской Европы, включающее в себя детальные палеомагнитные, (магнито)стратиграфические, палеонтологические и геохронологические исследования. В настоящей работе представлены новые результаты палеомагнитного изучения пяти пермо-триасовых разрезов, которые были опробованы нами в центральной и северной частях Русской плиты в течение полевых сезонов 2017–2019 гг. (рис. 1).

1. Объекты исследований

Разрез **Слукино** (56.190°N, 42.650°E) расположен вблизи одноименной деревни в 2 км западнее г. Гороховец (Владимирская обл.), в непосредственной близости (~1.5 км) от хорошо изученного в стратиграфическом отношении разреза Жуков овраг [1]. Обнажение слагают красноцветные глины и алевролиты (с маломощными карбонатными прослоями), а также известняки, которые чередуются с прослоями песков (до 1.5 м). Нами были опробованы верхнепермский

нефёдовский горизонт (8 штуфов) и нижнетриасовый вохминский горизонт (50 штуфов); интервал опробования составил 30 м мощности разреза. Возраст отложений устанавливается по комплексу остракод [2].

Разрез **Прудовка** (56.958°N, 45.294°E) расположен на правом берегу р. Ветлуга (Нижегородская обл.). Представлен красноцветными континентальными отложениями общей мощностью около 20 м. В основании разреза залегает аллювиальная песчаная линза с прослоем, обогащенным растительным детритом, который содержит комплекс остракод позднепермского (татарского) облика [3]. Выше простирается пачка переслаивания красноцветных алевроитов и глин. Алевроито-глинистые отложения включают педогенные карбонаты с низкими значениями $\delta^{13}\text{C}$ и высокими величинами $\delta^{18}\text{O}$, что указывает на их индский возраст [3]. Граница перми и триаса предполагается в средней части разреза, из которой было отобрано 156 ориентированных штуфов.

Разрез **Сартаково** (56.192°N, 43.831°E) расположен на правом берегу р. Ока вблизи дер. Сартаково (Нижегородская обл.). Представлен красноцветными и сероцветными терригенными, карбонатными и сульфатными отложениями средней перми-нижнего триаса. Нижняя и средняя части разреза слагаются отложениями казанского(?)-вятского ярусов перми. В верхней части разреза обнаружены триасовые (вохминские) остракоды. Опробована верхняя, предположительно только триасовая часть разреза мощностью 8 м; всего отобрано 40 штуфов.

Разрез **Клыково** (60.573°N, 46.414°E) расположен на правом берегу р. Юг (Вологодская обл.) в 1.7 км ниже по течению от разреза Гаврино (см. ниже). Мощность опробованного интервала составляет 15 м. В разрезе представлены стратиграфически более молодые слои, чем в обнажении Гаврино. Верхнепермские красноцветные глины, пески и песчаники вверх по разрезу сменяются розовыми, светло-серыми карбонатными породами. Завершают разрез гравелиты предположительно индского возраста. Граница перми и триаса предполагается по литологическим данным на основании корреляции с соседними обнажениями. Из разреза отобрано 37 ориентированных штуфов.

Разрез **Гаврино (Пашина гора)** (60.574°N, 46.445°E) расположен на правом берегу р. Юг напротив устья реки Луза (Вологодская обл.). Он представлен отложениями нефёдовского горизонта вятского яруса верхней перми мощностью около 12 м. Опробованный интервал представлен внизу красноцветными песчаниками, глинами и алевроитами континентального происхождения. Выше залегают аллювиальные конгломераты, гравелиты и пески, в основании которых ранее проводилась граница перми и триаса [4]. В настоящее время на основании изучения изотопного состава углерода и кислорода осадочных и педогенных карбонатов, по составу аксессуарных минералов и по палеонтологическим данным показано, что аналогичные крупные аллювиальные песчаные линзы начали формироваться в конце пермского периода [5]. В течение полевого сезона 2017 г. была опробована нижняя часть разреза до песчаной линзы, из которой отобрано 150 штуфов.

2. Методы исследований

Полевые и лабораторные исследования выполнялись по общепринятой методике [6, 7]. Отбор ориентированных штуфов производился вручную при помощи

геологического молотка и ножа, максимально равномерно из всего исследуемого интервала стратиграфической последовательности с заданным вертикальным шагом, величина которого варьировала от 2 до 50 см в зависимости от мощности разреза и литологии. Ориентировка шtuфов выполнялась при помощи горного компаса с учётом местного склонения согласно модели IGRF (12-е поколение). Штуфы распиливались на камнерезном станке с алмазным отрезным кругом на прямоугольные образцы с ребром основания 20 мм; высота образцов варьировала от 2 до 20 мм. Лабораторная обработка палеомагнитных коллекций производилась на современном оборудовании в Лаборатории главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН на криогенном (SQUID) магнитометре (2G Enterprises, США), установленном в немагнитной комнате, и в петромагнитной лаборатории геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова на спин-магнитометре JR-6 (AGICO, Чехия). Размагничивание образцов производилось в немагнитных печах MMTD-80 (Magnetic Measurements, Англия) и TD48 (ASC Scientific, США). Термомагнитные исследования и измерения анизотропии магнитной восприимчивости проводились с использованием каппабриджей KLY-4S и MFK1-FA (AGICO, Чехия) с приставками CS-3 и CS-4. Результаты магнитных чисток обрабатывались и визуализировались при помощи пакетов программ PMGSC [8], Remasoft [9] и онлайн-платформы Paleomagnetism.org 2.0 [10], использующих при выделении компонент намагниченности метод PCA [11]. Для оценки коэффициента занижения наклона f использовался статистический метод E-I (“elongation-inclination”) [12].

3. Результаты петро- и палеомагнитных исследований

3.1. Магнитная текстура. Анизотропия магнитной восприимчивости (AMB) характеризует магнитную текстуру горной породы и для терригенных пород даёт возможность косвенно оценить характер осадконакопления, а также выполнить независимый структурный контроль. AMB измерялась для всех палеомагнитных коллекций, результаты измерений для образцов из каждого разреза приведены на рис. 2. Наблюдаемые распределения осей эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости свидетельствуют о том, что формирование пород изученных разрезов происходило в обстановке «спокойной воды», для которой характерной является ориентировка максимальных и промежуточных осей эллипсоидов AMB в горизонтальной плоскости при субвертикальной ориентировке минимальных осей. Такая ориентировка эллипсоида AMB свидетельствует также об отсутствии сколько-нибудь существенных постседиментационных тектонических нарушений изученных комплексов горных пород.

3.2. Палеомагнетизм. Результаты палеомагнитных исследований представляют собой направления характеристических компонент естественной остаточной намагниченности (табл. 1, рис. 3) и координаты соответствующих им палеомагнитных полюсов (табл. 2, рис. 4). Ко всем полученным выборкам единичных направлений характеристических компонент намагниченности применялась процедура отбраковки “cutoff 45°” [13] для исключения из дальнейшего палеомагнитного анализа тех из них, которые существенно (на 45°) отличаются от среднего направления по выборке. Ниже кратко рассмотрены особенности палеомагнетизма пород каждого из изученных разрезов. Каждый палеомагнитный

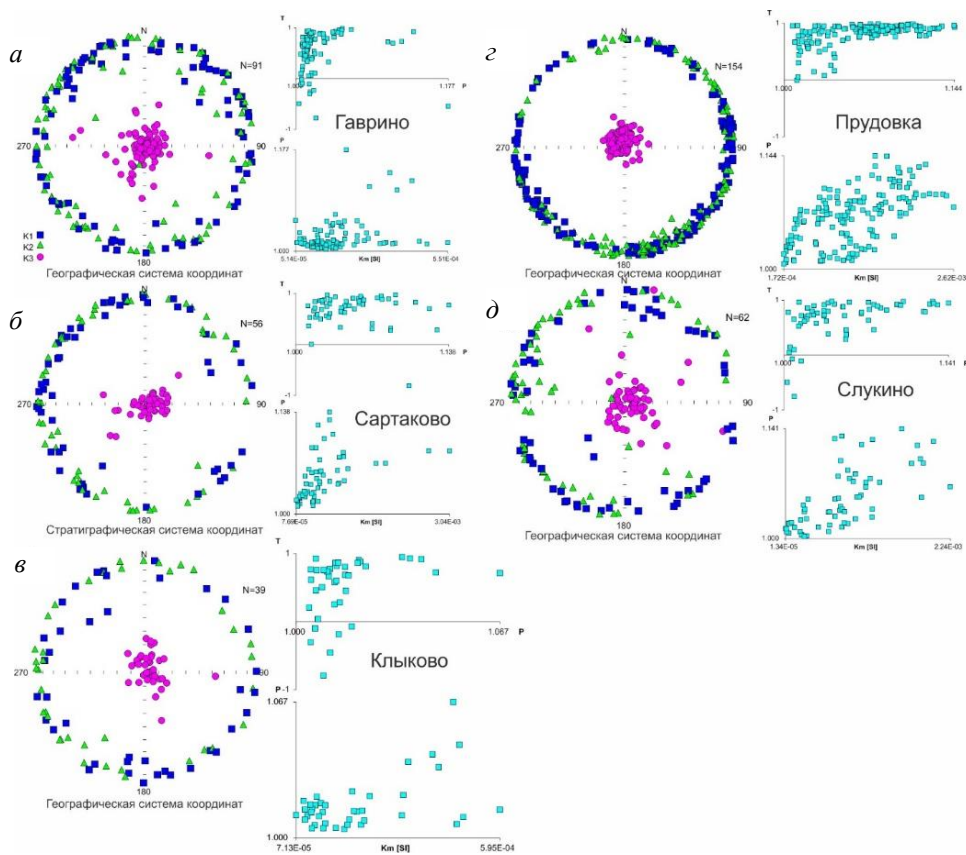


Рис. 2. Анизотропия магнитной восприимчивости (АМВ) пород изученных разрезов. Слева: стереограмма распределения длинной, промежуточной и короткой полуосей овала АМВ (K1, K2 и K3 соответственно) в проекции на нижнюю полусферу. Справа сверху: диаграмма Желинека [20], иллюстрирующая зависимость параметра формы эллипсоида АМВ (Т) – уплощенная/удлиненная – от степени анизотропии (Р). Справа внизу: зависимость степени АМВ (Р) от величины магнитной восприимчивости (Км)

полос рассчитывался по среднему направлению характеристической компоненты намагниченности.

В разрезе **Слукино** (T_1) из 62 исследованных образцов 58 несут палеомагнитный сигнал хорошего качества, представленный характеристической компонентой, выделяемой в интервале температур 300–680 °С, прямой (рис. 5, а) и обратной (рис. 5, б) полярности. Тест обращения [14], выполненный для средних направлений компонент ЕОН прямой и обратной полярности (рис. 3, д), положительный: $\gamma/\gamma_c = 2.3^\circ/7.3^\circ$.

Из 156 ориентированных штучков из разреза **Прудовка** (T_1) было выпилено 176 образцов, которые несут палеомагнитный сигнал отличного качества. Характеристическая компонента намагниченности (240–670 °С) и имеет исключительно прямую полярность (рис. 5, в). Количество единичных палеомагнитных направлений по разрезу позволяет использовать метод Е-1 [12] для оценки коэффициента занижения наклона: величина коэффициента составляет $f = 0.94$, а различие между скорректированным палеомагнитным наклоном и его исходным значением наглядно отражено в табл. 1.

Табл. 1

Палеомагнитные направления и коэффициент занижения наклонения f

	Разрез (возраст)	Точка отбора		Полярность	n/n_{c45}	Географическая СК Стратиграфическая СК				$If-corr$ (°)/ f
		slat (°N)	slong (°E)			D (°)	I (°)	k	$\alpha 95$ (°)	
1	Слукино (Т ₁)	56.190	42.650	NR	58/52	44.9	39.0	25.7	4.0	–
				N	18/14	45.3	38.5	44.9	6.0	–
				R	40/38	224.7	-39.2	21.8	5.1	–
2	Прудовка (Т ₁)	56.958	45.294	N	176/173	48.1	40.1	24.0	2.2	41.7/ 0.94
3	Сартаково (Т ₁)	56.192	43.831	N	46/42	40.3	29.6	25.8	4.8	–
						44.3	48.0	25.8	4.8	
4	Клыково (Р ₃ -Т ₁)	60.573	46.414	NR	36/34	33.2	50.3	33.8	4.3	–
				R	11/11	216.8	-48.5	17.6	11.2	–
				N	25/23	31.4	51.1	56.9	4.1	–
5	Гаврино (Р ₃)	60.574	46.445	N	97/96	40.7	49.1	29.4	2.7	–

Примечания. slat, slong – широта и долгота точки отбора; n – количество образцов, для которых выполнен компонентный анализ; n_{c45} – количество образцов после применения селективного критерия “cutoff 45°” и включенных в выборку для вычисления среднего направления; D, I, k, $\alpha 95$ – характеристики распределения Фишера: склонение, наклонение, кучность и радиус круга 95%-ного доверия соответственно; f – коэффициент занижения наклонения; $If-corr$ – наклонение, скорректированное с учётом коэффициента f . Полярность: N – нормальная, R – обратная.

Табл. 2

Палеомагнитные полюсы

	Разрез (возраст)	n	Plat (°)	Plong (°)	dp/dm (°)	Paleolat (°)
1	Слукино (Т ₁)	(52)	42.6	159.9	2.8/4.8	22.0
2	Прудовка (Т ₁)	(173)	42.4	158.4	1.6/2.7	24.0
3	Сартаково (Т ₁)	(42)	48.7	156.1	4.1/6.3	29.0
4	Клыково (Р ₃ -Т ₁)	(34)	53.3	174.7	3.9/5.8	31.1
5	Гаврино (Р ₃)	(96)	49.3	166.5	2.4/3.6	30.0

Примечания. n – количество единичных палеомагнитных направлений (образцов), по которым рассчитано среднее палеомагнитное направление; Plat, Plong, Paleolat, dp/dm – широта и долгота палеомагнитного полюса, палеоширота места отбора образцов и величины полуосей овала 95%-ного доверия соответственно.

Из разреза **Сартаково (Т₁)** было отобрано 40 штуфов, из которых было выпилено 57 образцов для лабораторных исследований; в 46 образцах был выделен интерпретируемый палеомагнитный сигнал. Характеристическая компонента ЕОН, выделяемая в интервале температур 240–700 °С (рис. 5, *з*), имеет исключительно прямую полярность.

Палеомагнитная коллекция разреза **Клыково (Р₃-Т₁)** представлена 37 образцами, из которых 36 демонстрируют интерпретируемую палеомагнитную запись. Характеристические компоненты ЕОН выделяются в интервале температур 400–680 °С. Нижняя часть опробованного интервала разреза характеризуется присутствием наиболее стабильной к нагревам компоненты ЕОН обратной полярности (рис. 5, *е*), в то время как верхняя часть разреза – прямой полярности (рис. 5, *д*). Тест обращения для средних направлений прямой и обратной полярности положительный: $\gamma/\gamma_c = 4.4^\circ/9.4^\circ$.

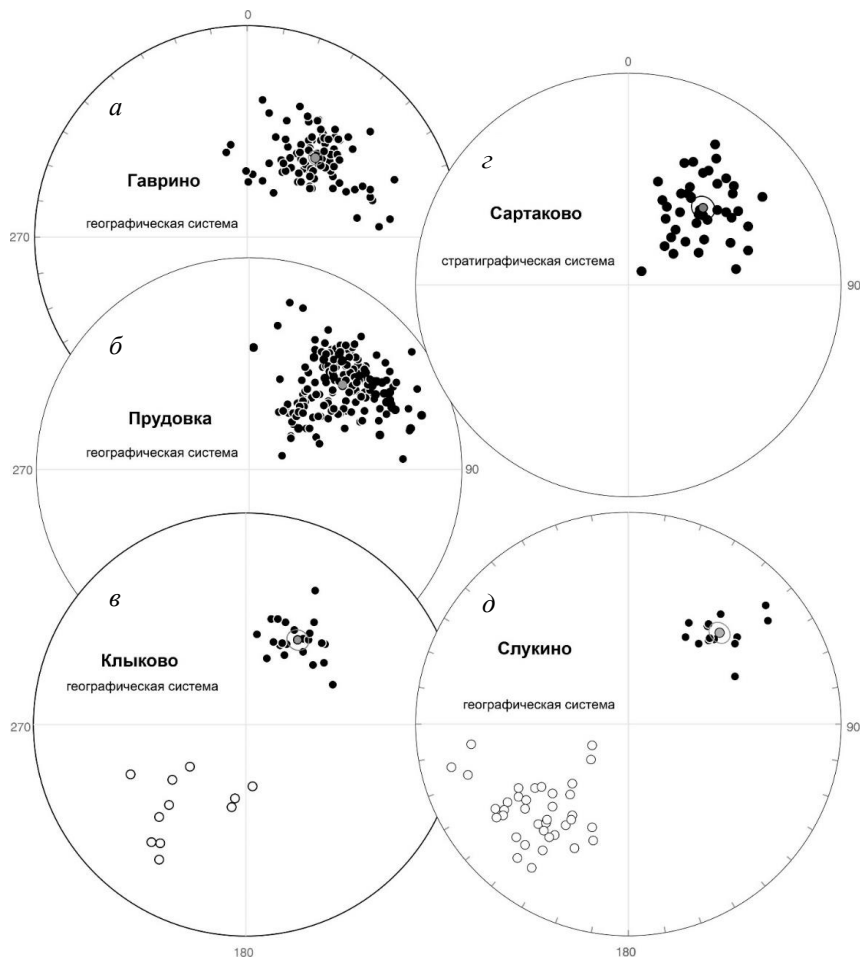


Рис. 3. Направления характеристических компонент намагниченности для исследованных обнажений на уровне образцов и их средние с кругами 95%-ного доверия



Рис. 4. Сравнение полученных палеомагнитных полюсов с кривой кажущейся миграции палеомагнитного полюса Восточно-Европейской платформы [16]

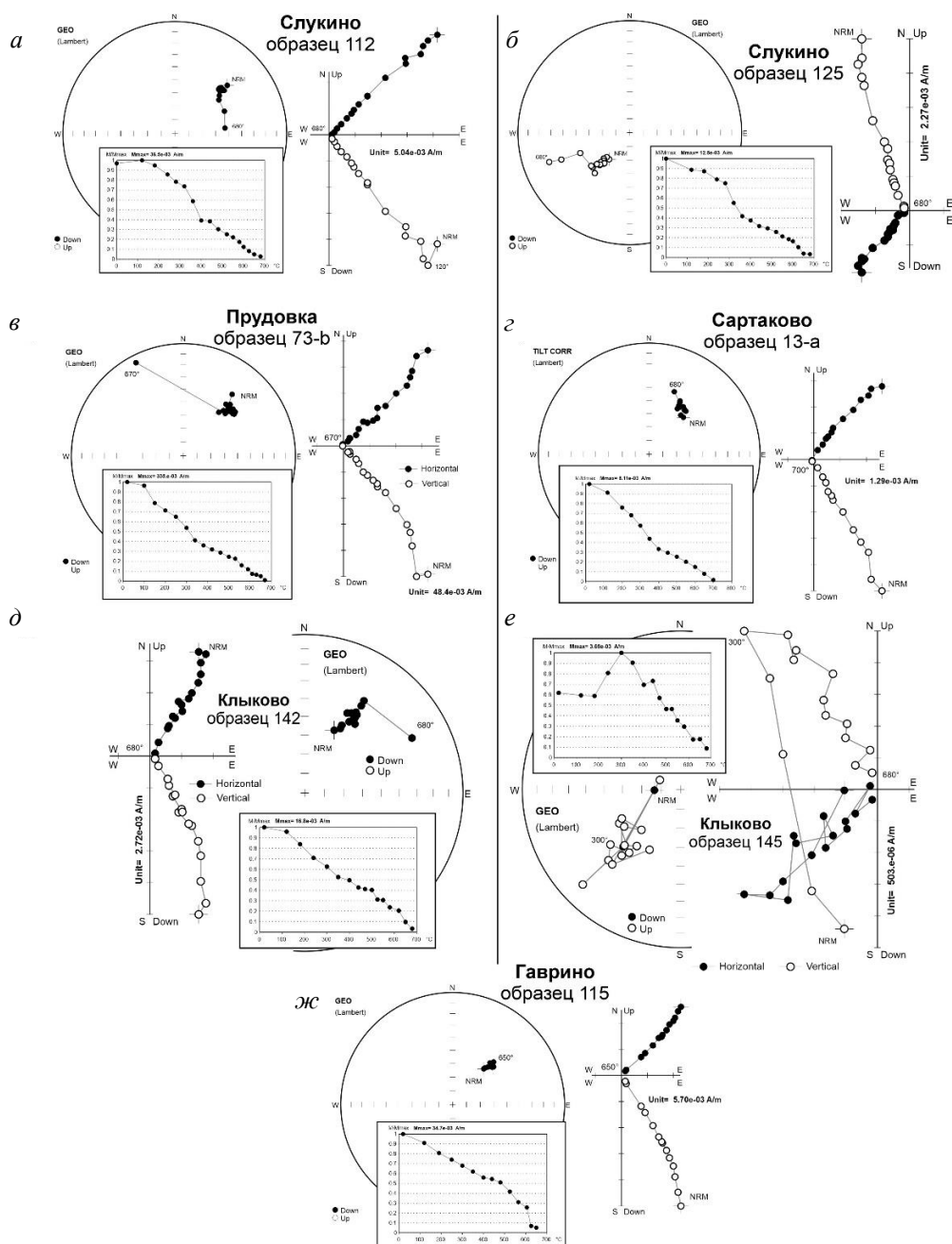


Рис. 5. Результаты температурной магнитной очистки типичных образцов пород изученных разрезов: стереограммы, диаграммы Зийдervельда и кривые размагничивания ЕОН. Залитые и пустые кружки на стереограммах – проекция вектора соответственно на нижнюю и верхнюю полусферы; залитые и пустые кружки на диаграммах Зийдervельда – проекции вектора на горизонтальную и вертикальную плоскости

Разрез **Гаврино (Пашина гора) (P₃)** представлен палеомагнитной коллекцией общим объемом 122 образца. Температурные магнитные чистки показали, что 97 образцов несут интерпретируемый палеомагнитный сигнал: характеристическая компонента ЕОН выделяется в интервале температур 240–650 °С

и имеет прямую полярность (рис. 5, *ж*). Оценка коэффициента занижения наклона в данном разрезе методом Е-I не дала результата.

Кривые температурного размагничивания образцов (рис. 5), а также результаты магнитных чисток переменным магнитным полем, выполненные для нескольких дублей образцов из каждого разреза, позволяют говорить о том, что основными минералами-носителями намагниченности в исследованных образцах являются магнетит и гематит. О наличии магнетита свидетельствует спад естественной остаточной намагниченности при приближении к температуре 570 °С, а также уменьшение ЕОН до величины от 50% до 90% от начального значения при проведении чистки переменным магнитным полем амплитудой до 130 мТл. Остаток величины ЕОН приходится на более магнитожесткую минеральную фазу, которая, судя по полному исчезновению ЕОН при нагреве образцов до 680–700 °С, представлена гематитом. Детальный анализ диаграмм Зийдервельда и стереограмм, иллюстрирующих поведение вектора ЕОН в процессе температурной магнитной чистки образцов, не обнаруживает значимого различия в направлениях векторов ЕОН, связанных с различными минеральными фазами. Поэтому мы считаем, что намагниченность исследованных горных пород возникла в разных магнитных минеральных фазах в геологическом масштабе времени одновременно.

4. Обсуждение результатов

Здесь мы остановимся исключительно на обсуждении качества и надежности полученных нами результатов палеомагнитных исследований. Их интерпретация в терминах магнитостратиграфии и палеотектоники в настоящей работе не обсуждается, поскольку эти вопросы достойны отдельных публикаций.

Наиболее важным вопросом, имеющим прямое отношение к оценке надёжности полученных в настоящей работе палеомагнитных определений, является оценка возраста выделенных компонент намагниченности. В качестве доводов в пользу их первичного возраста мы предлагаем следующие:

а) наличие в разрезах Клыково и Слудино характеристических компонент ЕОН прямой и обратной полярности, средние направления которых проходят тест обращения. Территориальная близость остальных разрезов не дает оснований предполагать, что слагающие их породы могли испытать региональное перемагничивание в более позднее время. Потенциальных источников локального перемагничивания также не наблюдается;

б) близость полученных средних палеомагнитных направлений с ожидаемыми на данной территории для пермо-триасового времени и их отличие от более молодых палеомагнитных направлений Восточно-Европейской платформы;

в) наличие первичной магнитной текстуры, свидетельствующей об отсутствии постседиментационных процессов, которые могли бы существенно повлиять на первичную намагниченность.

Таким образом, есть основания считать, что полученные нами палеомагнитные направления достаточно надежно отражают направление геомагнитного поля в момент формирования изученных пород вблизи границы перми и триаса. Поскольку в каждом опробованном обнажении полученные палеомагнитные данные характеризуют внушительный интервал разреза – от 8 до десятков метров,

Табл. 3

Оценка разброса виртуальных геомагнитных полюсов (VGP)

	Разрез	n/n_{acc}	Sb (°)	Sb low (°)	Sb up (°)
1	Слукино (Т ₁)	52/52	14.1	12.0	16.3
2	Прудовка (Т ₁)	173/168	14.9	13.8	15.8
3	Сартаково (Т ₁)	42/41	16.3	14.2	18.4
4	Клыково (Р ₃ -Т ₁)	34/33	15.1	12.6	17.3
5	Гаврино (Р ₃)	96/84	12.7	11.1	14.3

Примечания. n – исходное количество VGP; n_{acc} – количество VGP, участвующих в анализе после применения метода селекции “Vandamme’s cutoff”; Sb – разброс VGP согласно [18]; Sb low, Sb up – соответственно нижняя и верхняя границы интервала 95%-ного доверия.

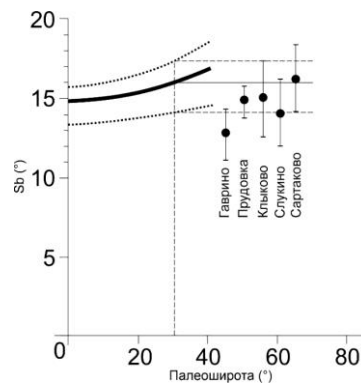


Рис. 6. Разброс виртуальных геомагнитных полюсов (Sb) для изученных обнажений в сравнении с модельной кривой амплитуды вековых вариаций за последние 5 млн лет [13]. Пояснения в тексте

мы можем с достаточной уверенностью считать, что вычисленные по средним палеомагнитным направлениям полюсы являются палеомагнитными, то есть для них соблюдается требование осреднения вековых вариаций. Для количественной проверки этого предположения мы оценили разброс виртуальных геомагнитных полюсов (VGP) для каждого исследованного разреза (каждому VGP соответствует индивидуальное направление характеристической компоненты намагниченности для конкретного образца) так, как это описано в работе [15], и сравнили его значение с моделью вековых вариаций для последних 5 млн лет [13], (табл. 3, рис. 6). Полученные значения параметра Sb, характеризующего разброс VGP, и его доверительные интервалы согласуются с ожидаемой амплитудой вековых вариаций для палеошироты изученных разрезов (~ 27°), что является дополнительным доводом в пользу осреднения вековых вариаций в каждом разрезе.

На рис. 4 представлены полученные палеомагнитные полюсы в сравнении с кривой кажущейся миграции палеомагнитного полюса Восточно-Европейской платформы [16]. Наблюдаемое смещение полюсов вдоль палеомеридиана, соединяющего точку отбора образцов и соответствующий палеомагнитный полюс, относительно их ожидаемого положения называется “far-side” эффектом, который принято объяснять в первую очередь как результат занижения наклона в осадочных породах. В нашем случае от “far-side” эффекта не удастся избавиться даже при учете эффекта занижения наклона на примере разреза Прудовка.

Следует отметить, что наши предыдущие исследования [17] показали наличие такой же проблемы в других осадочных разрезах перми и триаса Европы, что может говорить о недостаточно адекватной оценке коэффициента занижения методом Е-I. В то же время смещение полученных полюсов в раннепермскую область кривой КМП Восточно-Европейской платформы нельзя объяснить ошибкой в возрастной привязке разрезов. Возможно, что наблюдаемое группирование полученных нами позднепермских и раннетриасовых полюсов между собой имеет тектоническую причину, однако представленной выборки явно недостаточно для сколько-нибудь обоснованных выводов, а анализ всех имеющихся перм-триасовых палеомагнитных определений выходит за рамки настоящей работы. Таким образом, полученные данные подтверждают актуальность исследований палеомагнетизма пограничного пермо-триасового интервала. Очевидно, что для решения сформулированных ранее вопросов необходимо привлечь значительно более представительное количество палеомагнитных определений, всесторонний анализ которых назрел и требует отдельного рассмотрения.

Заключение

В работе представлены пять новых палеомагнитных полюсов Восточно-Европейской платформы, возраст которых отвечает границе перми и триаса. Они получены нами с использованием современных методических и аналитических возможностей палеомагнитного метода и дополняют базу палеомагнитных данных. Полученные палеомагнитные определения могут быть использованы для проверки гипотезы о тектонической жесткости Евразии – оценки возможных относительных движений входящих в состав Евразии континентальных блоков в пост-палеозойское время, а также могут являться необходимым фактическим материалом для оценки ключевых параметров геомагнитного поля около 250 млн лет тому назад.

Благодарности. Палеомагнитные исследования проведены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-00593) и частичной поддержке гранта Правительства РФ № 14.Z50.31.0017 и НИР в рамках государственного задания ИФЗ РАН и геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, а также за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания № 671-2020-0049 в сфере научной деятельности. Седиментологические исследования выполнены в рамках темы госзадания Геологического института РАН 0135-2019-0073.

Литература

1. *Голубев В.К.* Границы верхнего отдела пермской системы на Восточно-Европейской платформе // Материалы III Всерос. совещания «Верхний палеозой России: региональная стратиграфия, палеонтология, гео- и биособытия». – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. – С. 68–70.
2. *Наумчева М.А., Голубев В.К.* Комплексы остракод пограничных отложений перми и триаса Московской синеклизы // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 80. – С. 21–29.

3. *Арефьев М.П., Голубев В.К., Балабанов Ю.П., Наумчева М.А.* Предварительная корреляция пограничных отложений перми и триаса бассейнов рек Юга и Ветлуги // ПАЛЕОСТРАТ-2017. Годичное собрание (науч. конф.) секции палеонтологии МОИП и Моск. отд-ния Палеонтологического о-ва при РАН: Тез. докл. / Ред. А.С. Алексеев. – М.: Палеонтол. ин-т им. А.А. Борисяка РАН, 2017. — С. 6–7.
4. *Саммет Э.А., Полуэктов Т.А. и др.* Отчет о комплексной геолого- гидрологической съемке бассейна р. Малой Северной Двины масштаба 1:200 000 за 1968–1971 г. – Котласский, Архангельская обл.: Северо-Западное территориальное геол. упр., 1972.
5. *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.* Комплексная палеонтологическая, седиментологическая и геохимическая характеристика терминальных отложений пермской системы северовосточного борта Московской синеклизы. Статья 1. Бассейн реки Малая Северная Двина // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд-ние геологии. – 2016. – Т. 91, № 1. – С. 24–49.
6. Палеомагнитология / Под ред. А.Н. Храмова. – Л.: Недра, 1982. – 312 с.
7. *Tauxe L., Banerjee S.K., Butler R.F., Van der Voo R.* Essentials of Paleomagnetism: Fifth Web Edition. – 2020. – URL: <https://earthref.org/MagIC/books/Tauxe/Essentials/>.
8. *Enkin R.J.* A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. – 1994. – 16 p. – URL: http://palaeo.spb.ru/pmlibrary/pmpapers/enkin_1994.pdf.
9. *Chadima M., Hroudá F.* Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer // *Travaux Géophysiques*. – 2006. – V. XXVII. – P. 20–21.
10. *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.
11. *Kirschvink J.L.* The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data // *Geophys. J. Int.* – 1980. – V. 62, No 3. – P. 699–718. – doi: 10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x.
12. *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? // *Timescales of the Paleomagnetic Field*. – Washington, D.C.: Amer. Geophys. Union, 2004. – V. 145. – P. 101–116. – doi: 10.1029/145GM08.
13. *Johnson C.L., Constable C.G., Tauxe L., Barendregt R., Brown L.L., Coe R.S., Layer P., Mejia V., Opdyke N.D., Singer B.S., Staudigel H., Stone D.B.* Recent investigations of the 0–5 Ma geomagnetic field recorded by lava flows // *Geochem. Geophys. Geosyst.* – 2008. – V. 9, No 4. – Art. Q04032, P. 1–31. – doi: 10.1029/2007GC001696.
14. *McFadden P.L., McElhinny M.W.* Classification of the reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* – 1990. – V. 103, No 3. – P. 725–729. – doi: 10.1111/j.1365-246X.1990.tb05683.x.
15. *Pavlov V.E., Fluteau F., Latyshev A.V., Fetisova A.M., Elkins-Tanton L.T., Black B.A., Burgess S.D., Veselovskiy R.V.* Geomagnetic secular variations at the Permian-Triassic boundary and pulsed magmatism during eruption of the Siberian Traps // *Geochem. Geophys. Geosyst.* – 2019. – V. 20, No 2. – P. 773–791. – doi: 10.1029/2018GC007950.
16. *Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., Niocaill C., Steinberger B., Doubrovine P., Hinsbergen D., Domeier M., Gaina C., Tohver E., Meert J., McCausland P., Cocks R.* Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics // *Earth-Sci. Rev.* – 2012. – V. 114, No 3–4. – P. 325–368. – doi: 10.1016/j.earscirev.2012.06.007.

17. *Фетисова А.М., Веселовский Р.В., Балабанов Ю.П., Сальная Н.В.* Занижение накло-
нения в пограничных пермо-триасовых осадочных разрезах среднего Поволжья
в свете новых палеомагнитных данных // *Физика Земли*. – 2017. – № 5. – С. 19–29. –
doi: 10.7868/S0002333717040020.
18. *McElhinny M.W., McFadden P.L.* Palaeosecular variation over the past 5 Myr based on
a new generalized database // *Geophys. J. Int.* – 1997. – V. 131, No 2. – P. 240–252. –
doi: 10.1111/j.1365246X.1997.tb01219.x.
19. *Бискэ Ю.С.* Геология России. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2019. – 228 с.
20. *Jelinek V.* Characterization of the magnetic fabric of rocks // *Tectonophysics*. – 1981. –
V. 79, No 3–4. – P. T63–T67. – doi: 10.1016/0040-1951(81)90110-4.

Поступила в редакцию
19.04.2020

Фетисова Анна Михайловна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент; инженер;
старший научный сотрудник

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН
ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, г. Москва, 123242, Россия
Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: anna-fetis@yandex.ru

Веселовский Роман Витальевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор; главный
научный сотрудник

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН
ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, г. Москва, 123242, Россия
E-mail: roman.veselovskiy@ya.ru

Арефьев Михаил Павлович, научный сотрудник; младший научный сотрудник

Геологический институт РАН
Пыжевский пер. 7, г. Москва, 119017, Россия
Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: mihail-3000@inbox.ru

doi: 10.26907/2542-064X.2020.2.228-243

New Paleomagnetic Data on the Permian-Triassic Sedimentary Sections of the Moscow Syncline*A.M. Fetisova*^{a,b,c*}, *R.V. Veselovskiy*^{a,b**}, *M.P. Arefiev*^{d,c***}^a*Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*^b*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia*^c*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*^d*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia*E-mail: **anna-fetis@yandex.ru*, ***roman.veselovskiy@ya.ru*, ****mihail-3000@inbox.ru*

Received April 20, 2020

Abstract

The results of a detailed paleomagnetic study of the following five Permian-Triassic sections of the Russian Platform were discussed: Slukino (Vladimir region), Sartakovo and Prudovka (Nizhny Novgorod region), Klykovo and Gavrino (Vologda region). The study is important and intriguing due to the current lack of any representative and reliable paleomagnetic data on the Permian-Triassic age for Eurasia. These data can be helpful for testing the hypothesis about the possibility of relative movements of Eurasia's lithospheric blocks in the post-Paleozoic time, as well as about the geocentric axial dipole in the Paleozoic and Mesozoic. In order to obtain new paleomagnetic poles, samples from five most promising and well-dated cross-sections of the Permian-Triassic red beds located on the eastern slope of the Moscow syncline were taken. Laboratory treatment was carried out with the use of modern equipment and advanced techniques. Stepwise thermal demagnetization showed the presence of a paleomagnetic record of excellent quality in all the studied sections, thereby making it possible to obtain new paleomagnetic data of high accuracy and reliability. The resulting paleomagnetic poles demonstrate a so-called "far-side effect", i.e., they are shifted relatively to the expected position of the mean Permian-Triassic paleomagnetic pole of the East European Platform along the paleomeridian towards the opposite side of the sampling site. Presumably, the reasons are (a) an inclination shallowing in the studied sedimentary rocks, (b) the presence of a significant contribution of non-dipole components to the main geomagnetic field about 250 million years ago, (c) local tectonics. The results of this study can be of considerable interest for clarifying the paleogeographic position of the East European Platform and testing the hypothesis of tectonic rigidity of Eurasia. Furthermore, they are an important factual material for analyzing the key features of the geomagnetic field at the Paleozoic-Mesozoic boundary.

Keywords: Permian, Triassic, paleomagnetism, red beds, Moscow syncline, East European Platform

Acknowledgements. Paleomagnetic studies were supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-00593) and, in part, by the Government of the Russian Federation (project no. 14.Z50.31.0017), as well as by the R&D project performed within the framework of the state assignment to the Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences and to the Department of Geology of the Moscow State University and by the subsidy allocated to the Kazan Federal University for the state assignment no. 671-2020-0049 in the sphere of scientific activities. Sedimentological investigations were performed as part of the state assignment no. 0135-2019-0073 to the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences.

Figure Captions

Fig. 1. Location of the studied sections (shown as stars) on the tectonic map of Eastern Europe (according to [19] with simplification).

- Fig. 2. Magnetic susceptibility anisotropy (MSA) of rock material from the studied sections. Leftwards: stereogram showing the distribution of long, intermediate, and short semi-axes of the MSA oval (K1, K2, and K3, respectively) in the projection on the lower hemisphere. Top right: Jelinek diagram [20] illustrating the dependence of MSA ellipsoid shape (T) – flattened/elongated – on anisotropy degree (P). Bottom right: dependence of the MSA degree on magnetic susceptibility (Km).
- Fig. 3. Directions of the characteristic magnetization components for the studied outcrops at the level of samples and their mean values with the confidence level of 95%.
- Fig. 4. Comparison of the obtained paleomagnetic poles with the curve of apparent migration of the paleomagnetic pole of the East European Platform [16].
- Fig. 5. Results of the thermal magnetic cleaning of the samples of rocks typical in the studied sections: stereograms, Zijderveld diagrams, and NRM demagnetization curves. Black and white circles on the stereograms indicate the projection of the vector on the upper and lower hemispheres, respectively; black and white circles on the Zijderveld diagrams show the projections of the vector on the horizontal and vertical planes, respectively.
- Fig. 6. Range of the virtual geomagnetic poles (Sb) for the studied outcrops as compared with the model curve of secular variations over the last 5 million years [13]. See main text for explanation.

References

1. Golubev V.K. Boundaries of the Upper Permian system of the East European Platform. *Materialy III Vseros. soveshchaniya "Verkhniy paleozoi Rossii: regional'naya stratigrafiya, paleontologiya, geo- i biosobytiya"* [Proc. III All-Russ. Conf. "Upper Paleozoic of Russia: Regional Stratigraphy, Paleontology, Geo-and Bioevents"]. St. Petersburg, Izd. VSEGEI, 2012, pp. 68–70. (In Russian)
2. Naumcheva M.A., Golubev V.K. Ostracod assemblages from the Permian-Triassic boundary layer of the Moscow syncline. *Reg. Geol. Metallog.*, 2019, no. 80, pp. 21–29. (In Russian)
3. Arefiev M.P., Golubev V.K., Balabanov Yu.P., Naumcheva M.A. Preliminary correlation of sediments at the Permian-Triassic boundary of the Yug and Vetluga basins. *PALEOSTRAT-2017. Godichnoe sobranie (nauch. konf.) seksii paleontologii MOIP i Mosk. otd-niya Paleontologicheskogo o-va pri RAN: Tez. dokl.* [Proc. PALEOSTRAT-2017. Annu. Meet. (Sci. Conf.) of the Section of Paleontology of the Moscow Society of Naturalists and the Paleontological Society of the Russian Academy of Sciences]. Alekseev A.S. (Ed.). Moscow, Paleontol. Inst. im. A.A. Borisyaka Ross. Akad. Nauk, 2017, pp. 6–7. (In Russian)
4. Sammet E.A., Poluektov T.A. et al. *Otchet o kompleksnoi geologo-gidrologicheskoi s"emke basseina r. Maloi Severnoi Dviny masshtaba 1:200 000 za 1968–1971 g.* [The Report of the Geohydrological Survey of the Malaya Northern Dvina River Basin (Scale 1:200 000) for 1968–1971]. Kotlas, Sev.-Zapadn. Territ. Geol. Upr., 1972. (In Russian)
5. Arefiev M.P., Golubev V.K., Kuleshov V.N., Kukhtinov D.A., Minikh A.V., Pokrovskii B.G., Silantiev V.V., Urazaeva M.N., Shkurskii B.B., Yaroshenko O.P., Grigor'eva A.V., Naumcheva M.A. Complex paleontological, sedimentological, and geochemical analysis of terminal sediments of the Permian system in northeastern part of the Moscow syncline. 1. Malaya Northern Dvina River basin. *Byull. Mosk. O-va. Ispyt. Prir., Otd. Geol.*, 2016, vol. 91, no. 1, pp. 24–49. (In Russian)
6. *Paleomagnetologiya* [Paleomagnetology]. Khramov A.N. (Ed.). Leningrad, Nedra, 1982. 312 p. (In Russian)
7. Tauxe L., Banerjee S.K., Butler R.F., Van der Voo R. *Essentials of Paleomagnetism: Fifth Web Edition*. 2020. Available at: <https://earthref.org/MagIC/books/Tauxe/Essentials/>.
8. Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. 1994. 16 p. Available at: http://palaeo.spb.ru/pmlibrary/pmpapers/enkin_1994.pdf.
9. Chadima M., Hrouda F. Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer. *Trav. Geophys.*, 2006, vol. XXVII, pp. 20–21.
10. Koymans M.R., Langereis C.G., Pastor-Galan D., van Hinsbergen D.J.J. Paleomagnetism.org: An online multi-platform open source environment for paleomagnetic data analysis. *Comput. Geosci.*, 2016, vol. 93, pp. 127–137. doi: 10.1016/j.cageo.2016.05.007.
11. Kirschvink J.L. The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. Int.*, 1980, vol. 62, no. 3, pp. 699–718. doi: 10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x.

12. 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? In: *Timescales of the Paleomagnetic Field*. Washington, D.C., Am. Geophys. Union, 2004, vol. 145, pp. 101–116. doi: 10.1029/145GM08.
13. Johnson C.L., Constable C.G., Tauxe L., Barendregt R., Brown L.L., Coe R.S., Layer P., Mejia V., Opdyke N.D., Singer B.S., Staudigel H., Stone D.B. Recent investigations of the 0–5 Ma geomagnetic field recorded by lava flows. *Geochem., Geophys., Geosyst.*, 2008, vol. 9, no. 4, art. Q04032, pp. 1–31. doi: 10.1029/2007GC001696.
14. McFadden P.L., McElhinny M.W. Classification of the reversal test in palaeomagnetism. *Geophys. J. Int.*, 1990, vol. 103, no. 3, pp. 725–729. doi: 10.1111/j.1365-246X.1990.tb05683.x.
15. Pavlov V.E., Fluteau F., Latyshev A.V., Fetisova A.M., Elkins-Tanton L.T., Black B.A., Burgess S.D., Veselovskiy R.V. Geomagnetic secular variations at the Permian-Triassic boundary and pulsed magmatism during eruption of the Siberian Traps. *Geochem., Geophys., Geosyst.*, 2019, vol. 20, no. 2, pp. 773–791. doi: 10.1029/2018GC007950.
16. Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., Niocaill C., Steinberger B., Doubrovine P., Hinsbergen D., Domeier M., Gaina C., Tohver E., Meert J., McCausland P., Cocks R. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth-Sci. Rev.*, 2012, vol. 114, nos. 3–4, pp. 325–368. doi: 10.1016/j.earscirev.2012.06.007.
17. Fetisova A.M., Veselovskiy R.V., Balabanov Yu.P., Sal'naya N.V. Inclination shallowing in the Permian/Triassic boundary sedimentary sections of the Middle Volga region in light of the new paleomagnetic data. *Izv., Phys. Solid Earth*, 2017, vol. 53, no. 5, pp. 635–644. doi: 10.1134/S1069351317040024.
18. McElhinny M.W., McFadden P.L. Palaeosecular variation over the past 5 Myr based on a new generalized database. *Geophys. J. Int.*, 1997, vol. 131, no. 2, pp. 240–252. doi: 10.1111/j.1365246X.1997.tb01219.x.
19. Biske Yu.S. *Geologiya Rossii* [Russian Geology]. St. Petersburg, Izd. S.-Peterb. Univ., 2019. 228 p. (In Russian)
20. Jelinek V. Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 1981, vol. 79, nos. 3–4, pp. T63–T67. doi: 10.1016/0040-1951(81)90110-4.

Для цитирования: 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. – doi: 10.26907/2542-064X.2020.2.228-243.

For citation: Fetisova A.M., Veselovskiy R.V., Arefiev M.P. New paleomagnetic data on the Permian-Triassic sedimentary sections of the Moscow syncline. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2020, vol. 162, no. 2, pp. 228–243. doi: 10.26907/2542-064X.2020.2.228-243. (In Russian)