

УДК 550.384:551.736.3(470)

МАГНИТОСТРАТИГРАФИЯ ГРАНИЦЫ ПЕРМИ И ТРИАСА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ВЕТЛУГА (ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА, НИЖЕГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2024 г. А. М. Фетисова^{1,2}, Р. В. Веселовский^{1,2} *, В. К. Голубев³, М. П. Арефьев⁴

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва, Россия

²Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

³Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, г. Москва, Россия

⁴Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

*E-mail: roman.veselovskiy@ya.ru

Поступила в редакцию 11.07.2023 г.

После доработки 24.11.2023 г.

Принята к публикации 27.11.2023 г.

В статье представлены результаты детальных палеомагнитных исследований терригенных пород шести пограничных пермо-триасовых разрезов центральной части Восточно-Европейской платформы, расположенных в нижнем течении р. Ветлуга: Асташиха, Воскресенское, Знаменское, Прудовка, Сосновка и Сухоборка. Полученные в соответствии с современными требованиями к качеству лабораторной обработки палеомагнитные данные, совместно с результатами биостратиграфических исследований, позволили разработать и обосновать магнитостратиграфические шкалы для каждого разреза, а также выполнить их корреляцию и построить сводную шкалу для пермо-триасового осадочного комплекса долины р. Ветлуга. Для каждого из изученных разрезов определены петромагнитные характеристики и вычислены палеомагнитные полюсы Восточно-Европейской платформы для поздней перми и границы перми–триаса.

Ключевые слова: Восточно-Европейская платформа, палеомагнетизм, магнитостратиграфия, стратиграфия, верхняя пермь, нижний триас.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002333724030055>, EDN: AJTBJP

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и детализация общей шкалы магнитной полярности на основе новых палеомагнитных данных, отвечающих принятым в настоящее время критериям надежности, является актуальным направлением современной палеомагнитологии. Результаты палеомагнитных исследований активно используются для стратиграфического расчленения и корреляции осадочных толщ, палеотектонических реконструкций, а также для понимания конфигурации и оценки параметров магнитного поля Земли в далеком прошлом. Многолетний опыт палеомагнитного изучения разрезов терригенных пород верхней перми и нижнего триаса центральных районов Восточно-Европейской платформы свидетельствует о высоком потенциале этих объектов для составления и детализации региональной шкалы магнитной полярности, что обуславливает необходимость детального

изучения наиболее представительных разрезов с применением современных методов и аналитического оборудования.

Бассейн нижнего течения р. Оки является одним из немногих районов Восточно-Европейской платформы, где толщи осадочных пород пограничного позднепермского–ранне-триасового возраста выходят на поверхность и доступны для исследования в естественных или искусственных обнажениях. В последнее десятилетие многие пермо-триасовые разрезы этого района были подробно изучены в стратиграфическом отношении. В частности, проведены комплексные детальные биостратиграфические и палеомагнитные исследования разрезов Жуков овраг, Слукино, Старое Слукино, Окский съезд [Голубев и др., 2012; Наумчева, Голубев, 2019; Naumcheva, Golubev, 2020; Фетисова и др., 2022; 2023], благодаря которым уточнена и детализирована региональная магнитостратиграфическая шкала пограничных отложений перми

и триаса Русской плиты [Hounslow, Valabanov, 2018]. Одним из наиболее важных выводов перечисленных исследований является установление более сложного, чем это считалось ранее, строения ортозоны RnP, в которой выделено пять субзон. Одна из субзон — r_3 RnP — включает в себя интервал аномальных палеомагнитных направлений a_1r_3 RnP [Фетисова и др., 2022; 2023], являющийся региональным магнитостратиграфическим маркером и свидетельствующий о наличии эпизода аномальной конфигурации геомагнитного поля в конце пермского периода.

Примерно в 200 км к северо-востоку от упомянутых выше пермо-триасовых разрезов бассейна р. Оки, в нижнем течении р. Ветлуга (Нижегородская область) также доступна для изучения серия опорных разрезов пограничных отложений верхней перми и нижнего триаса: Асташиха, Русениха, Знаменское, Щербачиха, Воскресенское, Задворка, Копылово, Богородское, Трифакино, Галибиха, Сухоборка. В палеомагнитном отношении эти разрезы были исследованы Э.А. Молостовским [Молостовский, 1983], а позднее — палеомагнитологами Казанского университета Б.В. Бутовым, В.П. Борониным и Ю.П. Балабановым [Граница..., 1998; Балабанов, Муравьев, 2010; Лозовский и др., 2015; 2016]. Однако шкала магнитной полярности, построенная для сводного разреза бассейна р. Ветлуга, по степени детальности уступает соответствующей шкале бассейна р. Оки, что не дает возможности выполнить их непосредственную корреляцию. Кроме того, существенно возросшие за последние десятилетия требования к методике палеомагнитных исследований и представлению их результатов требуют, как минимум, заверки палеомагнитных данных, полученных в XX веке по разрезам пермо-триасовых пород р. Ветлуга. Поэтому основной целью данной работы стало уточнение и детализация региональной магнитостратиграфической шкалы перми и триаса Русской плиты с использованием новых палеомагнитных и биостратиграфических данных по разрезам нижнего течения р. Ветлуга.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Многие естественные обнажения пограничных пермо-триасовых пород долины р. Ветлуга, которые изучались нашими предшественниками, к настоящему времени сильно заросли и запылились, поэтому вскрыть повторно все коренные выходы не представлялось возможным. Мы опробовали шесть разрезов, возраст которых

в последние годы был уточнен биостратиграфическим методом [Арефьев и др., 2017; Голубев и др., 2019; 2023; Davydov et al., 2020; Голубев, Наумчева, 2021]. Все изученные обнажения расположены на правом берегу р. Ветлуга в Воскресенском районе Нижегородской области, названия разрезов даны по близлежащим населенным пунктам: Сосновка, Сухоборка, Воскресенское, Знаменское, Асташиха, Прудовка (рис. 1). Залегание толщ осадочных пород во всех разрезах субгоризонтальное.

Разрез **Сосновка** суммарной мощностью 8 м выходит на поверхность фрагментарно (рис. 6). Нижняя часть разреза (1.5 м) представлена пестроцветной карбонатно-глинистой пачкой, обнажающейся на нижней пойме у самого уреза воды. Пачка сложена розовыми и серыми глинами с прослоями серых мергелей и известняков с корнями растений *Radicitis sukhonensis*. В отложениях обнаружены многочисленные остатки остракод и гастропод хорошей сохранности. По остракодам пачка датируется верхней частью комплексной зоны *Wjatkellina fragilina* — *Dvinella cyrta* быковского горизонта верхневятского подъяруса [Голубев и др., 2019; 2023]. Верхняя часть разреза была вскрыта небольшими канавами. Она представлена коричневыми глинисто-алевритовыми породами видимой мощностью 5 м. В этих отложениях ископаемые остатки не обнаружены, поэтому точный геологический возраст их не известен. Разрез Сосновка опробовался нами в двух естественных обнажениях и двух канавах в 2022 г.

Разрез **Сухоборка** располагается в 3.2 км западнее разреза Сосновка, изучен в нескольких обнажениях на берегу р. Ветлуга у западной и восточной окраин д. Сухоборка. Расстояние между крайними обнажениями 750 м. Сводный разрез мощностью 12 м сложен коричневыми, рыжевато-коричневыми и серыми песками и песчаниками, образующими две песчаные пачки мощностью 5 и 4–12 м (рис. 7). Песчаные пачки разделены коричневыми глинами и алевритами (1.5 м), литологически сходными с породами верхней глинисто-алевритовой пачки разреза Сосновка. В верхней части нижней песчаной пачки содержится прослой темно-бордовой (вишневой) бентонитовой глины мощностью 11–12 см (обн. 1827А, слой 3). В этой глине обнаружены конседиментационные зерна циркона, по которым методом U-Pb CA-ID-TIMS получен единственный на данный момент для осадочных пермо-триасовых толщ Восточно-Европейской платформы изотопный возраст 253.95 ± 0.06 млн лет [Davydov et al., 2020]. Верхняя песчаная пачка залегает эрозионно,

местами полностью срезает алевроитово-глинистую и нижнюю песчаную пачки, слагая весь берег р. Ветлуга, однако из-за плохой обнаженности ее контакт с нижележащими пачками нигде не наблюдался. В основании верхней песчаной пачки присутствуют остатки тетрапод и рыб, которые свидетельствуют о вятском возрасте отложений [Голубев и др., 2019]. В прослоях красноцветных глин в верхней части верхней песчаной пачки встречены ядра остракод комплексной зоны *Wjatkellina fragiloides* – *Suchonella typica* нефёдовского горизонта верхневятского подъяруса [Голубев и др., 2019]. Разрез опробовался в двух канавах и трех естественных обнажениях в течение полевых сезонов 2018, 2020 и 2022 гг.

Разрез **Воскресенское** расположен в 21.5 км северо-западнее разреза Сухоборка в береговом склоне р. Ветлуга в пос. Воскресенское. Разрез сложен нижней пестроцветной глинистой (1 м), нижней красноцветной песчаной (7.5 м), верхней пестроцветной глинистой (5.5 м) и верхней красноцветной песчаной (7 м) пачками (рис. 8). В нижней глинистой и нижней песчаной пачках обнаружены остатки тетрапод, а в нижней части верхней глинистой пачки – остатки остракод очень плохой сохранности. По биостратиграфическим данным нижняя часть верхней глинистой пачки и нижележащие отложения датируются верхней частью нефёдовского горизонта (слои с *Suchonella clivosa*, средняя часть зоны *Wjatkellina fragiloides* – *Suchonella typica*) [Голубев, Наумчева, 2021]. Разрез Воскресенское опробовался в двух канавах и двух естественных обнажениях в 2019 г.

Разрез **Асташиха** расположен в 12 км на северо-запад от разреза Воскресенское в сильно задернованном и заросшем деревьями склоне берега р. Ветлуга. Весь разрез сложен красноцветными песчаниками и глинами с сероцветными и пестроцветными прослоями (рис. 10). Выделяются четыре пачки (снизу вверх): глинисто-песчаная (5.5 м), нижняя глинистая (6.5 м), песчаная (4.5–5.5 м) и верхняя глинистая (2 м). По всему разрезу нижней глинистой пачки (Лозовский, 1983; Граница..., 1998; Лозовский и др., 2015), а также в средней части глинисто-песчаной пачки распространены остатки остракод комплексной зоны *Suchonellina mera* – *Gerdalia variabilis* вохминского горизонта. В нижней глинистой пачке обнаружены скелет дицинодонта и остатки рыб, а в песчаной пачке – раковины конхострак. Глинисто-песчаная и нижняя глинистая пачки являются стратотипом асташихинской пачки вохминской свиты, песчаная пачка

сопоставляется с рябинской пачкой вохминской свиты [Блом, 1968; 1974; Лозовский, 1983; Граница..., 1998; Лозовский и др., 2015]. Отбор образцов производился из трех канав в течение полевых исследований 2016, 2019 и 2020 гг.

Разрез **Знаменское** расположен в 800 м ниже по течению от разреза Асташиха и по строению аналогичен последнему (рис. 9). Нижняя часть разреза сложена пестроцветными и красноцветными песчаниками (2.5 м) и глинами (не менее 1 м) асташихинской пачки вохминской свиты, верхняя часть (не менее 5 м) – коричневыми песками, песчаниками и конгломератами рябинской пачки вохминской свиты. В асташихинских глинах присутствуют остатки остракод, а в конгломератах рябинской пачки – остатки рыб и тетрапод вохминского горизонта нижеиндского подъяруса нижнего триаса [Блом, 1968; 1974; Лозовский, 1983; Граница..., 1998; Лозовский и др., 2015; Новиков, 2018]. Нами, во время полевых работ 2020 г., была опробована только асташихинская пачка.

Разрез **Прудовка** расположен в 4.6 км северо-западнее разреза Асташиха и сложен снизу вверх нижней красноцветной песчаной пачкой (3.5 м), пестроцветной песчано-глинистой пачкой (4 м), красноцветной глинистой пачкой (6 м) и верхней красноцветной песчаной пачкой (не менее 4.5 м) (рис. 11). Суммарная мощность разреза около 20 м. В кровле нижней песчаной пачки присутствуют остатки остракод плохой сохранности, свидетельствующие о довохминском возрасте отложений: быковский – жуковский горизонты [Арефьев и др., 2017]. По изотопно-геохимическим характеристикам и литостратиграфическим данным песчано-глинистая и глинистая пачки соответствуют асташихинской пачке вохминской свиты разреза Асташиха, а верхняя песчаная пачка – рябинской пачке вохминской свиты [Арефьев и др., 2017]. Пробы отбирались из естественных выходов асташихинской пачки и нижней песчаной пачки во время полевых сезонов 2016, 2017 и 2020 гг.

МЕСТНАЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ СХЕМА ПЕРМИ–ТРИАСА

Верхнепермские и нижнетриасовые отложения, выходящие на дневную поверхность в нижнем течении р. Ветлуга, в настоящее время принято расчленять на замошниковскую, луптюгскую, моломскую и вохминскую свиты. В составе вохминской свиты выделяются две подсвиты, нижняя из которых подразделяется на асташихинскую и рябинскую пачки [Граница...,

1998; Лозовский и др., 2015]. Стратотипическим районом всех этих свит является бассейн верхнего течения р. Ветлуга, расположенный в 250 км северо-восточнее территории наших исследований. В верховьях р. Ветлуга З.И. Бороздиной и А.Г. Олферьевым в объеме вятского горизонта верхней перми (ныне – вятский ярус) первоначально были выделены три пачки (снизу вверх): песчано-глинисто-карбонатная (25–51 м), карбонатная (29–42 м) и глинисто-карбонатная (36–90 м) [Бороздина, Олферьев, 1970; Олферьев, Анохина, 1979; Олферьев и др., 1987]. Впоследствии эти пачки получили собственные названия: замошниковская толща, луптюгская и моломская пачки [Решение..., 1990], а затем переведены в ранг свит в составе вятской серии [Лозовский, Горбаткина, 2001]. По биостратиграфическим данным, они соответствуют вятскому горизонту (ныне – быковский, нефёдовский и жуковский горизонты) [Бороздина, Олферьев, 1970; Лозовский, Горбаткина, 2001]. Общая мощность замошниковской, луптюгской и моломской свит в стратотипическом районе довольно стабильна и обычно составляет 80–100 м [Олферьев и др., 1987]. Точный возраст свит не ясен. Судя по их мощностям, положению в разрезе и биостратиграфической характеристике [Бороздина, Олферьев, 1970; Шелехова, 2001] замошниковская свита соответствует быковскому горизонту, луптюгская свита – пограничным отложениям быковского и нефёдовского горизонтов, моломская пачка – верхней части нефёдовского и жуковскому горизонтам.

Вятская серия верховьев р. Ветлуга сформировалась в эпоху очередной активизации Палеоуральской речной системы, в результате которой аллювиально-озерная обстановка осадконакопления в данном районе сменилась обстановкой аллювиальной. В соседних районах – бассейне р. Вятка и бассейне р. Сухона – этому же событию отвечают вятская серия (в составе быковской и нефёдовской свит, общая мощность 115–120 м) и саларёвская свита (мощность 80–85 м). Вятская серия на р. Вятке и саларёвская свита на р. Сухоне также охватывают быковский (саларёвская свита включает только верхнюю его часть), нефёдовский и жуковский горизонты вятского яруса.

Первая схема детального расчленения пермоярусных отложений бассейна нижнего течения р. Ветлуга была предложена Г.И. Бломом, который в 1958–1959 гг. проводил здесь геологические работы масштаба 1:200 000 [Блом, 1966]. Выходящие на поверхность верхнепермские

и нижнетриасовые образования он разделил на три толщи: “северодвинский надгоризонт” (карбонатно-глинистая), “вятский надгоризонт” (песчано-глинистая) и “рябинский горизонт” (глинисто-песчаная). В верхней части “северодвинского надгоризонта” были выделены две пачки (снизу вверх): глинисто-мергельная (12 м) и алевроитово-глинистая (до 10 м). Глинисто-мергельная пачка (у Г.И. Блома – свита) сложена глинами, мергелями и известняками с многочисленными ископаемыми остатками брюхоногих и двустворчатых моллюсков и остракод. Литологически она хорошо отличается от подстилающих и перекрывающих отложений и является надежным местным маркирующим горизонтом для структурного картирования. По кровле этой пачки проведены стратоизогины на геологической карте масштаба 1:200 000 [Блом, 1966]. В разрезе Сосновка глинисто-мергельная пачка слагает нижнюю часть разреза, а алевроитово-глинистая – верхнюю. Подошва “рябинского горизонта” (ныне – рябинская пачка вохминской свиты) была проведена Г.И. Бломом в основании толщи коричневых песков и песчаников с остатками амфибий *Tupilakosaurus*. Эти отложения слагают верхнюю часть изученных нами разрезов Знаменское, Асташиха и Прудовка. Впоследствии в терминальных глинах “вятского надгоризонта” разрезов Асташиха и Знаменское были обнаружены остракоды вохминского горизонта, что послужило основанием для выделения их в самостоятельные асташихинские слои вохминского горизонта (ныне – асташихинская пачка вохминской свиты) [Лозовский, 1983; Строк и др., 1984]. Все коренные отложения разрезов Асташиха и Знаменское, выходящие на поверхность ниже рябинской пачки, были отнесены к асташихинской пачке.

В нижнем течении р. Ветлуга замошниковская, луптюгская и моломская свиты впервые были выделены В.Р. Лозовским [Граница..., 1998], который глинисто-мергельную пачку “северодвинского надгоризонта” Г.И. Блома отнес к путятинской свите котельничской серии северодвинского горизонта, а в ее кровле обозначил нижнюю границу замошниковской свиты. К замошниковской свите были отнесены все коренные отложения, выходящие на поверхность у д. Сухоборка. Нижняя граница моломской свиты была проведена по подошве нижней песчаной пачки разреза Воскресенское. Граница моломской и вохминской свит (нижняя граница асташихинской пачки) была проведена в основании верхней песчаной пачки разреза Воскресенское, при этом было отмечено, что в разрезе

Асташиха данная граница находится примерно в 5 м ниже уреза воды в р. Ветлуга. На основании биостратиграфических и магнитостратиграфических данных, замошниковская свита была сопоставлена с нижней частью быковских слоев (ныне – горизонта), луптюгская – с верхней частью быковских и нижней частью нефёдовских слоев, а моломская – с верхней частью нефёдовских слоев.

Впоследствии на основе новой интерпретации палеомагнитных данных было сделано заключение, что замошниковская, луптюгская и моломская пачки нижнего течения р. Ветлуга соответствуют только верхней части вятского яруса – аналогам нефёдовских слоев бассейна р. Вятка [Балабанов, Муравьев, 2010; Лозовский и др., 2015], то есть нефёдовскому и жуковскому горизонтам. Это заключение подтверждают новейшие биостратиграфические данные, согласно которым глинисто-мергельная пачка “северодвинского надгоризонта” Г.И. Блома отвечает терминальным слоям быковского горизонта нижневятского подъяруса, а вышележащая довохминская песчано-глинистая толща – нефёдовскому и жуковскому горизонтам верхневятского подъяруса [Голубев и др., 2019; 2023; Davydov et al., 2020; Голубев, Наумчева, 2021]. Таким образом, одноименные свиты в нижнем течении и верхнем течении р. Ветлуга имеют разное стратиграфическое положение. Не совпадают и их литологические характеристики: в нижнем течении р. Ветлуга отложения существенно более песчаные, здесь довольно обычны мощные (до 10 м), протяженные (сотни метров) песчаные линзы руслового аллювиального генезиса. Все эти данные не позволяют нам выделять замошниковскую, луптюгскую и моломскую свиты в районе нашего исследования.

В отношении выделения вохминской свиты вопросов не возникает, так как в нижнем течении р. Ветлуга, как и на остальных территориях юго-востока Московской синеклизы, вохминская свита представлена красноцветными песчано-глинистыми отложениями с многочисленными горизонтами весьма характерных палеопочв, не известных в более древних отложениях [Голубев и др., 2012]. В разрезе Асташиха такие палеопочвы появляются в слое 13 обнажения 1917 (рис. 10), а в разрезе Прудовка – в слое 24 (рис. 11). Однако существуют определенные проблемы с распознаванием рябинской пачки вохминской свиты. Стратотип этой пачки располагается на правом берегу р. Вятка возле ур. Ряби (Нагорский р-н Кировской обл.), в 400 км на северо-восток от района наших исследований.

Предполагается, что рябинская пачка (горизонт, слой) представляет собой циклит, отражающий один из этапов седиментации в вохминское время [Блом, 1968; 1974; Строк и др., 1984; Граница..., 1998; Лозовский и др., 2015]. Начинаясь этот этап активизацией Палеоуральской речной системы, которая в разрезах часто зафиксирована в виде мощного конгломератово-песчаного слоя. Именно с такого слоя и начинается рябинская пачка в стратотипе. В результате сложилась традиция нижнюю границу рябинского циклита в конкретных разрезах проводить в основании конгломератово-песчаных слоев, которые имеют русловой аллювиальный генезис. Но подобная корреляция может приводить к серьезным стратиграфическим ошибкам. Русловые отложения по простиранию переходят в пойменные, которые в пермо-триасовое время на Восточно-Европейской платформе отличались значительно более широким площадным распространением, чем русловые. Очевидно, что могут существовать разрезы, в которых в рябинском циклите русловые песчаные отложения занимают небазальное положение (то есть рябинский циклит начинается с пойменных глинистых отложений) или русловые песчаные отложения отсутствуют вовсе (и за рябинские ошибочно принимают русловые песчаники других циклитов). Чтобы убедиться в том, что на Московской синеклизе во всех разрезах под рябинской пачкой понимается один и тот же стратон, необходимо провести детальные стратиграфические исследования разрезов на современном уровне и, в первую очередь, стратотипа рябинской пачки. Поскольку такие исследования еще не проведены, и у нас нет данных, которые свидетельствовали бы, что рябинская пачка в низовьях р. Ветлуга и рябинская пачка в стратотипе – стратиграфически разные слои, в этой работе мы сохраняем за красноцветной глинисто-песчаной пачкой, слагающей верхнюю часть изученного нами сводного разреза, название “рябинская”.

Довохминские слои исследованных нами разрезов могут быть объединены в две пачки: нижнюю, пестроцветную карбонатно-глинистую (быковский горизонт) и верхнюю, красноцветную песчано-глинистую (нефёдовский и жуковский горизонты). Первая пачка выходит на поверхность только в районе д. Сосновка, где она слагает нижнюю часть разреза. Эта пачка богата ископаемыми остатками остракод очень хорошей сохранности, формировалась она в условиях аллювиально-озерной равнины. Песчано-глинистая пачка сложена преимущественно отложениями аллювиального генезиса.

Сероцветные карбонатные прослои в ней единичны и маломощны (сантиметры – первые десятки сантиметров). Остракоды встречаются относительно редко и представлены остатками плохой сохранности (обычно ядрами). Таким образом, переход от нижней пачки к верхней отражает смену обстановки осадконакопления с аллювиально-озерной на аллювиальную. Эта смена в районе исследований произошла на границе быковского и нефёдовского времен, то есть существенно позже, чем на верхней Ветлуге, Сухоне и Вятке, но раньше, чем в бассейне р. Оки, где подобная смена обстановок осадконакопления произошла в самом конце жуковского времени (здесь ей отвечает граница обнорской и вохминской свит [Голубев и др., 2012]).

Карбонатно-глинистая и песчано-глинистая пачки уверенно прослеживаются в соседних районах. На западе, юге и востоке карбонатно-глинистая пачка закартирована в составе путятинской свиты [Уланов, Уланова, 1976; Фридман, 1999; Кочергина и др., 2018], на севере – как нижняя пачка вятской серии [Глушнев, Кочергина, 1999]. Однако эта пачка не может быть отнесена к путятинской свите, поскольку в стратотипической местности, в бассейне р. Вятка, данная свита имеет более древний возраст – путятинский горизонт, верхнесеверодвинский подъярус. Песчано-глинистая пачка на западе закартирована нефёдовской свитой [Кочергина и др., 2018], на юге и востоке – вятским горизонтом [Уланов, Уланова, 1976; Фридман, 1999], на севере – верхней пачкой вятской серии [Глушнев, Кочергина, 1999]. По возрасту – нефёдовский и жуковский горизонты – она действительно соответствует нефёдовским слоям (свите, пачке) бассейна р. Вятка, но в отличие от последней более песчаная и менее насыщена карбонатными стяжениями.

Таким образом, в бассейне нижнего течения р. Ветлуга в настоящее время не может быть установлен ни один из местных стратонав (серия, свита, пачка), выделенных на территории Московской синеклизы. Становится очевидным, что для этого района необходима разработка местной стратиграфической шкалы.

ОТБОР ОБРАЗЦОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор шtuфов в полевых условиях производился с четкой привязкой к слоям изучаемых разрезов, описанных ранее в работах [Арефьев и др., 2017; Голубев и др., 2019; 2023; Davydov et al., 2020] и уточненных в ходе

четырёх проведенных экспедиций 2018–2022 гг. В связи с высокой задернованностью склонов отбор образцов выполнялся из зачисток (канав) размером 50 см в ширину и до 10 м в длину (рис. 1а–1б); глубина канав составляла 0.5–2.5 м. Ориентированные шtuфы для палеомагнитных исследований отбирались вручную с помощью молотка и шпателя, ориентировка образцов производилась горным компасом; местное магнитное склонение учитывалось согласно модели IGRF (13-ое поколение). Слабоцементированные горные породы были опробованы с помощью пластиковых и стеклянных контейнеров, которые вдавливались в толщу. Вся палеомагнитная коллекция составила 700 ориентированных шtuфов: Сосновка – 20 шт., Сухоборка – 53 шт., Воскресенское – 130 шт., Знаменское – 25 шт., Асташиха – 262 шт., Прудовка – 210 шт.

Из каждого шtuфа, при помощи сухой или мокрой резки алмазным диском, было выпилено 1–2 палеомагнитных образца, форма которых приближалась к кубической с ребром 2 см. Для каждого образца измерялся вес, на который впоследствии нормировались величины естественной остаточной намагниченности и магнитной восприимчивости. Анизотропия магнитной восприимчивости (AMB) образцов измерялась в петромагнитной лаборатории МГУ имени М.В. Ломоносова на каппабридже KLY-4S (AGICO, Чехия) в поле 200 А/м с последующей интерпретацией результатов в программе Anisoft 4.2. Для двух образцов из каждого разреза, на каппабридже KLY-4S с использованием высокотемпературной приставки CS-3, измерялась зависимость магнитной восприимчивости от температуры; обработка полученных результатов выполнялась в программе Cureval8. Минеральный состав пород изученных разрезов (1–2 образца из каждого разреза) определялся методом порошковой рентгеновской дифрактометрии с использованием дифрактометра STADI-MP (STOE, Германия), расположенного в филиале ИФЗ РАН – геофизической обсерватории «Борок» (аналитик Н.А. Афиногенова). Изучение фазового состава и кристаллической структуры осуществлялось из картотеки БД ICDD PDF-2 с уточнением по методу Ритвельда. Анализ каждого образца проводился для двух дублей: один представлял собой исходную породу, а второй был предварительно прогрет до 700°C (выдержка 1 час) в воздушной среде для оценки минеральных превращений. Минеральный состав определялся как для породы в целом, так и для магнитной фракции, выделение

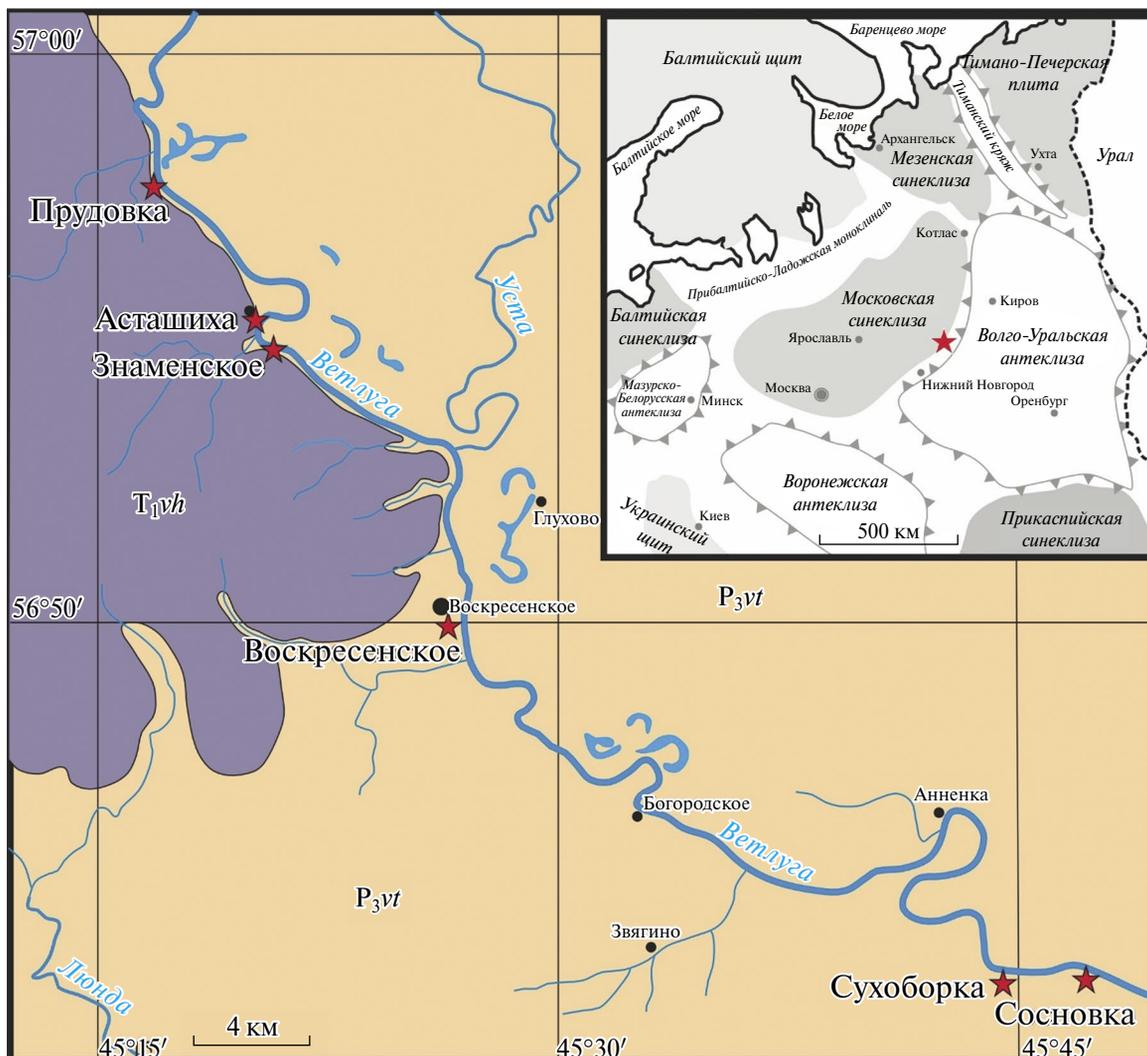


Рис. 1. Расположение изученных разрезов на геологической карте района нижнего течения р. Ветлуга (сверху) и фотографии некоторых из изученных разрезов (снизу): (а) – Сухоборка, обн. 1827А; (б) – Асташиха, обн. 1918; (в) – Прудовка, обн. 1631В. Условные обозначения: P₃vt – быковский, нефёдовский и жуковский горизонты, T₁vh – вохминский горизонт. Врезка сверху справа: положение изученных разрезов (красная звезда) на схеме тектонического районирования Восточно-Европейской платформы.

которой производилось в водной среде с помощью неодимового магнита с последующей сепарацией ультразвуком для устранения примесей от силикатной матрицы.

Лабораторные палеомагнитные исследования проводились в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН на оборудовании ЦКП ИФЗ РАН [Veselovskiy et al., 2022]. Для всех образцов была проведена температурная магнитная чистка, которая выполнялась до 680°C, число шагов чистки в среднем составляло 12, величина шага чистки – от 50 до 10°C. Для размагничивания образцов использовалась немагнитная печь MMTD-80 (Magnetic Measurements, Великобритания) с величиной некомпенсированного поля 5–10 нТл. На некоторых образцах-дублях из каждого разреза выполнялось размагничивание вектора \mathbf{J}_n переменным магнитным полем амплитудой до 110 мТл: для этого использовалась установка переменного поля (2G Enterprises, США), выполненная в виде приставки к криогенному магнитометру. Измерения остаточной намагниченности образцов проводились на криогенном (SQUID) магнитометре (2G Enterprises, США), установленном в немагнитной комнате (Lodestar Magnetics, США). Обработка измерений остаточной намагниченности выполнялась при помощи пакета программ Р. Энкина [Enkin, 1994] и PMTools [Ефремов, Веселовский, 2023], использующих метод главных компонент (РСА) [Kirschvink, 1980] для выделения компонент естественной остаточной намагниченности (ЕОН).

ПЕТРО- И ПАЛЕОМАГНИТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ РАЗРЕЗОВ

Петромагнетизм

Анизотропия магнитной восприимчивости измерялась для всех образцов с целью получения информации о магнитной текстуре породы и последующих выводов о режиме осадконакопления, контроля корректной ориентировки образца и для оценки влияния на магнитную текстуру способа отбора образца (штуф или вдавливаемый в породу контейнер). Если оси эллипсоида АМВ конкретного образца имели ориентировку нехарактерную для ближайших образцов или разреза в целом, то данный образец исключался из дальнейших исследований.

Степень АМВ (P_j) составляет в разрезе Сосновка около 1%, не более 6% в разрезе

Суходорка, не более 8% в разрезе Знаменское и не более 14% в разрезах Воскресенское, Асташиха и Прудовка (рис. 2). Эллипсоиды АМВ, за редким исключением, имеют уплощенную форму. Расположение осей эллипсоидов АМВ во всех разрезах, кроме разреза Сосновка, схожее: минимальные оси ориентированы субвертикально, а промежуточные и максимальные равномерно распределены в горизонтальной плоскости. Такой характер магнитной текстуры свидетельствует о накоплении пород перечисленных разрезов в спокойных гидродинамических условиях [Hrouda, Tarling, 1993]. Магнитная текстура глинистых известняков и мергелей в основании разреза Сосновка отличается от остальных разрезов и вероятнее всего обусловлена их литологией и, соответственно, минеральным составом, на что указывают существенно более низкие значения степени анизотропии ($P_j < 1\%$) (рис. 2) и удельной магнитной восприимчивости (табл. 1). На данном этапе исследований мы не можем предложить сколько-нибудь обоснованную интерпретацию магнитной текстуры пород разреза Сосновка, однако, учитывая малое значение P_j , склонны считать, что она не оказывает значимого влияния на палеомагнитную запись.

Минералы-носители намагниченности в исследуемых породах диагностировались при помощи кривых зависимости магнитной восприимчивости от температуры (рис. 3) и методом порошковой рентгеновской дифрактометрии (ГО «Борок») (табл. 2). Практически во всех изученных образцах кривые нагрева и охлаждения подобны: минеральные изменения при нагреве в воздушной среде минимальны, а по характерным перегибам термомагнитных кривых диагностируются магнетит (550–580°C) и маггемит и/или гематит (675–690°C). Отметим, что перегиб термокривых в районе 300–350°C связан, возможно, с образованием маггемита при термической диссоциации лепидокрокита, которая происходит в интервале 150–250°C. Однако лепидокрокит не был обнаружен другими аналитическими методами, поэтому предложенная интерпретация неоднозначна. Результаты рентгеновской дифрактометрии (табл. 2) свидетельствуют о наличии в магнитной фракции исходных образцов горных пород таких минералов, как гематит и магнетит разной степени окисления, а также небольшого количества гемоильменита; после нагрева до 700°C в воздушной среде в магнитной фракции увеличивается содержание маггемита и гематита.

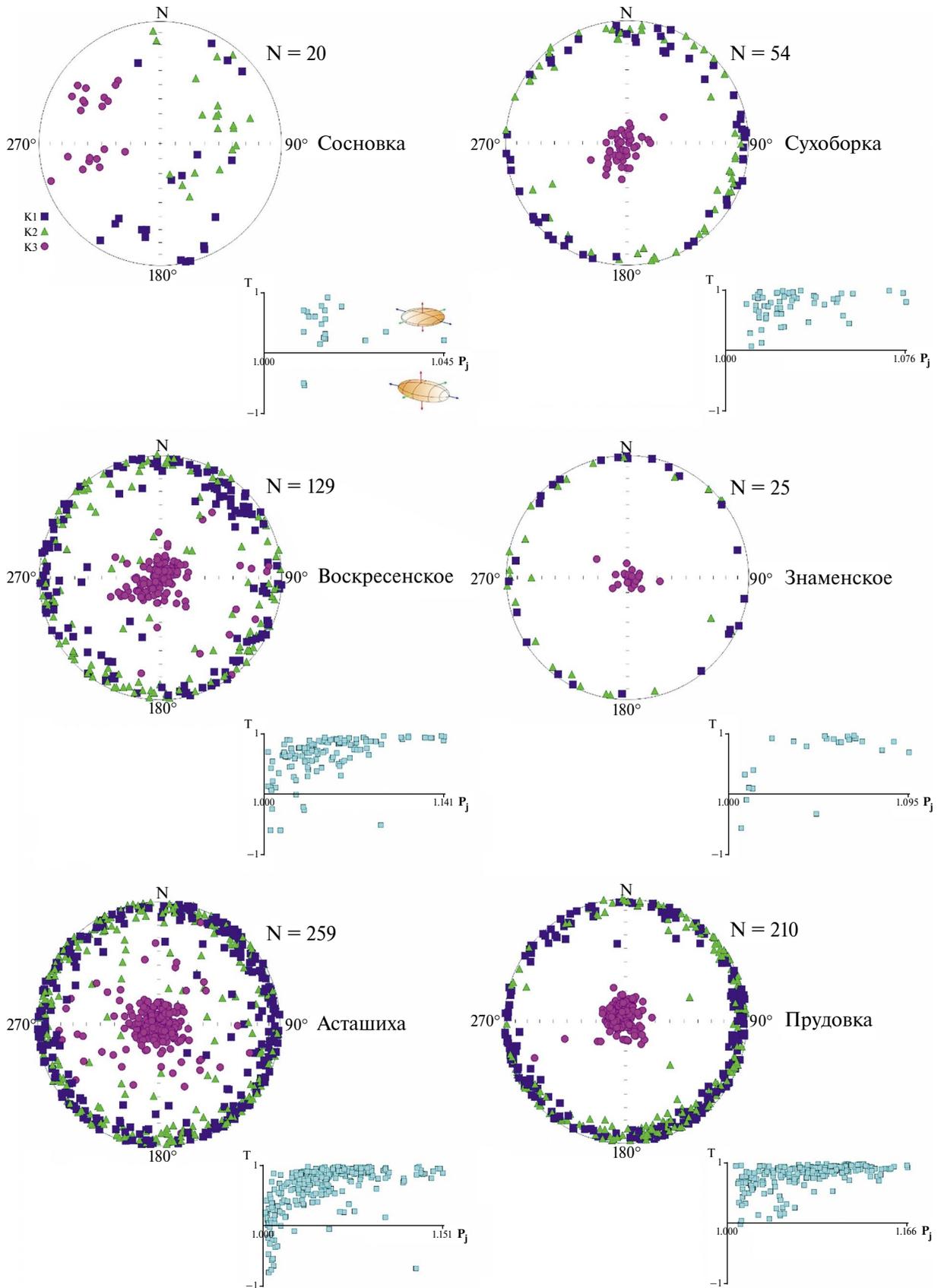
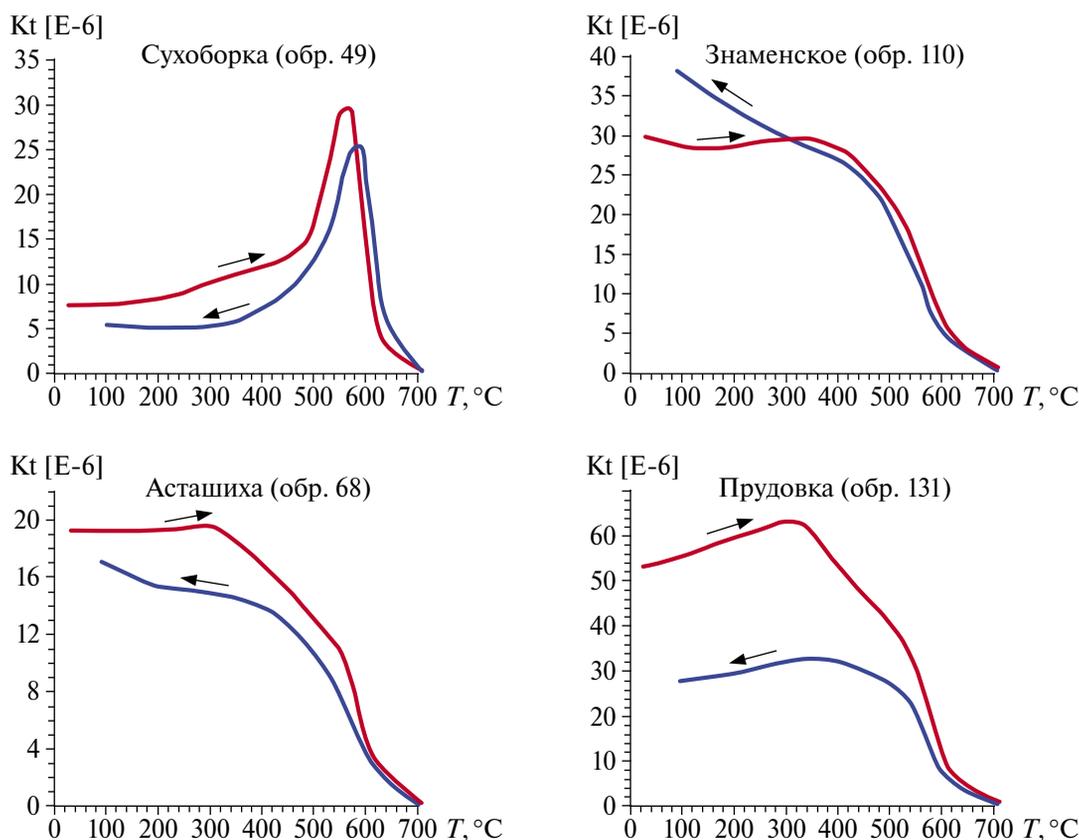


Рис. 2. Анизотропия магнитной восприимчивости в породах изученных разрезов и зависимость параметра формы (T) от степени анизотропии (P_j).

Таблица 1. Скалярные петромагнитные характеристики пород изученных разрезов

| Разрез | Удельная магнитная восприимчивость, k (10^{-7} , м ³ /кг) | | | Удельная естественная остаточная намагниченность, J_n ($A \cdot m^2/kg$) 10^{-6} | | | Фактор Кёнигсбергера, Q | | |
|---------------|---|-----------|----------|--|------------|-----------|---------------------------|-----------|----------|
| | k_{min} | k_{max} | k_{cp} | J_{nmin} | J_{nmax} | J_{ncp} | Q_{min} | Q_{max} | $Ш_{cp}$ |
| Сосновка | 0.32 | 4.72 | 0.75 | 0.73 | 15.60 | 2.53 | 0.43 | 1.07 | 0.68 |
| Сухоборка | 0.59 | 6.23 | 1.97 | 0.66 | 31.04 | 6.59 | 0.22 | 3.72 | 0.76 |
| Воскресенское | 0.49 | 16.60 | 5.69 | 0.12 | 191.02 | 14.70 | 0.03 | 4.54 | 0.44 |
| Знаменское | 1.30 | 5.41 | 3.36 | 4.18 | 50.41 | 18.60 | 0.60 | 1.09 | 1.87 |
| Асташиха | 0.25 | 18.40 | 3.96 | 0.01 | 388.83 | 18.37 | 0.13 | 8.29 | 0.87 |
| Прудовка | 1.19 | 62.24 | 9.30 | 2.24 | 1080.01 | 237.00 | 0.35 | 19.33 | 5.41 |

**Рис. 3.** Температурная зависимость магнитной восприимчивости наиболее типичных образцов горных пород некоторых из изученных разрезов. Нагрев – красная кривая, охлаждение – синяя кривая.

Максимальные, минимальные и средние значения скалярных магнитных параметров – удельной остаточной намагниченности (J_n), удельной магнитной восприимчивости (K_m) и фактора Кёнигсбергера (Q) – для каждого разреза приведены

в табл. 1, а изменение этих параметров по мощности разрезов показано на рис. 6–рис. 11. Обращает на себя внимание резкое увеличение величин перечисленных скалярных петромагнитных характеристик в разрезе Асташиха, совпадающее

Таблица 2. Минеральный состав пород изученных разрезов по результатам порошковой рентгеновской дифрактометрии (вес, %)

| Разрез (образец) | Минеральная фракция | | Магнитная фракция | |
|----------------------|---|--|---|--|
| | Исходный образец | После нагрева до 700°C | Исходный образец | После нагрева до 700°C |
| Сухоборка (49) | Нонтронит 96.2% Кварц 3.8% | Кварц Гематит (мало) | — * | — |
| Сухоборка (67) | Кварц 54.4% Кальцит 17.9% Альбит 10.4% Анкерит 4.2% Лепидолит + Мусковит 9.2% Микроклин 3.9% | Кварц 56.7% Кальцит 14.3% Альбит 10.5% Мусковит 13.3% Микроклин 4.1% Анкерит 1.1% | Гематит 46.11% Сильноокисленный магнетит** 46.20% Гемоильменит 7.69% | Гематит 100% |
| Асташиха (68) | Кварц 48.1% Кальцит 19.1% Мусковит 8.2% Альбит 10.6% Микроклин 5.2% Нонтронит 4.5% Анкерит 4.3% | Кварц 54.4% Кальцит 15.8% Мусковит 11.3% Альбит 10.2% Микроклин 5.0% Анкерит 3.3% | Сильноокисленный магнетит** 62.49% Гематит 37.51% Гемоильменит ≈ 5% | Гематит 100% |
| Сосновка (76/75b) | Кальцит 67.5% Анкерит 17.3% Кварц 11.7% Альбит 3.5% | Кальцит 73.2% Анкерит 12.3% Кварц 13.4% Альбит 1.1% | — | — |
| Сосновка (88/88a) | Кварц 57.6% Альбит 13.7% Мусковит 10.3% Микроклин 4.5% Нонтронит 12.4% Вермикулит 1.5% | Кварц 63.5 % Альбит 13.6% Мусковит 15.2% Микроклин 7.7% | Слабоокисленный магнетит 43.97% Сильноокисленный магнетит** 29.35% Гематит 26.67% | — |
| Знаменское (110) | Кварц 68.9% Кальцит 8.2% Альбит 12.4% Микроклин 7.9% Мусковит 2.6% | Кварц 66.8% Кальцит 8.3% Альбит 13.0% Микроклин 7.8% Мусковит 4.1% | Сильноокисленный магнетит** 46.57% Гематит 39.70% Гемоильменит 13.73% | Гематит 69.75% Гемоильменит 18.57% Маггемит 11.68% |
| Прудовка (131) | Кварц 51.0% Кальцит 14.9% Альбит 10.8% Микроклин 4.1% Мусковит 8.1% Нонтронит 9.0% Анкерит 2.1% | Кварц 54.7% Кальцит 14.8% Альбит 10.7% Микроклин 6.1% Мусковит 12.2% Нонтронит 1.5% | Сильноокисленный магнетит** 73.93% Гематит 25.20% Анатаз 0.87% | Гематит 58.07% Маггемит 41.93% |

Примечания: * — малая концентрация магнитной фракции в образце не позволила определить содержание магнитных минералов достаточно надежно; ** — магнетит, окисленный почти до маггемита.

с границей перми и триаса (асташихинской и рябинской пачек). Подобное поведение скалярных магнитных параметров от перми к триасу не раз отмечалось в разрезах ВЕП [Граница..., 1998; Фетисова и др., 2022] и связано с увеличением сноса терригенного материала в пограничное перм-триасовое время с воздымавшегося Уральского орогена [Арефьев и др., 2016; Чистякова и др., 2020]. Однако мы продолжаем придерживаться мнения, что, в отличие от, например, позиции авторов работы [Граница..., 1998], подобный скачок значений петромагнитных параметров сам по себе не может являться критерием для стратиграфического расчленения разрезов перми и триаса и выделения в них границы этих систем. Это мнение, в частности, подтверждает приведенная и обоснованная в данной работе стратиграфическая схема разреза Прудовка (рис. 11). Здесь, в интервале, соответствующем асташихинской пачке (триас), величины J_n и K_m сопоставимы с таковыми для рябинской пачки (пермь) в разрезе Асташиха (рис. 10).

Также отметим, что почти во всех изученных разрезах наблюдается корреляция между величиной петромагнитных параметров и литологией: более грубообломочные разности (песчаники) характеризуются повышенными значениями магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности в сравнении с породами более тонкой размерности.

Палеомагнетизм

Все образцы были подвергнуты ступенчатому терморазмагничиванию; для некоторых штуфов, на дублях образцов, была выполнена чистка переменным магнитным полем. Качество палеомагнитного сигнала для всех разрезов примерно одинаковое: 2/3 образцов несут хороший палеомагнитный сигнал, а 1/3 – хаотический и неинтерпретируемый. В большинстве случаев вектор ЕОН представлен одной или суммой двух компонент намагниченности (рис. 4). Наименее стабильная низкотемпературная компонента разрушается при нагревах до температур 180–300°C; ее направление близко к направлению современного геомагнитного поля в данном районе ($D = 14^\circ$, $I = 79^\circ$), и она, вероятнее всего, имеет вязкую природу. Стабильная, высокотемпературная компонента прямой и обратной полярности разрушается при нагревах до 570–680°C. В разрезе Сосновка породы нижней, карбонатно-глинистой пачки имеют характеристическую компоненту намагниченности (**ChRM**) обратной (**R**) полярности, а вышележащие коричневые

глины намагничены в эпоху прямой (**N**) полярности (рис. 5 и рис. 6). В разрезе Сухоборка все выделенные стабильные компоненты имеют прямую полярность (рис. 5 и рис. 7). В разрезе Воскресенское, в нижней части разреза, слои 1–5 и самом верхнем слое 19 характеристическая компонента прямой полярности, в слоях 6–17 – обратной полярности (рис. 5 и рис. 8). Особо отметим, что породы слоя 15 разреза Воскресенское характеризуются низкими наклонениями характеристической компоненты намагниченности. Это наблюдение позволяет выделить здесь зону аномальных палеомагнитных направлений, аналогичную ранее выделенной в породах разрезов Недуброво, Жуков овраг, Старое Слукино, Окский съезд [Фетисова и др., 2018а; 2022]. Породы разрезов Знаменское, Асташиха и Прудовка несут характеристическую компоненту намагниченности исключительно прямой полярности (рис. 5, рис. 9–рис. 11).

Аргументами в пользу древнего, перм-триасового возраста выделенных характеристических компонент намагниченности являются их биполярное распределение и близость полученного среднего палеомагнитного направления к ожидаемому перм-триасовому [Фетисова и др., 2018б]. Тест обращения [McFadden, McElhinny, 1990] выполняется для разреза Сосновка ($\gamma/\gamma_{cr} = 6.8^\circ/8.9^\circ$) и отрицателен для разреза Воскресенское ($\gamma/\gamma_{cr} = 13.6^\circ/8.3^\circ$). Дополнительным, хоть и косвенным аргументом в пользу первичности **ChRM** изученных пород можно считать характер анизотропии магнитной восприимчивости, свойственный для осадочных пород данного генезиса. Средние палеомагнитные направления **ChRM** для каждого из изученных разрезов были вычислены с селекцией по критерию “cut-off (45°)”, согласно которому единичные направления **ChRM**, расположенные на расстоянии более 45° дуги большого круга от среднего палеомагнитного направления, исключались из выборки для вычисления среднего. Полученные средние палеомагнитные направления и соответствующие им полюсы приведены в табл. 3 и на рис. 5.

В настоящее время к палеомагнитным данным, используемым для магнитостратиграфических построений, применяется ряд критериев качества и надежности, полный перечень которых приведен в работе [Opdyke, Channell, 1996]. Согласно [Дополнение..., 2000] наиболее значимыми из них являются следующие:

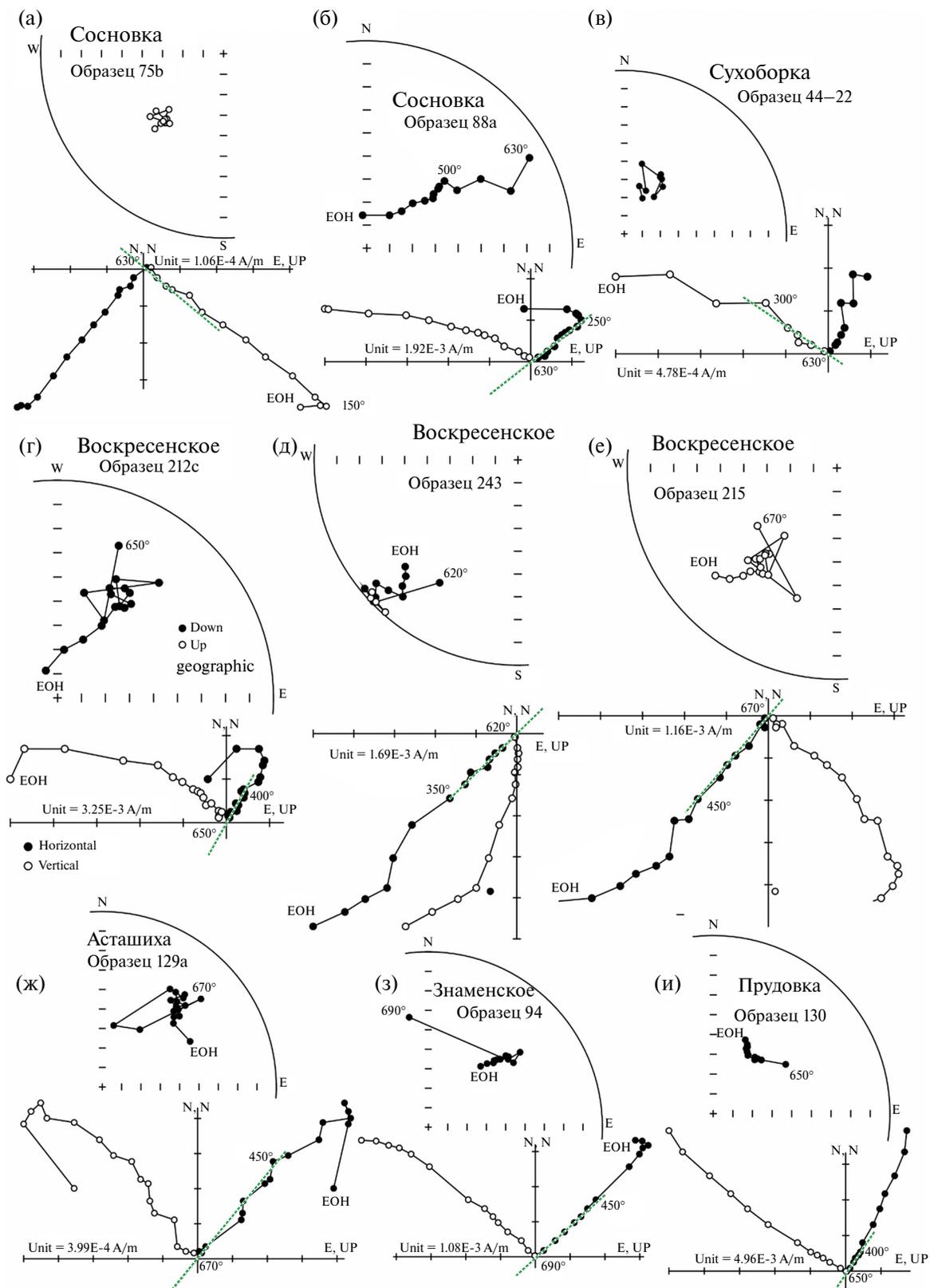


Рис. 4. Типичные результаты компонентного анализа J_n образцов из разрезов Сосновка (а)–(б); Сухоборка (в); Воскресенское (г)–(е); Асташиха (ж); Знаменское (з) и Прудовка (и); стереограммы и диаграммы Зийдервельда, иллюстрирующие процесс ступенчатой температурной магнитной чистки. Географическая (современная) система координат. (а), (е) – Примеры образцов с ChRM обратной полярности; (б)–(г), (ж)–(и) – примеры образцов с ChRM прямой полярности; (д) – пример образца с аномальным направлением ChRM.

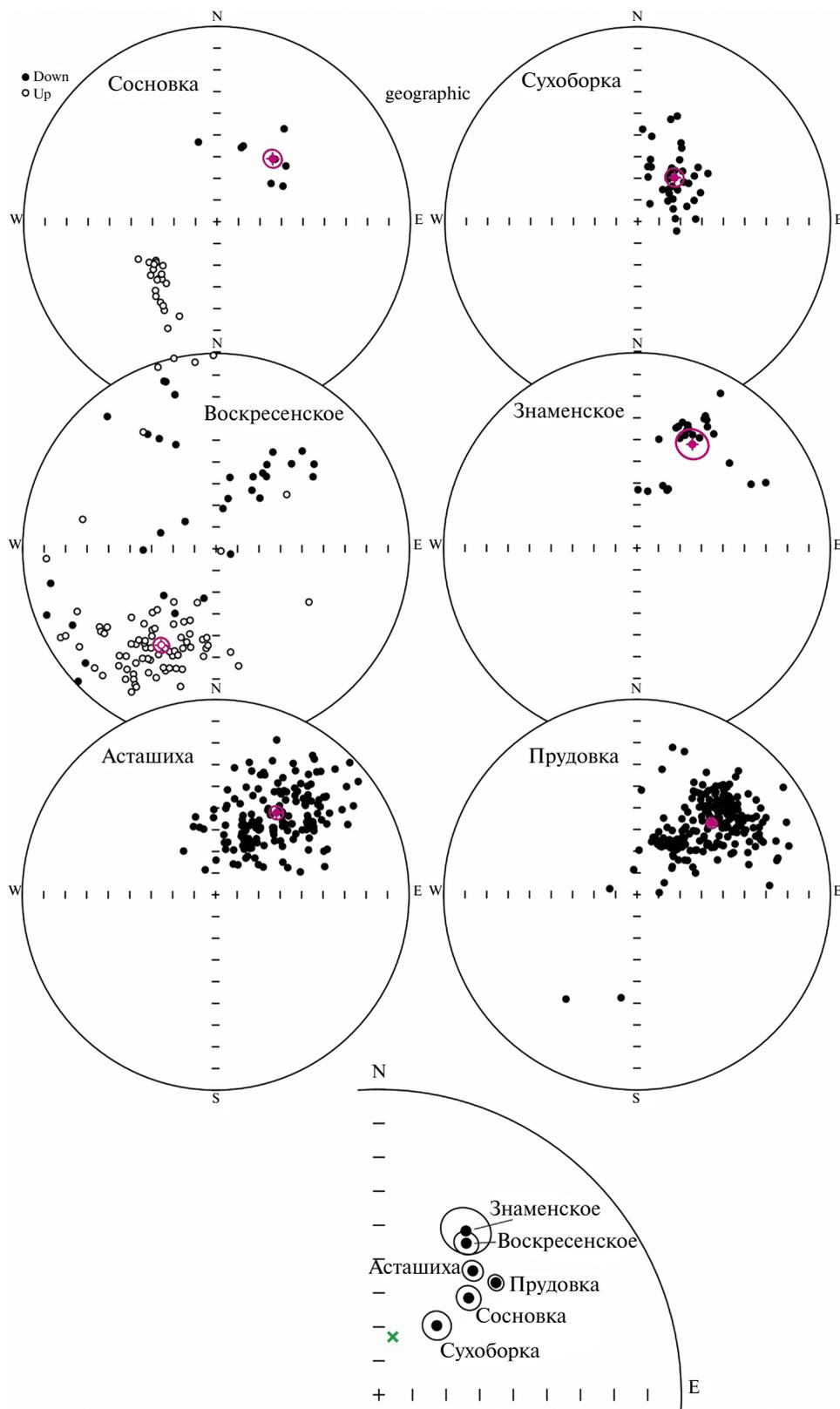


Рис. 5. Распределение единичных направлений характеристической компоненты намагниченности (ChRM) в изученных разрезах на стереопроекциях. Внизу – средние палеомагнитные направления для каждого из изученных разрезов (направления обратной полярности обращены), после применения критерия селекции cut-off “45°”, с кругами 95%-го доверия. Географическая система координат. Зеленый крест обозначает направление современного геомагнитного поля в районе исследований.

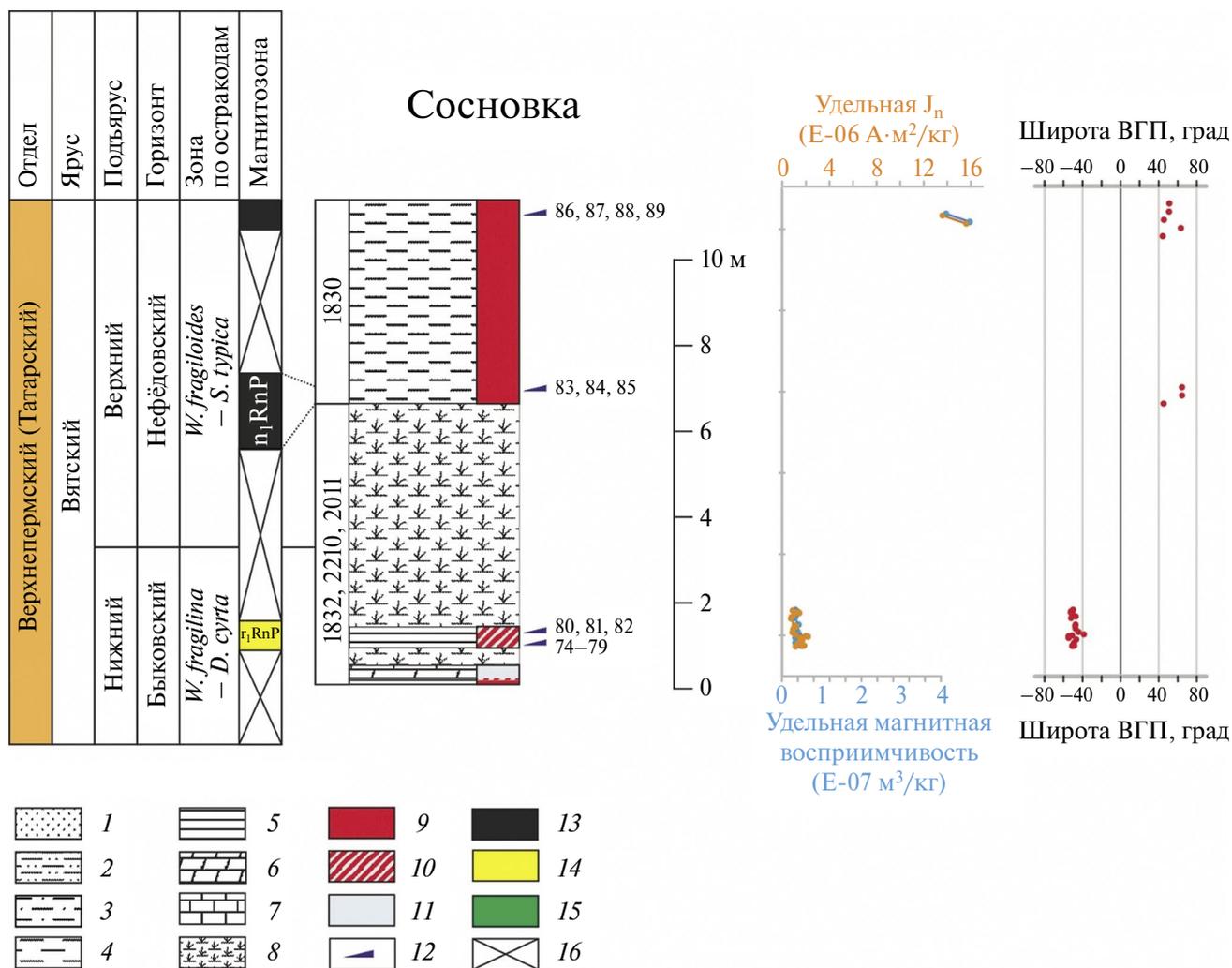


Рис. 6. Разрез Сосновка: стратиграфия, литология, схема опробования с номерами образцов, удельная естественная остаточная намагниченность (J_n) и удельная магнитная восприимчивость, широта виртуального геомагнитного полюса (ВГП). Условные обозначения: 1 – песчаник; 2 – алевролит песчаный; 3 – алевролит; 4 – алевролит глинистый; 5 – глина; 6 – мергель; 7 – известняк; 8 – осыпь; 9 – красноцветы; 10 – пестроцветы; 11 – сероцветы; 12 – уровни отбора палеомагнитных образцов; 13 – зоны прямой (N) полярности; 14 – зоны обратной (R) полярности; 15 – зона аномальных палеомагнитных направлений; 16 – данные о магнитной полярности отсутствуют.

– стратиграфическое положение разреза определено по крайней мере с точностью до яруса;

– образцы на палеомагнитные исследования привязаны послойно к стратиграфическому разрезу;

– проведено полное размагничивание образцов и выполнен компонентный анализ их естественной остаточной намагниченности;

– данные представлены в виде стратиграфической последовательности значений палеошироты виртуального геомагнитного полюса или углов склонения и наклонения (графиков этих величин возле колонки) для выделенной компоненты намагниченности, приведены

статистические параметры распределения направлений этой компоненты;

– исследованы магнитные минералы;

– результаты по крайней мере одного из тестов – складки, галек или обращения – положительны;

– имеются радиометрические датировки пород разреза;

– шкала полярности (последовательность магнитозон прямой и обратной полярности) построена по нескольким перекрывающимся разрезам.

Полученные нами данные удовлетворяют большинству из перечисленных выше критериев надежности, что определяет их пригодность для последующей интерпретации.

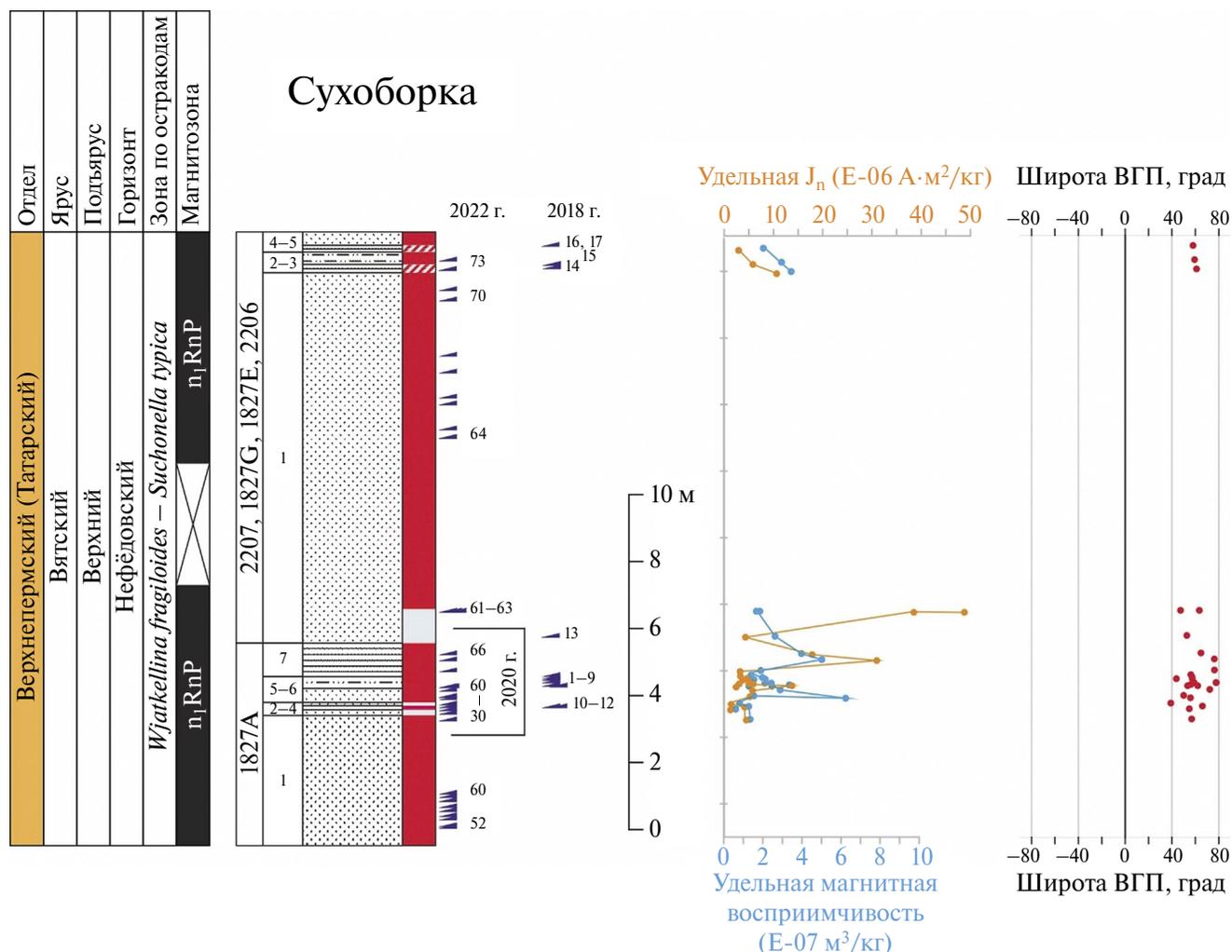


Рис. 7. Разрез Сухоборка: стратиграфия, литология, схема опробования с номерами образцов, удельная естественная остаточная намагниченность (J_n) и удельная магнитная восприимчивость, широта виртуального геомагнитного полюса (ВГП). Условные обозначения см. на рис. 6.

МАГНИТОСТРАТИГРАФИЯ

Знак магнитной полярности для интервалов разрезов определялся на основании значений широты виртуального геомагнитного полюса (ВГП) (*Plat*), вычисленной с использованием направления **ChRM** для каждого образца. Выделение в разрезах магнитозон прямой или обратной полярности производилось по (как минимум) двум последовательным образцам или штуфам. Идентификация зон магнитной полярности выполнялась в соответствии с региональной магнитостратиграфической шкалой, уточненной и детализированной ранее по разрезам Владимирской и Нижегородской областей [Фетисова и др., 2022; 2023].

Разрез Сосновка имеет в своем строении две зоны магнитной полярности (рис. 6, рис. 12).

Карбонатно-глинистая пачка в нижней части разреза, биостратиграфически охарактеризованная как терминальная часть быковского горизонта нижневятского подъяруса [Голубев и др., 2019; 2023], намагничена в эпоху обратной полярности и относится к магнитозоне r_1RnP . Верхние разрезы, представленные коричневыми глинисто-алевритовыми породами, соответствуют субзоне n_1RnP и, следовательно, принадлежат нефёдовскому горизонту верхневятского подъяруса [Фетисова и др., 2022]. К магнитозоне n_1RnP относится весь **разрез Сухоборка** (рис. 7, рис. 12). Ранее в низах этого разреза выделялся интервал обратной магнитной полярности, который интерпретировался как зона r_1N_2P , а вышележащие отложения как зона N_2P [Граница..., 1998] или зоны r_1R_3P и n_1R_3P , соответственно [Балабанов, Муравьев, 2010; Лозовский и др.,

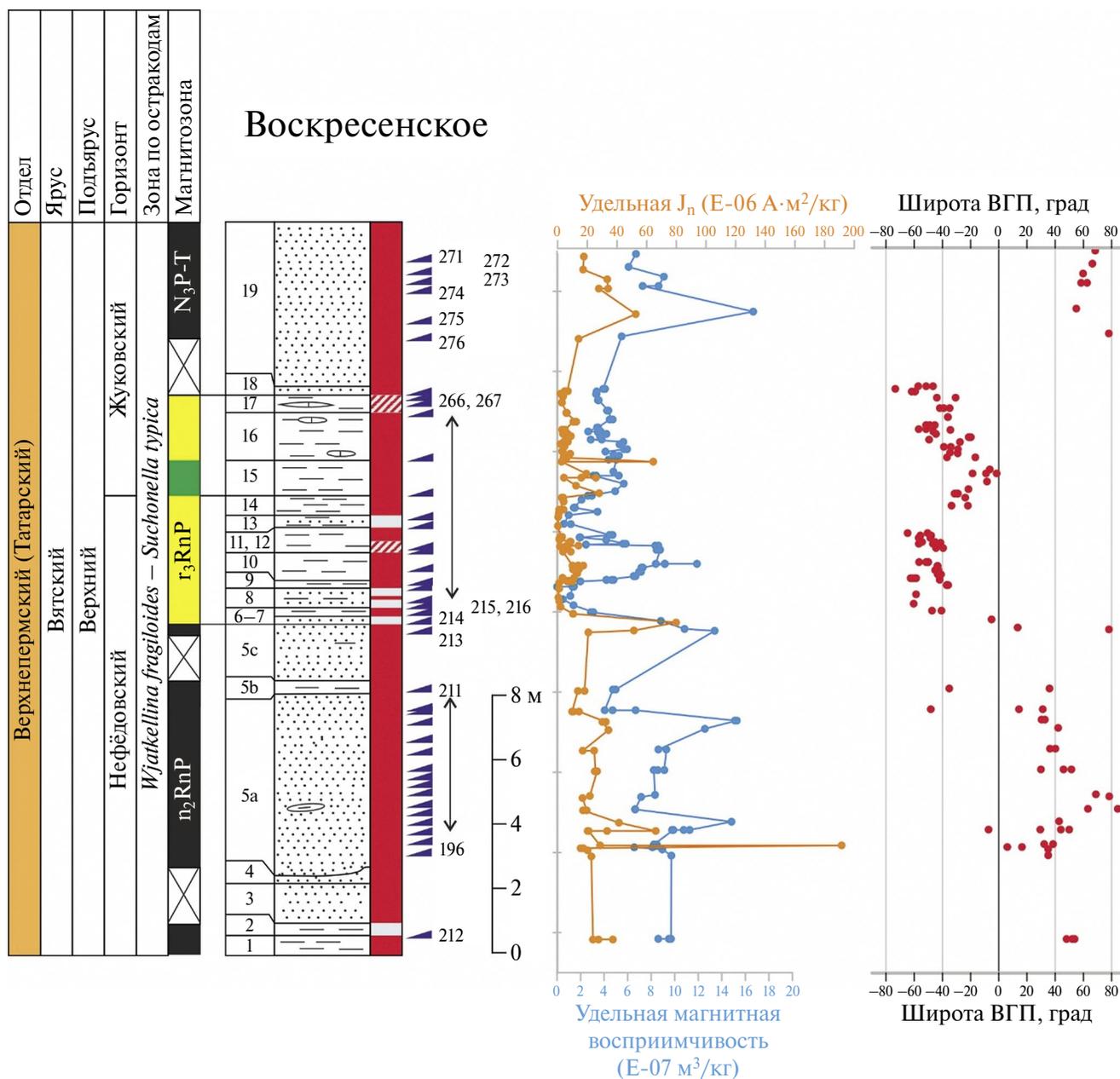


Рис. 8. Разрез Воскресенское: стратиграфия, литология, схема опробования с номерами образцов, удельная естественная остаточная намагниченность (J_n) и удельная магнитная восприимчивость, широта виртуального геомагнитного полюса (ВГП). Условные обозначения см. на рис. 6.

2015]. Данный интервал обратной полярности нами обнаружен не был.

Разрез Воскресенское имеет более сложное магнитостратиграфическое строение (рис. 8, рис. 12). Большая часть разреза соотносится с ортозоной RnP. Нижняя часть (слои 1–5) образовалась в эпоху прямой полярности n_2RnP , слои 6–17 – в эпоху обратной полярности r_3RnP . Ранее эта зона обратной полярности интерпретировалась как r_2R_3P [Граница..., 1998] или как

r_1N_1T [Балабанов, Муравьев, 2010]. В середине магнитозоны r_3RnP есть интервал с аномальными значениями широты ВГП, не характерными для границы перми и триаса. Такой же интервал аномальных палеомагнитных направлений внутри субзоны r_3RnP выявлен ранее в трех разрезах бассейна р. Оки [Фетисова и др., 2022; 2023] и выделяется как a_1r_3RnP : здесь он располагается в основании жуковского горизонта. Его обнаружение в разрезе Воскресенское позволяет распознать нижнюю границу жуковского

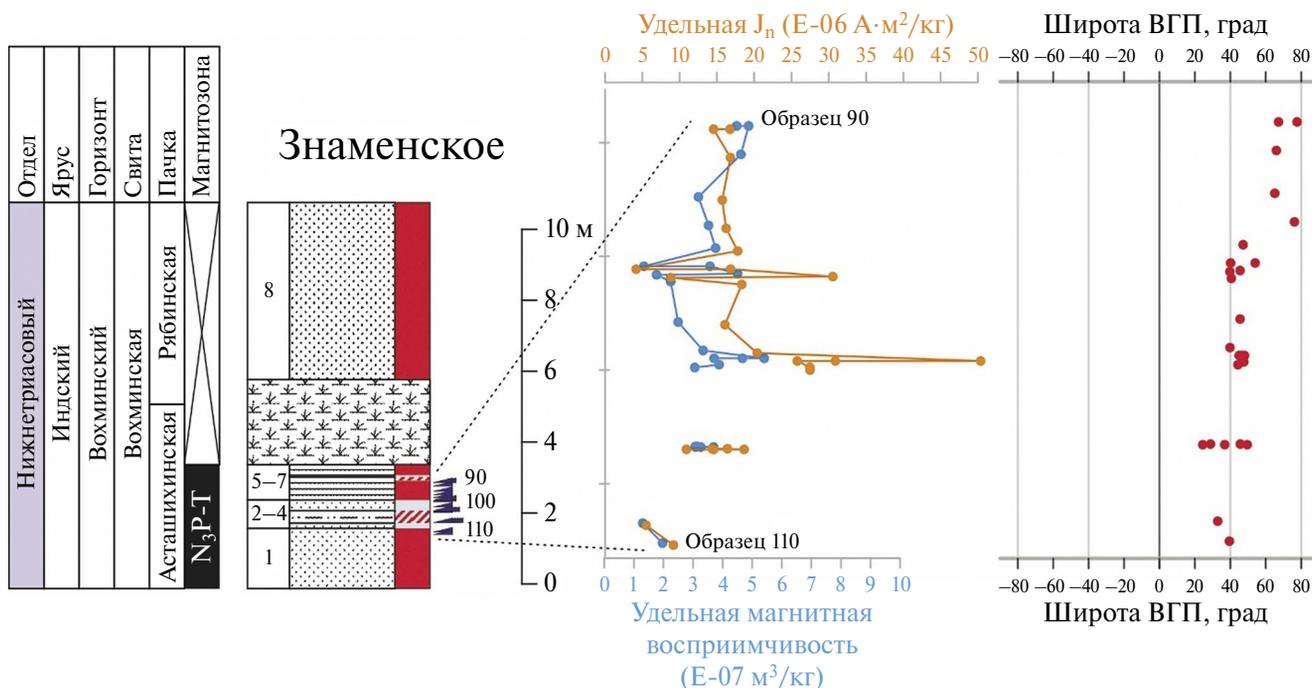


Рис. 9. Разрез Знаменское: стратиграфия, литология, схема опробования с номерами образцов. Графики значений удельной естественной остаточной намагниченности (J_n), удельной магнитной восприимчивости и широты виртуального геомагнитного полюса (ВГП) представлены не в масштабе. Условные обозначения см. на рис. 6.

горизонта в бассейне нижнего течения р. Ветлуга. Верхняя часть разреза (слои 18–19) соответствует зоне прямой полярности N_3P-T .

Породы **разреза Знаменское** намагничены в эпоху прямой полярности N_3P-T (рис. 9, рис. 12). Опробованный интервал относится к асташихинской пачке, чему не противоречат палеомагнитные данные: средние значения скалярных магнитных параметров аналогичны значениям, полученным по породам нижней части разреза Асташиха.

В **разрезе Асташиха** все образцы несут **ChRM** прямой полярности и также соответствуют ортозоне N_3P-T (рис. 10, рис. 12). Ранее в этом разрезе (обн. 1917) отмечался интервал обратной полярности r_1N_1T [Балабанов, Муравьев, 2010; Лозовский и др., 2015], присутствие которого нашими исследованиями не подтвердилось. Обращает на себя внимание скачок скалярных магнитных параметров в терминальной части асташихинской пачки в слоях 5–7 в обн. 1919 (рис. 10).

Породы **разреза Прудовка** намагничены в эпоху прямой полярности и соответствуют ортозоне N_3P-T (рис. 11, рис. 12). По разрезу не видно каких-либо изменений скалярных магнитных параметров, их средние значения близки к

таковым для верхней части разреза Асташиха, хотя сами отложения стратиграфически соответствуют нижней части разреза Асташиха. По биостратиграфическим данным [Арефьев и др., 2017], песчаная пачка в основании разреза соответствует вятскому ярусу. Это означает, что нижняя граница ортозоны N_3P-T не приурочена к границе перми и триаса и располагается внутри вятского яруса. Подобное же расположение нижней границы этой магнитозоны было установлено в разрезах пограничных отложений перми и триаса в бассейне р. Оки [Фетисова и др., 2022].

Сводный магнитостратиграфический разрез долины р. Ветлуга изображен на рис. 12 и представлен ортозонами RnP и N_3P-T .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных комплексных исследований, магнитостратиграфическая схема для пограничных пермо-триасовых пород долины нижнего течения р. Ветлуга актуализирована в соответствии с современными требованиями к палеомагнитным данным. Основные выводы работы следующие:

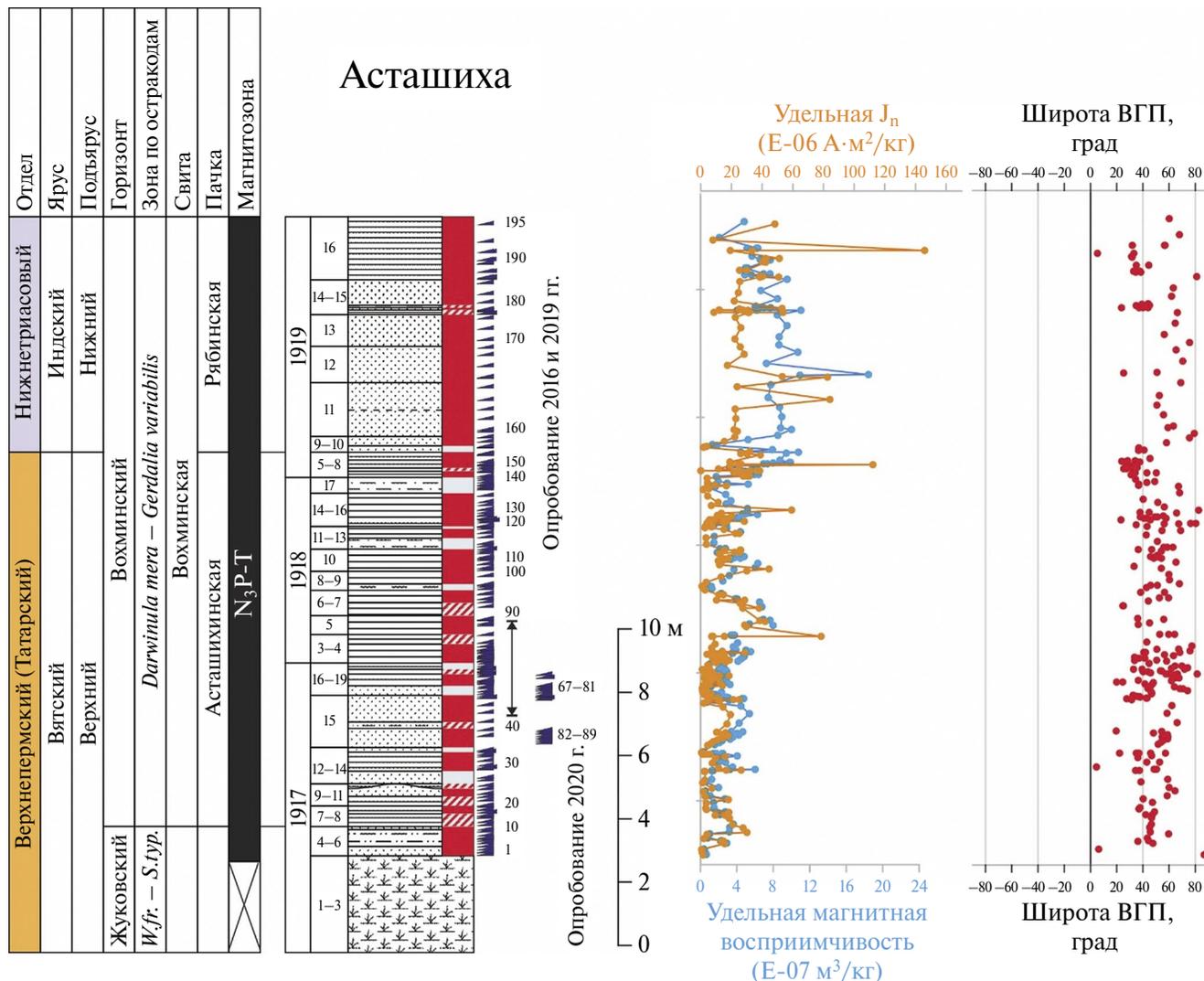


Рис. 10. Асташиха: стратиграфия, литология, схема опробования с номерами образцов, удельная естественная остаточная намагниченность (J_n) и удельная магнитная восприимчивость, широта виртуального геомагнитного полюса (ВГП). Условные обозначения см. на рис. 6.

1. Впервые доказано, что основание разреза перми и триаса долины р. Ветлуга соответствует низам ортозоны RnP, при этом отложения нижней части разреза Сосновка накапливались в эпоху обратной полярности конца ранневятского времени и соответствуют магнитозоне r_1 RnP, а отложения верхней части этого разреза и разрез Сухоборка – в начале поздневятского времени в эпоху прямой магнитной полярности p_1 RnP.

2. В разрезе Воскресенское, в его средней части, выделена магнитозона r_3 RnP, внутри которой присутствует интервал с аномальной палеомагнитной записью a_1r_3 RnP. Этот интервал был выявлен ранее в других разрезах Московской синеклизы в основании жуковского

горизонта верхневятского подъяруса и может служить стратиграфическим маркером нижней границы этого горизонта при региональных корреляциях.

3. Изученный сводный магнито­стратиграфический разрез долины р. Ветлуга соответствует ортозонам RnP и N_3 P–T. Подтверждено, что смена знака магнитной полярности не приурочена к границе перми и триаса, а эпоха прямой магнитной полярности началась в самом конце пермского периода.

Полученные данные, в комплексе с биостратиграфическими исследованиями по опорным пермо-триасовым разрезам долины р. Ветлуга, повышают надежность и детальность представленного в работе [Фетисова

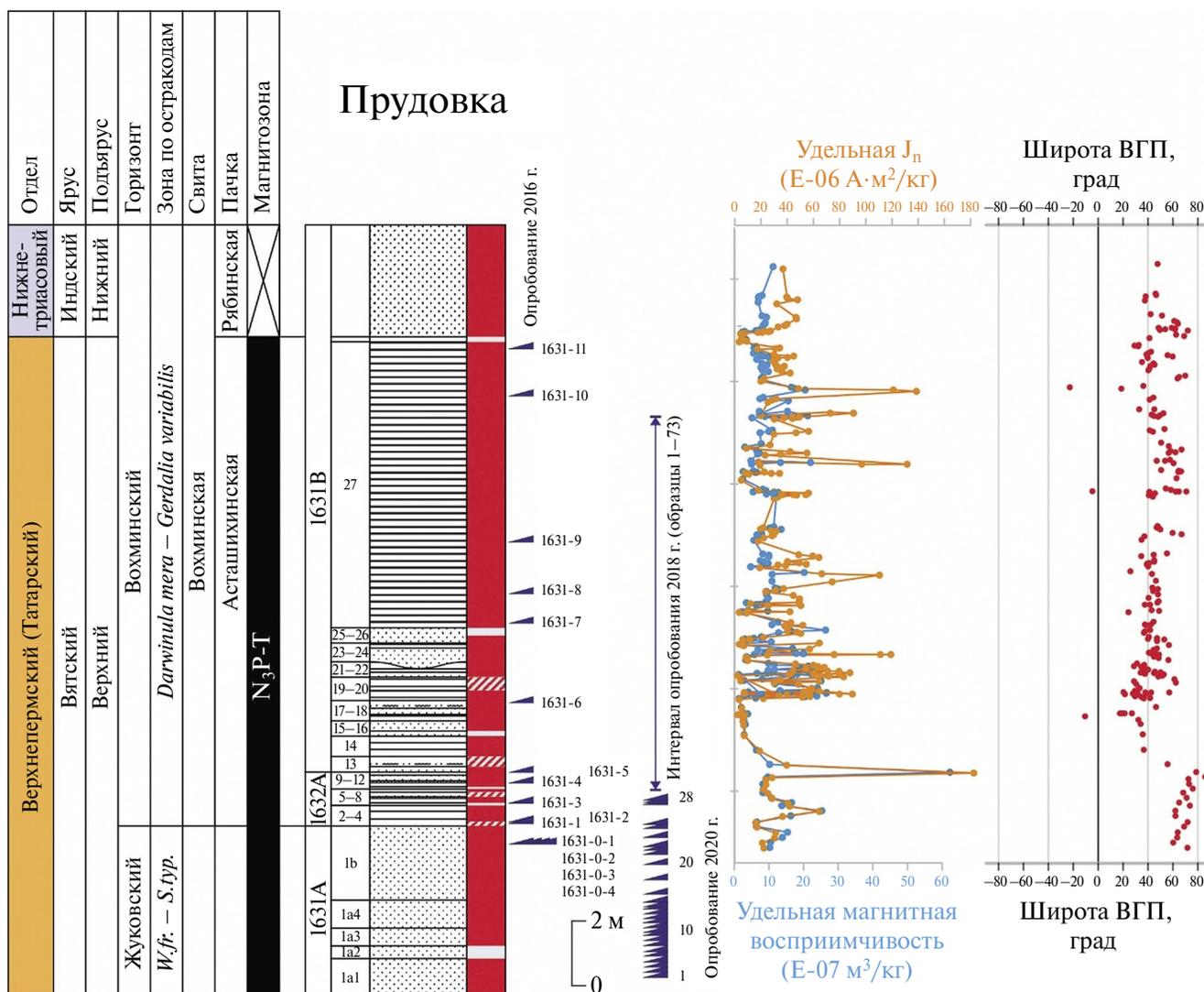


Рис. 11. Прудовка: стратиграфия, литология, схема опробования с номерами образцов, удельная естественная остаточная намагниченность (J_n) и удельная магнитная восприимчивость, широта виртуального геомагнитного полюса (ВГП). Условные обозначения см. на рис. 6.

Таблица 3. Средние палеомагнитные направления и палеомагнитные полюсы для изученных разрезов

| Разрез (координаты*, возраст) | Палеомагнитное направление | | | | | Палеомагнитный полюс | | |
|--|----------------------------|------------|------------|------|----------------------|----------------------|-------------|----------------|
| | n | D , град | I , град | K | α_{95} , град | Plat, град | Plong, град | dp/dm , град |
| Асташиха ($56.921^\circ N$, $45.335^\circ E$), P_3-T_1 | 159 | 37.4 | 44.0 | 16.0 | 2.9 | 49.0 | 168.8 | 2.3/3.6 |
| Воскресенское ($56.831^\circ N$, $45.443^\circ E$), P_3 | 78 | 30.2 | 38.3 | 24.1 | 3.3 | 48.4 | 180.6 | 2.3/3.9 |
| Знаменское ($56.914^\circ N$, $45.344^\circ E$), P_3 | 25 | 28.2 | 35.2 | 20.2 | 6.6 | 47.1 | 184.4 | 4.4/7.6 |
| Прудовка ($56.958^\circ N$, $45.294^\circ E$), P_3 | 202 | 46.5 | 42.0 | 20.9 | 2.2 | 43.3 | 159.9 | 1.7/2.7 |
| Сухоборка ($56.731^\circ N$, $45.748^\circ E$), P_3 | 37 | 40.2 | 63.3 | 33.0 | 4.2 | 62.5 | 143.9 | 5.2/6.6 |
| Сосновка ($56.724^\circ N$, $45.810^\circ E$), P_3 | 27 | 43.1 | 50.9 | 62.6 | 3.5 | 51.2 | 157.5 | 3.2/4.7 |

Примечание: n – число единичных палеомагнитных направлений (число образцов); D , I – склонение и наклонение, соответственно; K – кучность; α_{95} – радиус круга 95% доверия; Plat, Plong – широта и долгота палеомагнитного полюса, соответственно; dp/dm – полюсы овала 95% доверия. *Система координат WGS 84. Направление современного геомагнитного поля в районе исследований: $D = 14^\circ$, $I = 79^\circ$.

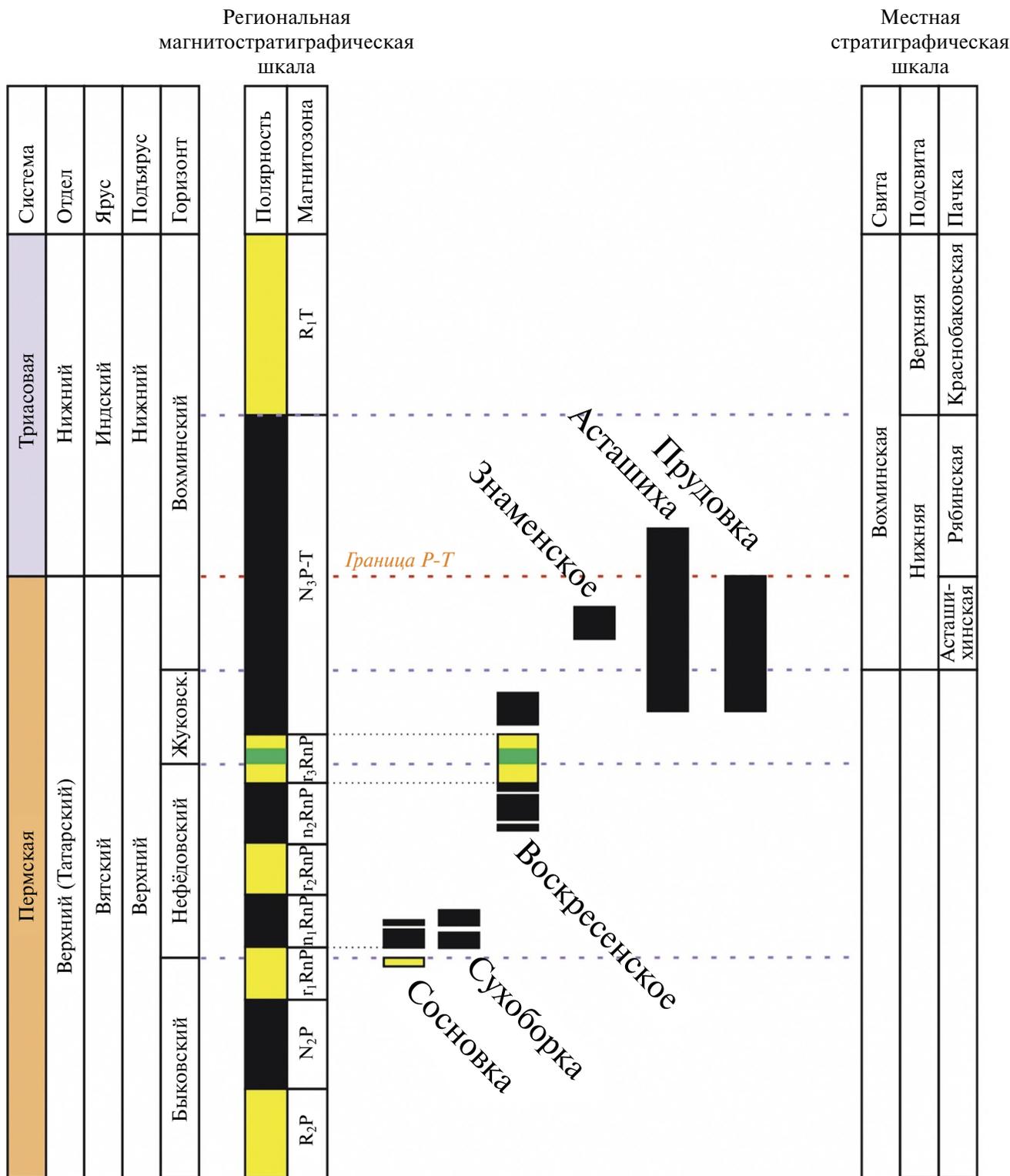


Рис. 12. Корреляция палеомагнитных колонок изученных разрезов и их положение в региональной магнитостратиграфической шкале [Фетисова и др., 2023].

и др., 2023] макета региональной магнитостратиграфической шкалы для центральной части Восточно-Европейской платформы. По изученным разрезам получены новые

палеомагнитные определения, которые существенно дополняют палеомагнитную базу данных для пограничного пермо-триасового интервала геологического времени.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Палеомагнитные исследования проведены при поддержке гранта РФФИ №22-27-00597.

БЛАГОДАРНОСТИ

Лабораторные исследования выполнялись на оборудовании ЦКП «Петрофизика, геомеханика и палеомагнетизм» ИФЗ РАН. Авторы благодарны всем коллегам, кто в разные годы принимал участие в совместных полевых исследованиях, а также А.Г. Иосифиди и анонимному рецензенту, чьи замечания позволили существенно повысить качество данной работы.

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 северовосточного борта Московской синеклизы. Статья 2. Нижнее течение р. Юг // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2016. Т. 91. Вып. 2–3. С. 47–62.
- Арефьев М.П., Голубев В.К., Наумчева М.А.* Предварительная корреляция пограничных отложений перми и триаса в бассейнах Юга и Ветлуги / 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.). Тезисы докладов. М.: Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН. 2017. С. 6–7.
- Балабанов Ю.П., Муравьев Ф.А.* Результаты палеомагнитных исследований пограничных отложений перми и триаса по разрезам бассейнов рек Кичменга и Ветлуга / Голубев В.К., Сенников А.Г. (ред.). Палеонтология и стратиграфия перми и триаса Северной Евразии. Материалы V Международной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения Владимира Прохоровича Амалицкого (1860–1917) (Москва, 22–23 ноября 2010 г.). М.: Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН. 2010. С. 45–48.
- Блом Г.И.* Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Средне-Волжская. Лист О-38-XXVIII. Объяснительная записка. М.: Недра. 1966. 77 с.
- Блом Г.И.* Каталог местонахождений фаунистических остатков в нижнетриасовых отложениях Среднего Поволжья и Прикамья. Казань: изд-во Казан. ун-та. 1968. 375 с.
- Блом Г.И.* Стратотипы нижнего триаса Московской синеклизы и Волжско-Камской антеклизы. М.: Недра. 1974. 216 с.
- Бороздина З.И., Олферьев А.Г.* О принципах выделения вятского горизонта в разрезе татарского яруса юго-восточного борта Московской синеклизы // Изв. АН СССР. Серия геологическая. 1970. № 1. С. 114–120.
- Глушнев В.М., Кочергина В.А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Средневолжская. Листы О-38-XXI (Северный), О-38-XXII (Ветлуга). Объяснительная записка. М.: Министрство природных ресурсов Российской Федерации. 1999. 157 с.
- Голубев В.К., Арефьев М.П., Наумчева М.А., Бакаев А.С., Уляхин А.В., Давыдов В.И., Силантьев В.В.* О возрасте пермских отложений нижнего течения р. Ветлуга, Нижегородская область / Алексеев А.С., Назарова В.М. (ред.). Палеострат-2019. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН. Москва, 28–30 января 2019 г. Программа и тезисы докладов. М.: Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН. 2019. С. 21–22.
- 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. 2012. Вып. 5. С. 49–82.
- Голубев В.К., Наумчева М.А.* Новые данные о возрасте пермских отложений в районе пос. Воскресенское (р. Ветлуга, Нижегородская обл.) / Голубев В.К., Назарова В.М. (ред.). Палеострат-2021. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН (Москва, 25–26 января 2021 г.). Тезисы докладов. М.: Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН. 2021. С. 21–22.
- Голубев В.К., Фетисова А.М., Веселовский Р.В., Наумчева М.А.* Нижняя граница чансинского яруса (верхняя пермь) на Восточно-Европейской платформе / Голубев В.К., Назарова В.М. (ред.). Палеострат-2023. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН (Москва, 30 января – 1 февраля 2023 г.). Программа и тезисы докладов. М.: Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН. 2023. С. 29–30.
- Граница перми и триаса в континентальных сериях Восточной Европы (Материалы в Международному симпозиуму “Верхнепермские стратотипы Поволжья”. М.: ГЕОС. 1998. 246 с.
- Дополнение к Стратиграфическому кодексу России. СПб.: изд-во ВСЕГЕИ. 2000. 112 с.
- Ефремов И.В., Веселовский Р.В.* PMTools: новое программное обеспечение для анализа палеомагнитных данных // Физика Земли. 2023. № 5. С. 150–158.
- Кочергина В.А., Кирков И.Г., Хайдарова Д.А. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Средневолжская. Лист О-38-XXVII (Семенов). Объяснительная

- записка. М.: Московский филиал ФГБУ "ВСЕГЕИ". 2018. 90 с.
- Лозовский В.Р., Балабанов Ю.П., Карасев Е.В., Новиков И.В., Пономаренко А.Г., Ярошенко О.П. Терминальная пермь Европейской России: вязниковский горизонт и недубровская пачка и граница перми и триаса // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2016. Т. 24. № 4. С. 38–54.
- Лозовский В.Р., Балабанов Ю.П., Новиков И.В., Морковин Б.И., Ярошенко О.П. Стратиграфия, палеомагнетизм и петромагнетизм нижнего триаса Московской синеклизы. Статья 2. Бассейны рек Ветлуги и Унжи // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2015. Т. 90. Вып. 3. С. 27–43.
- Лозовский В.Р., Горбаткина Т.Е. Решение расширенного заседания секции верхней перми и триаса, посвященного стратиграфии татарского яруса (Москва, 27–28 января 1995 г.) // Бюллетень Региональной межведомственной стратиграфической комиссии по Центру и Югу Русской платформы. М.: Международная академия наук о природе и обществе. 2001. Вып. 3. С. 5–16.
- Лозовский В.Р. О возрасте слоев с *Lystrosaurus* в Московской синеклизе // Докл. АН СССР. 1983. Т. 272. № 6. С. 1433–1437.
- Молостовский Э.А. Палеомагнитная стратиграфия верхней перми и триаса востока Европейской части СССР. Саратов: изд-во Сарат. ун-та. 1983. 168 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.
- Новиков И.В. Раннетриасовые амфибии Восточной Европы: эволюция доминантных групп и особенности смены сообществ. Труды Палеонтологического института. М.: РАН. 2018. Т. 296. 357 с.
- Олферьев А.Г., Анохина Ю.Т. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Мезенская. Лист О-38-ХІІ. Объяснительная записка. М.: Союзгеолфонд. 1979. 90 с.
- Олферьев А.Г., Анохина Ю.Т., Бондарь И.К. Геологическая и гидрогеологическая карты СССР масштаба 1:200 000. Серия Мезенская. Лист О-38-ХІ. Объяснительная записка. М.: Союзгеолфонд. 1987. 124 с.
- Решение Межведомственного регионального стратиграфического совещания по среднему и верхнему палеозою Русской платформы с региональными стратиграфическими схемами. Ленинград, 1988. Пермская система. Л.: ВСЕГЕИ. 1990. 48 с.
- Строк Н.И., Горбаткина Т.Е., Лозовский В.Р. Верхнепермские и нижнетриасовые отложения Московской синеклизы. М.: Недра. 1984. 140 с.
- Уланов Е.И., Уланова Е.И. Геологическая и гидрогеологическая карты СССР масштаба 1:200 000. Серия Мезенская. Лист О-38-ХІІ. Объяснительная записка. М.: Всесоюзный геологический фонд. 1976. 92 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. Вып. 4. С. 544–560. DOI: 10.21638/spbu07.2018.409
- Фетисова А.М., Веселовский Р.В., Scholze F., Балабанов Ю.П. Новый пермо-триасовый палеомагнитный полюс Восточно-Европейской платформы, вычисленный с учетом занижения наклона в осадочных породах // Физика Земли. 2018б. № 1. С. 158–171.
- Фетисова А.М., Веселовский Р.В., Сиротин К.А., Голубев В.К., Рудько Д.В. Палеомагнетизм и циклостратиграфия пограничного интервала перми–триаса разреза Старое Слукино (Владимирская область) // Физика Земли. 2023. № 2. С. 162–175. DOI: 10.31857/S000233723020060, EDN: LHXZLZL
- Фетисова А.М., Голубев В.К., Веселовский Р.В., Балабанов Ю.П. Палеомагнетизм и магнитостратиграфия опорных пермско-триасовых разрезов центральной части Русской плиты: Жуков овраг, Слукино и Окский съезд // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 10. С. 1401–1419. DOI: 10.15372/GiG2021157
- Фридман В.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Средневожская. Листы О-38-XXXIII (Бор), О-38-XXXIV (Лысково). Объяснительная записка. М.: Министерство природных ресурсов Российской Федерации. 1999. 142 с.
- 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 // Докл. РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 1. С. 23–28. DOI: 10.31857/S2686739720050060
- Шелехова М.Н. Палинокомплексы татарского яруса Русской платформы // Бюллетень Региональной межведомственной стратиграфической комиссии по Центру и Югу Русской платформы. 2001. Вып. 3. С. 97–104.
- Davydov V.I., Arefiev M.P., Golubev V.K., Karasev E.V., Naumcheva M.A., Schmitz M.D., Silantiev V.V., Zharinova V.V. Radioisotopic and biostratigraphic constraints on the classical Middle–Upper Permian succession and tetrapod fauna of the Moscow syncline, Russia // Geology. 2020.V. 48. № 7. P. 742–747. DOI: 10.1130/G47172.1
- Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada. 1994. 16 p.
- Hounslow M. W., Balabanov Y. P. A geomagnetic polarity timescale for the Permian, calibrated to stage boundaries // Geological Society. London: Special Publications. 2018. V. 450(1). P. 61–103. <https://doi.org/10.1144/SP450.8>
- Hrouda F., Tarling D.H. The magnetic anisotropy of rock. London: Chapman & Hall. 1993. 217 p.
- Opdyke N.D., Channel J.E.T. Magnetic stratigraphy. International Geophysics Series. V. 64. 346 p.

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

McFadden P.L., McElhinny M.W. Classification of the reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* 1990. V. 103. № 3. P. 725–729. DOI: 10.1111/j.1365–246X.1990.tb05683.x

Naumcheva M.A., Golubev V.K. Nonmarine ostracodes at the Permian–Triassic boundary of the central part of the

East European Platform // *Palaeoworld*. 2020. V. 29. № 2. P. 353–367. DOI: 10.1016/j.palwor.2019.02.001

Veselovskiy R.V., Dubinya N.V., Ponomarev A.V., Fokin I.V., Patonin A.V., Pasenko A.M., Fetisova A.M., Matveev M.A., Afinogenova N.A., Rud'ko D.V., Chistyakova A.V. Shared Research Facilities “Petrophysics, Geomechanics and Paleomagnetism” of the Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. V. 13. № 2. 0579. DOI:10.5800/GT-2022-13-2-0579

Magnetostratigraphy of the Permian–Triassic Boundary in the Lower Reaches of the Vetluga River, East European Platform, Nizhny Novgorod Region

A. M. Fetisova^{a,b,*}, R. V. Veselovskiy^{a,b}, V. K. Golubev^c, and M. P. Arefiev^d

^a*Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

^b*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia*

^c*Borissiak Paleontological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997 Russia*

^d*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia*

*e-mail: roman.veselovskiy@ya.ru

Received July 11, 2023

Revised November 24

Accepted November 27, 2023

Abstract – We present the results of detailed paleomagnetic studies of six Permian-Triassic boundary sections in the central part of the East European Platform, located in the lower reaches of the Vetluga River: Astashikha, Voskresenskoe, Znamenskoe, Prudovka, Sosnovka, and Sukhoborka. The paleomagnetic data, which meet the modern quality standards for laboratory processing, together with the results of biostratigraphic studies, allow for the development and substantiation of magnetostratigraphic scales for each section, as well as for their correlation and the construction of a magnetic polarity scale for the Permian-Triassic sedimentary complex of the Vetluga River. Rock-magnetic characteristics are determined for each of the studied sections, and paleomagnetic poles of the East European Platform are calculated for the Late Permian and Permian-Triassic boundary.

Keywords: East European Platform, paleomagnetism, magnetostratigraphy, stratigraphy, Upper Permian, Lower Triassic