

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Поступила в редакцию 13.11.2024 г.

Принята к публикации 16.01.2025 г.

EDN: WUFZKX

УДК 551.734:550.384.33

Сальная Н.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия, natasavi@inbox.ru

ТИПЫ ПАЛЕОМАГНИТНОЙ ЗАПИСИ В ДЕВОНСКИХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ: НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ЦЕНТРАЛЬНОМУ ДЕВОНСКОМУ ПОЛЮ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

На сегодняшний день имеются значительные разногласия в существующих магнитостратиграфических шкалах и траекториях кажущегося движения палеомагнитного полюса для девонского периода, это крайне осложняет применение палеомагнитного метода для решения геологических задач корреляции и датирования разрезов. Представлены новые палеомагнитные данные и результаты анализа имеющихся в Мировых базах палеомагнитных данных. Исследования позволили выявить наличие трех типов палеомагнитной записи в девонских горных породах. На разрезах с первым типом без значительного влияния компонент перемещения могут успешно применяться методы магнитостратиграфии.

Ключевые слова: Центральное девонское поле, девонский период, палеомагнитный метод, магнитостратиграфия.

Для цитирования: Сальная Н.В. Типы палеомагнитной записи в девонских горных породах: новые данные по Центральному девонскому полю и анализ результатов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2025. - Т.20. - №1. - https://www.ngtp.ru/rub/2025/1_2025.html EDN: WUFZKX

Введение

Магнитостратиграфия – наука, находящаяся на стыке геологии и геофизики, крайне важная область знаний для решения задач корреляции и расчленения разрезов. Одним из родоначальников магнитостратиграфии является советский и российский ученый А.Н. Храмов¹, занимающийся изучением палеомагнетизма и применением его результатов в области геологии, в том числе нефтяной геологии. В 1953 г. под его руководством начаты первые, рекогносцировочные магнитостратиграфические исследования разрезов нефтепродуктивных толщ пород Восточного Азербайджана и Западной Туркмении. Палеомагнитные результаты позволили сопоставить разрезы по чередованию зон прямой и обратной полярности геомагнитного поля. Впервые в мире показано, что явление инверсий геомагнитного поля может быть использовано для решения практических задач геологии [Иосифиди и др., 2015]. Первые результаты и разработанная методика проведения магнитостратиграфических работ изложены в книге «Палеомагнитная корреляция осадочных толщ» [Храмов, 1958], которая впоследствии переведена на английский язык

¹ <http://www.ngtp.ru/rub/authors/ANKhramov.html>

«Palaeomagnetism and stratigraphic correlation» и стала доступна для широкого круга ученых по всему миру [Khramov, 1960]. Эти первые исследования А.Н. Храмова в составе Туркменской геологоразведочной партии ВНИГРИ и опубликованные результаты монографии стали отправной точкой развития нового направления – магнитостратиграфии.

Однако, несмотря на то, что разработка магнитостратиграфических шкал ведется уже более полувека, полярность геомагнитного поля в некоторые геологические периоды остается спорной. Одним из противоречивых периодов в этом отношении является девон. Для верхнего девона, согласно геологическим шкалам, полярность неясна, а для нижнего девона имеющиеся шкалы заметно отличаются [Храмов, Шкатова, 2000; Becker, Marshall, Da Silva, 2020]. Эти факторы крайне осложняют и даже делают невозможным применение магнитостратиграфии для решения геологических задач.

Основными задачами в рамках этой работы стало получение новых данных по разрезам центрального девонского поля и анализ палеомагнитной базы данных GPMDB [Pisarevsky, 2005; Pisarevsky et al., 2022], а также новых определений [Hansma et al., 2015; Иосифиди, Попов, Журавлев, 2020; Иосифиди, Попов, 2021; Green et al., 2021; Van der Boon et al., 2022; Сальная, 2023; Иосифиди, Сальная, 2024а, 2024б]. Анализ и систематизация палеомагнитных результатов может ответить на вопрос о том, какие типы палеомагнитной записи наблюдаются в магматических и осадочных горных породах и какой тип палеомагнитной записи предпочтителен для построения магнитостратиграфических шкал.

Палеомагнитные коллекции

Коллекции ориентированных образцов горных пород отобраны в ходе полевого сезона 2023 г. из разрезов Центрального девонского поля (рис. 1), вскрытых в естественном обнажении (разрез Семилуки) и в карьерах (Ливенский карьер и Донское месторождение известняков).

1. Семилуки (51°41'46'' с.ш., 39°02'11'' в.д., г. Семилуки, Воронежская область). В г. Семилуки, в левом борту Больничного оврага р. Дон, отобрана рекогносцировочная коллекция из обнажения петинского (12 штуфов) и воронежского (5 штуфов) горизонта верхнего франа. Общая мощность изученного разреза ~ 7 м. Здесь, петинский горизонт сложен зеленовато-желтым плотным песчаником, вышележащий воронежский горизонт представлен прослоями красно-бурых и серо-бурых глин [Тихомиров, 1995].

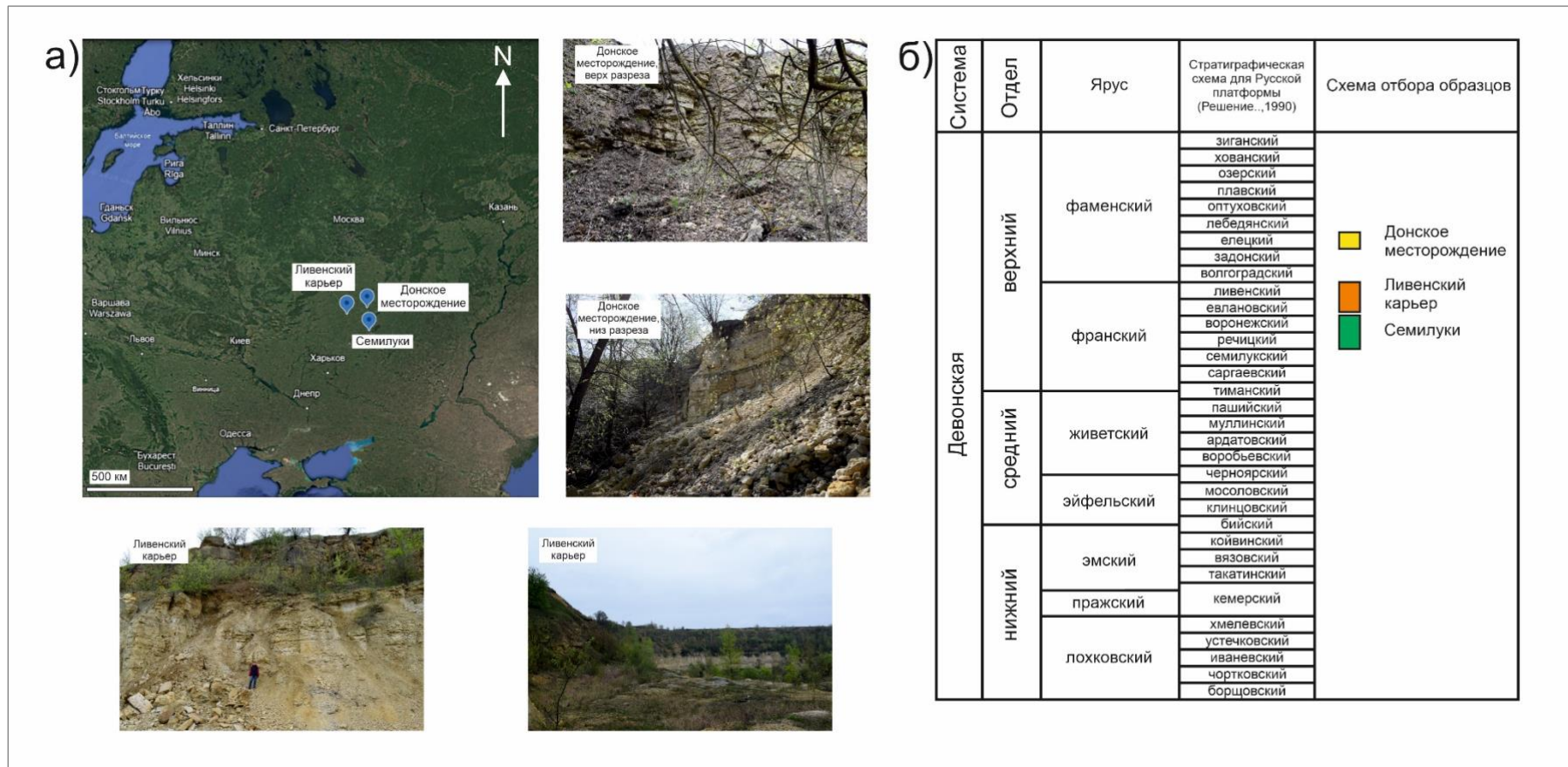


Рис. 1. Месторасположение изученных разрезов и фотографии обнажений

2. Ливенский карьер (=карьер Горностаевка, $52^{\circ}23'33''$ с.ш., $37^{\circ}33'05''$ в.д., г. Ливны, Орловская область). В недействующем карьере, расположенном на южной окраине г. Ливны, собрана коллекция образцов из карбонатно-глинистого чередования отложений верхней части евлановского и массивными коралловыми известняками ливенского горизонтов верхнего франа. Всего отобрано 50 штуфов с шагом 0,3-0,5 м, общая мощность опробованного разреза составила ~15 м.

3. *Донское месторождение известняков* ($52^{\circ}39'32''$ с.ш., $38^{\circ}54'41''$ в.д., Липецкая область). В недействующей северо-западной части карьера Донского месторождения известняков, расположенном в 30 км от г. Елец на правом берегу р. Дон, отобрана коллекция из отложений известняков елецкого горизонта нижнего фамена [Раскатова, Рясной, Косинова, 2014; Раскатова, Щемелинина, Дмитриев, 2022]. Коллекция состоит из 37 штуфов, шаг отбора - 0,3 м, общая мощность изученного разреза - ~13 м.

Методика и аппаратура

Проведены петро- и палеомагнитные исследования образцов из разрезов верхнего девона по общепринятой методике [Храмов и др., 1982]. Петромагнитные включали изучение гистерезисных параметров на коэрцитиметре J-meter [Jasonov et al., 1998] и тест Лаури [Lowrie, 1990] для оценки магнитных минералов, носителей естественной остаточной намагниченности. Эксперимент Лаури проходил следующим образом: на образцах создавалась изотермическая остаточная намагниченность (IRM) в трех ортогональных направлениях в полях (1,6, 0,3, 0,05 Тл) на устройстве ASC IM-100 (ASC Scientific, США). Затем IRM ступенчато размагничена в немагнитной установке TD-48 (ASC Scientific, США), и после каждого этапа размагничивания проводилось измерение магнитного момента на спин-магнитометре JR-6 (AGICO, Чехия). Значения магнитной восприимчивости K_m и ее анизотропии (AMB) изучались на каппа-мосте MFK1 (Agico, Чехия). Терморазмагничивание естественной остаточной намагниченности (J_n) осуществлялось в немагнитной установке ММТД-24 (Shaw measurements, Великобритания), измерения - на СКВИД-магнитометре 2-G Enterprises (США). Размагничивание переменным полем проходило в автоматическом режиме на СКВИД-магнитометре.

Компонентный анализ J_n проводился с использованием ортогональных проекций Зийдервельда [Zijderveld, 1967], для расчета направлений использовался метод главных компонент в модификации [Kirschvink, 1980]. Расчет и представление полученных результатов выполнялось с помощью пакетов программ [Enkin, 1994; Chadima, Hroudka, 2006;

Efremov, Veselovskiy, 2023], а также программ В.В. Попова², позволяющих проводить выборку значений намагниченности для выбранного шага измерений, и Anisoft 4.2³ для интерпретации данных по анизотропии магнитной восприимчивости.

Магнитные свойства коллекций

Образцы из разреза Семилуки обладают наибольшей из изучаемых коллекций магнитной восприимчивостью K_M до $n \times 10^{-4}$ ед. СИ и намагниченностью J_n до $n \times 10^{-2}$ А/м. Образцы с низкими значениями K_M и J_n отобраны из разрезов Ливенского карьера K_M до $n \times 10^{-5}$ ед. СИ и J_n до $n \times 10^{-4}$ А/м. Для образцов из разреза Донское месторождение магнитная восприимчивость и вовсе достигает отрицательных значений и не превышает $n \times 10^{-6}$ ед. СИ, а величина J_n составляет $n \times 10^{-4}$ А/м. Данные K_M и J_n приведены в табл. 1. Из-за малого количества магнитных минералов в образцах графики коэрцитивных спектров оказались очень шумными и непригодными для интерпретации.

Таблица 1

Магнитные свойства образцов коллекций

Образцы	N/n	$P_{\min} \div P_{\max}$ ($P_{\text{среднее}}$)	$K_M \text{ мин} - K_M \text{ макс, ед. СИ}$ ($K_M \text{ среднее}$)	$J_n \text{ мин} \div J_n \text{ макс, А/м}$ ($J_n \text{ среднее}$)
Семилуки	50/50	1,007 ÷ 1,23 (1,05)	$(8 \div 417) \times 10^{-6}$ (128×10^{-6})	$(0,3 \div 92) \times 10^{-3}$ (7×10^{-3})
Ливенский карьер	95/94	0,018 ÷ 2,64 (1,02)	$(1 \div 40) \times 10^{-6}$ (11×10^{-6})	$(0,6 \div 20) \times 10^{-5}$ (4×10^{-5})
Донское месторождение	73/71	0,12 ÷ 4,02 (1,53)	$(-8 \div 4) \times 10^{-6}$ (-2×10^{-6})	$(0,6 \div 19) \times 10^{-5}$ (3×10^{-5})

N - общее число изученных образцов; *n* - число образцов, включенных в выборку; *P* - степень анизотропии; K_M - магнитная восприимчивость; J_n - естественная остаточная намагниченность.

Результаты петромагнитных исследований. Разрез Семилуки

Результаты теста Лаури, проведенные на 6 образцах, свидетельствуют о наличии различных магнитных фаз – низкокоэрцитивные фазы, намагничивающиеся в полях 0,05 и 0,3 Тл, имеют различные температуры деблокирования - от 420 до 600°C, что свидетельствует о неоднородности магнито-минерального состава пород по разрезу (рис. 2); магнитомягкая фаза, вероятно, представлена магнетитом/титаномангнетитом или маггемитом. В некоторых образцах также отмечается высококоэрцитивная фаза, намагничивающаяся в полях до 1,6 Тл и размагничивающаяся при температурах до 300-680°C, которая может соответствовать гематиту и/или гематиту.

² Программы-утилиты от В.В. Попова. - 2007, 2008. - [http://ifz-paleomag.ru//Полезные ресурсы](http://ifz-paleomag.ru//Полезные_ресурсы)

³ Chadima M., Jelinek V. Anisoft 4.2, 2009. - <https://agico.cz/text/software/anisoft/anisoft.php>

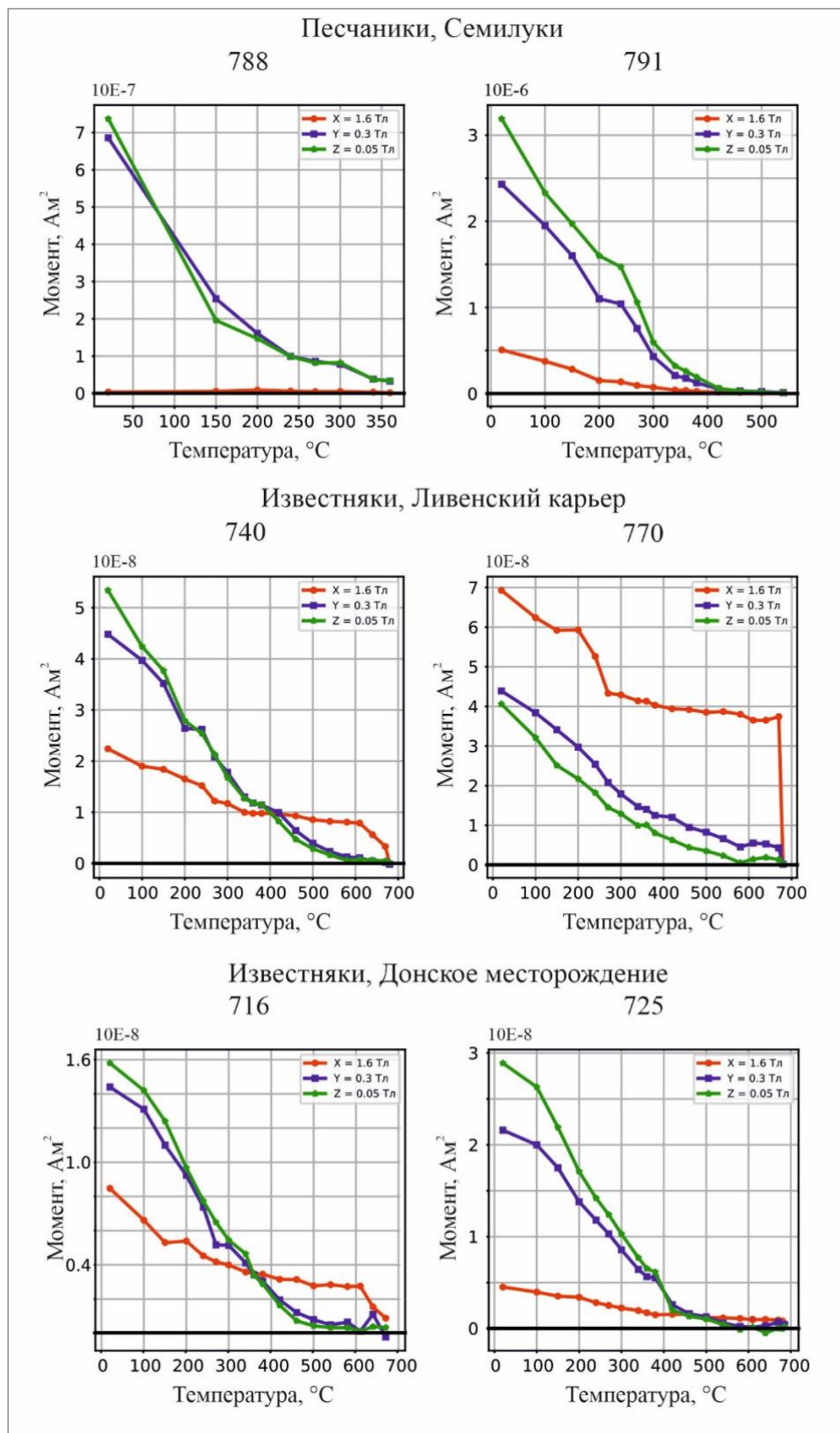


Рис. 2. Результаты теста Лаури для образцов разрезов Семилуки, Ливенский карьер и Донское месторождение

По данному объекту наблюдается картина распределения минимальной оси эллипсоида магнитной восприимчивости K_3 , близкая к типичной для осадочных пород. Направления K_3 расположены в центре, но вытянуты в направлении северо-восток – юго-запад, что совпадает

с береговым уклоном и, вероятно, связана с влиянием склоновых процессов. График параметров формы (T) и степени анизотропии (P) свидетельствует о преобладании плоскостного типа АМВ в образцах разреза (рис. 3а).

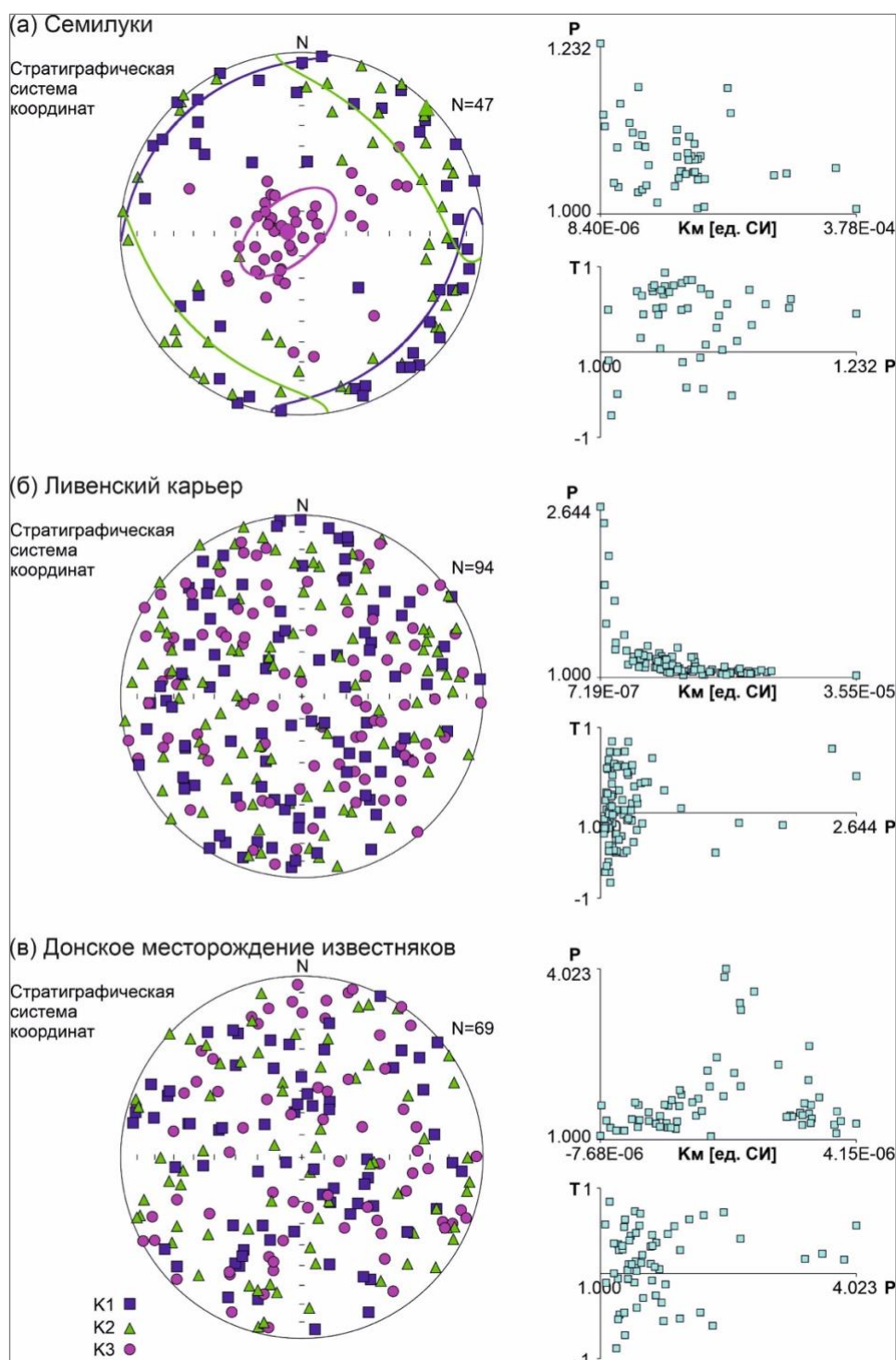


Рис. 3. Распределения направлений главных осей эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости в стратиграфической системе координат

$K1$ (синие квадраты), $K2$ (зеленые треугольники), $K3$ (красные кружки) – направления максимальной, промежуточной и минимальной осей эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости; зависимость степени анизотропии (P) от величины магнитной восприимчивости (K_m); зависимость параметра формы (T) от P .

(а) - разрез Семилуки, (б) - разрез Ливенский карьер, (в) - разрез Донское месторождение.

Результаты петромагнитных исследований.

Ливенский карьер и Донское месторождение

На 17 равномерно распределенных образцах по разрезу Ливенский карьер и на 12 образцах разреза Донское месторождение образцах выполнен тест Лаури. Результаты исследований свидетельствуют о наличии магнитных фаз, намагничивающихся в полях 0,05 и 0,3 Тл, с температурами деблокирования в большинстве образцов 520-580°C (для образцов разреза Ливенский карьер) и 420-580°C (для образцов разреза Донское месторождение) (см. рис. 2). Данная магнитная фаза по температурам деблокирования может являться титаномагнетитом/магнетитом или маггемитом. В большинстве образцов также присутствует высококоэрцитивный магнитный минерал с температурами деблокирования IRM 680-690°C, предположительно, гематит.

Результаты анизотропии магнитной восприимчивости схожи для образцов из Ливенского карьера и Донского месторождения. В них, при исключении нескольких образцов с экстремально высокими значениями анизотропии, наблюдается картина хаотичного распределения направлений осей магнитной восприимчивости K1, K2 и K3 (рис. 3б, в). Степень анизотропии формально достаточно высока и составляет до 2,64 и 4,02 для двух разрезов, что, вероятно, обусловлено предельно малой величиной и большой ошибкой определения K_m (см. табл. 1). По этой же причине, зачастую дубли, изготовленные из одного штуфа, не показывают сходных направлений K1, K2 и K3.

Палеомагнитные результаты исследований и их обсуждение

На одном образце-дубле, изготовленном из каждого штуфа, проведено терморазмагничивание с шагом 30-180°C до максимальных деблокирующих температур, которые чаще всего являлись средними температурами 400-500°C. Размагничивание переменным полем также проводилось на 1 образце из штуфа (кроме образцов глины по разрезу Семилуки) с шагом от 2-10 до 60-120 мТл. Компонентный анализ показал наличие характеристических компонент, а в силу сильных расхождений направлений и достаточно низких температур деблокирования этих компонент, промежуточные компоненты не рассматривались. На рис. 4 приведены примеры диаграмм Зийдervельда для изученных образцов. Результаты экспериментов Лаури свидетельствуют о том, что носителями J_n в данных разрезах являются преимущественно магнитомягкие минералы – магнетит/магнетит с низким содержанием титана и/или маггемит, это косвенно подтверждается температурами и полями, в которых разрушается характеристическая компонента J_n (табл. 2).

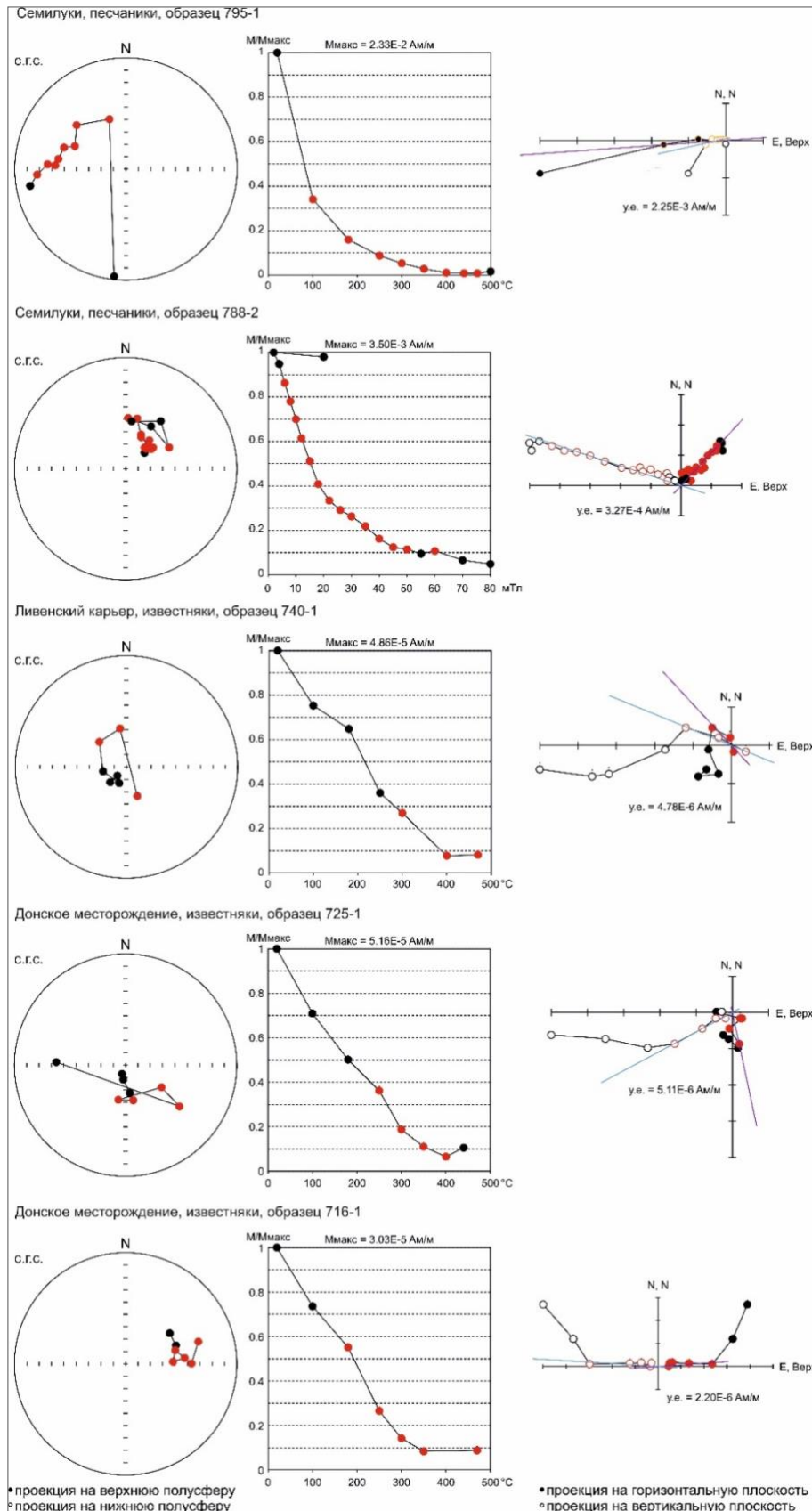


Рис. 4. Примеры ступенчатого терморазмагничивания и размагничивания переменным магнитным полем образцов из отложений разрезов Семилуки, Ливенский карьер и Донское месторождение

Слева направо: стереограмма, кривая зависимости J_n от температуры или переменного магнитного поля и диаграммы Зийдervельда в стратиграфических системах координат. Красным цветом отмечены точки, по которым проводился расчет компонент.

Таблица 2

Некоторые характеристические компоненты по разрезам

Разрез	Компонента	n(N)	Интервал деблокирующих температур/полей	Ds°	Is°	Ks°	α_{95}°	Φ°	Λ°	dp°/ dm°
Семилуки	SemKZ	23(15)	4-30÷12-120 мТл 100-300÷360-660°C	17,0	59,8	36,5	5,1	73,8	166,5	5,8/7,7
	Sem1	4(4)	250-350÷380-470°C	233,3	9,3	125,6	8,2	17,6	162,0	4,2/8,3
Ливенский карьер	Liv1	31(24)	0-55÷8-80 мТл 100-350÷250-440°C	37,5	48,5	6,7	10,8	54,2	152,5	9,3/14,2
	Liv2	9(8)	18-40÷80 мТл 250-500÷440-550°C	195,4	-57,7	22,8	11,0	72,3	174,2	11,8/16,1
Донское месторождение	SemKZ	12(9)	100-300÷350-470°C	352,7	56,4	19,9	10,0			
	Don1	13(10)	180-350÷300-470°C 15-40÷40-80 мТл	226,2	26,1	29,1	7,8	12,7	173,0	4,6/8,4

Примечание: разрез; компонента J_n ; n(N) - количество образцов(штупфов); D_s° , I_s° , K_s° , α_{95}° - склонение, наклонение, кучность, радиус круга доверия при 95% вероятности для среднего направления в стратиграфической системе координат; Φ° и Λ° - широта и долгота расчетного полюса; d_p°/d_m° - полуоси овала доверия полюса; возраст компоненты естественной остаточной намагниченности (J_n). Залегание пород - горизонтальное, поэтому данные приведены только в стратиграфической системе координат.

Результаты исследования 39 образцов из разреза Семилуки свидетельствуют о высокой степени перемагничивания образцов данного разреза. Среднее направление характеристической компоненты SemKZ близко к направлению геомагнитного поля в районе работ $D = 10^\circ$, $I = 69^\circ$, а имеющееся различие, вероятно, обусловлено смещением пород по склону, что подтверждается результатами измерения АМВ. Некоторые образцы показывают направления компонент Sem1, полюс по их среднему лежит между карбоновым и силурийским сегментами кривой траекторий кажущейся миграции палеомагнитных полюсов (ТКМПП) [Torsvik et al., 2012], а единичные результаты демонстрируют ожидаемые девонские направления с низкими наклонениями и западными склонениями (рис. 5а).

Характеристические компоненты J_n по разрезу Ливенский карьер (рис. 5б, в) и Донское месторождение (рис. 5г, д) распределены преимущественно в первой и третьей четверти стереограммы соответственно. При детальном рассмотрении этих результатов можно отметить несколько отдельных кластеров, по некоторым из них рассчитано среднее направление (см. табл. 2). Результаты исследований образцов разреза Ливенский карьер (см. рис. 5б) показали, что большинство компонент концентрируются в первой четверти стереограммы практически равномерно, полюс по среднему направлению этих компонент Liv1 соответствует пермскому сегменту кривой ТКМПП [Torsvik et al., 2012] (см. табл. 2). Однако, такой расчет не вполне корректен, поскольку равномерное распределение может быть следствием наложения компонент различного возраста – от девонского до современного или отражать сбой механизма фиксации магнитного поля в любой из этих периодов. Вторым, уже кучным кластером для образцов разреза Ливенский карьер являются направления в третьей четверти (Liv2), полюс по их среднему существенно отклоняется от ТКМПП и находится напротив пермского сегмента кривой (см. табл. 2).

Для Донского месторождения выделяется компонента в третьей четверти (Don1), полюс которой отвечает силурийскому сегменту кривой ТКМПП [Torsvik et al., 2012], что некорректно, поскольку девонские породы не могут являться носителями силурийского сигнала. Также для этого разреза выделяются компоненты DonKZ, направление которых схожи с направлением современного геомагнитного поля в районе работ. Все остальные направления по разрезу группируются в центре и в южной части стереограммы.

Однако, несмотря на присутствие компонент, которые можно объяснить перемагничиванием, все же наблюдается значимый разброс направлений характеристических компонент в пределах преимущественно одной четверти на стереограмме с несколькими кластерами, полюса которых не объясняются перемагничиванием и зачастую не соответствуют ожидаемым девонским направлениям. Для разреза Ливенский карьер это первая четверть, а для разреза Донское месторождение это третья четверть.

Подобный разброс направлений может объясняться сбоем при фиксации магнитного поля в горной породе, аномальным состоянием самого магнитного поля в совокупности с перемагничиванием пород. Данная картина вряд ли характеризуется низкими величинами J_n , поскольку это скорее бы привело к не интерпретируемым диаграммам Зийдервельда, которые отмечаются лишь для ряда образцов коллекций, и по которым компоненты не определялись. Так, статистика говорит о том, что интерпретируемыми для разреза Ливенский карьер оказались 64 образца из 97, а для разреза Донское месторождение - 60 из 72.

Анализ палеомагнитных данных. Систематика результатов

Анализ базы данных GPMDB [Pisarevsky, 2005; Pisarevsky et al., 2022] и новых палеомагнитных определений по девону [Hansma et al., 2015; Иосифиди, Попов, Журавлев, 2020; Иосифиди, Попов, 2021; Green et al., 2021; Van der Boon et al., 2022; Сальная, 2023; Иосифиди, Сальная, 2024а, 2024б] позволил выявить три типа палеомагнитной записи в горных породах девона отличных друг от друга. И только разрезы с определенным, первым типом палеомагнитной записи, могут выступать объектами для разработки магнитостратиграфических шкал.

В породах с первым типом выделяется характеристическая так называемая «ожидаемая» девонская компонента J_n , полюс которой согласуется с девонским сегментом разработанных ТКМПП [Torsvik et al., 2012; Iosifidi, Khramov, 2013]. Ярким примером являются разрезы о-ва Западный Шпицберген [Иосифиди, Сальная, 2024а]. К нему также относится подтип, для которого характерна совокупность характеристических компонент, соответствующих ожидаемым девонским направлениям, и компонент, отвечающих более поздним геологическим периодам – карбону, перми, мезозою. Такой подтип встречается гораздо чаще и характерен для большинства девонских разрезов Русской платформы – Главного девонского поля ([Погарская, 1984; Katinas, Nawrocki, 2004; Гуревич и др., 2005; Родионов и др., 2010; Русецкая и др., 2013; Иосифиди, Попов, Журавлев, 2020; Сальная, 2023; Иосифиди, Сальная, 2024б] и др.) и Западной Украины ([Smethurst, Khramov, 1992; Бахмутов и др., 2012; Jelenska et al., 2015] и др.).

Анализ базы данных позволяет сделать выводы о связи типов пород, их географического положения и наличия компонент J_n более позднего возраста. Так, если принимать во внимание все породы и все данные, то процент компонент более позднего возраста, зафиксированных в девонских породах, составляет порядка 10 (662 определения и 175 компонент более позднего возраста, чем возраст изучаемых отложений). На гистограмме (рис. 6а) наблюдается всплеск компонент пермского возраста, зафиксированных в девонских осадочных породах. Подобный эффект связан с тем, что вероятность перемагничивания естественным образом выше в период

существования гиперхрона, в частности гиперхрона Киама (возраст 312-265 млн. лет [Opdyke, Channel, 1996; Menning et al., 2001]).

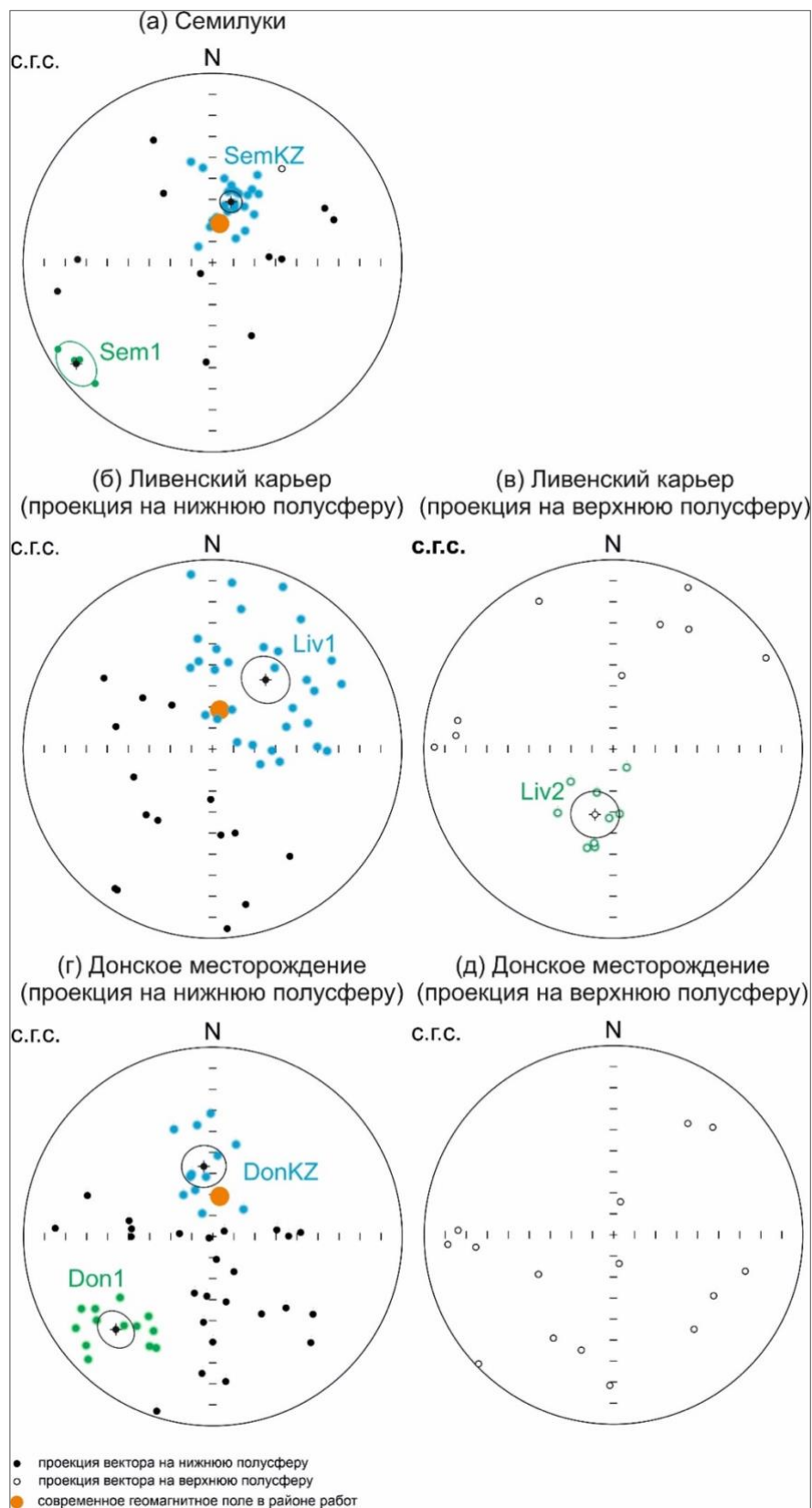


Рис. 5. Стереограммы направлений J_n для образцов изученных разрезов (а) - разрез Семилуки, (б, в) - Ливенский карьер, (г, д) - Донское месторождение.

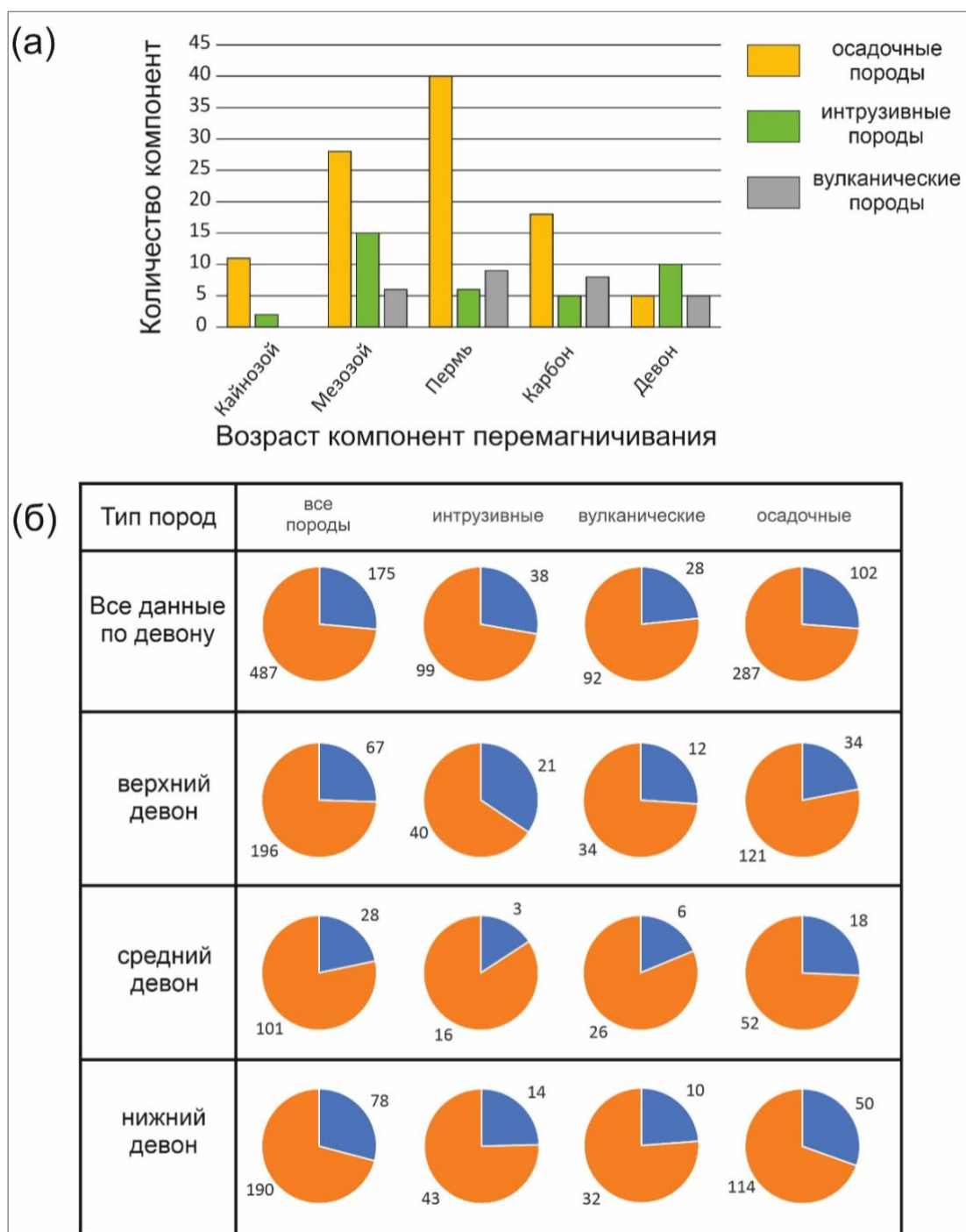


Рис. 6. Количество компонент разных возрастов в зависимости от типа пород (а) и диаграммы, отражающие процентное соотношение компонент соответствующих возрасту пород (оранжевый цвет) и более позднего возраста (синий цвет) в зависимости от типа и возраста исследованных пород (б)

Какой-либо зависимости между типом пород, возрастом (нижний, средний и верхний девон) и наличием компонент более позднего возраста (т.е. компонент, обусловленных перемагничиванием пород) не наблюдается. Процентное соотношение компонент соответствующих возрасту пород и более позднего возраста, в целом, не зависит ни от типа, ни от возраста образования пород (рис. 6б). Четкой связи между палеогеографическим

положением и наличием компонент, связанных с перемагничиванием пород, также не обнаружено. Это может свидетельствовать о всеобщем характере условий, которые способствовали перемагничиванию пород.

Второй тип палеомагнитной записи отмечен для пород, где по результатам анализа не наблюдаются группы характеристических компонент J_n с высокой кучностью и распределение направлений характеристических компонент J_n близко к хаотичному в пределах одного или нескольких секторов стереограммы, или же можно выделить несколько групп направлений в пределах одного или нескольких секторов стереограммы. Этот тип наблюдается в изученных разрезах Центрального девонского поля – Ливенский карьер и Донское месторождение. Такой тип отмечен также для некоторых разрезов известняков, например, в Канаде [Van der Boon et al., 2022], Австралии [Hansma et al., 2015; Green et al., 2021] и для андезитов и базальтов северного Тянь-Шаня [Баженов, Левашова, 2011; Vazhenov et al., 2013], при этом во всех вышеперечисленных работах приведены стереограммы характеристических компонент. По литературным данным такие результаты отмечены при исследовании интрузивных пород [Geuna, Escosteguy, Miró, 2008].

Третий тип палеомагнитной записи отмечается в редких случаях при изучении разрезов Сибири разными группами исследователей и представляет собой аномальные направления девонского поля с хорошей кучностью, значительно отклоняющихся от ожидаемых направлений, полюса которых не отвечают девонским сегментам ТКМПП [Казанский, Кунгурцев, Брагин, 1996; Шаццлло, Павлов, 2019; Лузан, Метелкин, Елисеев, 2023].

Если рассматривать палеомагнитные результаты по разрезу Семилуки, Ливенский карьер и Донское месторождение в контексте вышеизложенной систематики, то для разреза Семилуки отмечен первый тип палеомагнитной записи. Там имеются единичные данные, соответствующие ожидаемым девонским направлениям, но преимущественно отмечены компоненты близкие по направлению к современному геомагнитному полю. Палеомагнитные данные по разрезам Ливенский карьер и Донское месторождение отвечают второму типу палеомагнитной записи, поскольку направление характеристической компоненты J_n с большим разбросом группируется преимущественно в третьей (Донское месторождение) и первой четвертях (Ливенский карьер) стереограммы.

Заключение

Представлены результаты исследования верхнедевонских пород Центрального девонского поля. По разрезу Семилуки преимущественно определяется лишь компонента естественной остаточной намагниченности, направление которой сходно с направлением современного магнитного поля в районе работ. По разрезам Ливенский карьер и Донское

месторождение направления компонент J_n на стереограмме с сильным разбросом группируются в первой и третьей четвертях, что может свидетельствовать либо о сбое при фиксации магнитного поля в горной породе, либо об аномальном состоянии геомагнитного поля девона.

Предпринята первая попытка типизации палеомагнитных данных по девону. Анализ базы данных позволил выявить несколько типов палеомагнитной записи в горных породах девона. Для первого типа характерны ожидаемые девонские направления, часто, в совокупности с компонентами более позднего возраста как результата влияния перемагничивания горных пород. Этот тип представляется единственным перспективным для получения магнитостратиграфических данных и полюсов для реконструкции ТКМПП. Это верно при условии невысокого процента перемагниченных стратиграфических уровней разреза геомагнитным полем в постдевонское время и при условии доказательства первичности естественной остаточной намагниченности. К таким объектам относятся, к примеру, разрезы о-ва Западный Шпицберген [Иосифиди, Сальная, 2024a]. Образцы второго и третьего типов при этом не могут выступать в качестве перспективных объектов изучения для построения магнитостратиграфических шкал или для уточнения ТКМПП, но крайне важно суммировать эти данные для лучшего понимания механизмов фиксации в горных породах и исследования эволюции геомагнитного поля.

Благодарности. Автор выражает благодарность И.В. Федюкину за участие в полевых работах по отбору ориентированных образцов и измерение коллекций.

Финансирование. Работы проводились при финансовой поддержке гранта РНФ 23-27-00461 (<https://rscf.ru/project/23-27-00461/>).

Литература

Баженов М.Л., Левашова Н.М. Амплитуда вековых вариаций направления геомагнитного поля в верхнедевонских вулканитах Северного Тянь-Шаня // Физика Земли. - 2011. - № 12. - С. 74-86.

Бахмутов В., Тейсер-Еленська М., Кадзялко-Хофмоэль М., Константиненко Л., Поляченко Е. Палеомагнитные исследования нижнедевонских сероцветных отложений Подолии // Геофизический журнал. - 2012. - Т. 34. - № 6. - С. 57-67.

Гуревич Е.Л., Храмов А.Н., Родионов В.П., Деккерс М., Федоров П.В. Палеомагнетизм ордовикских и девонских осадочных пород северо-запада Русской платформы: новые данные о кинематике Балтики в палеозое и о пермо-триасовом перемагничивании // Физика Земли. - 2005. - №7. - С. 48-64.

Иосифиди А.Г., Попов В.В. Палеомагнитные исследования средне-верхнедевонских отложений Воронежской антеклизы (Павловский карьер) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2021. - Т.16. - №4. - http://www.ngtp.ru/rub/2021/39_2021.html DOI: [10.17353/2070-5379/39_2021](https://doi.org/10.17353/2070-5379/39_2021)

Иосифиди А.Г., Попов В.В., Журавлев А.В. Верхнедевонские отложения (франский ярус)

северо-запада Русской платформы: палеомагнитные данные // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2020. - Т.15. - №4. - http://www.ngtp.ru/rub/2020/42_2020.html DOI: [10.17353/2070-5379/42_2020](https://doi.org/10.17353/2070-5379/42_2020)

Иосифиди А.Г., Сальная Н.В. Девонские отложения Южного Тимана: палеомагнитные данные // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2024а. - Т.19. - №1. - https://www.ngtp.ru/rub/2024/7_2024.html EDN: JMTECL

Иосифиди А.Г., Сальная Н.В. Магнитная стратиграфия нижнедевонских отложений острова Западный Шпицберген (свита Френкельриджен) // Физика земли. - 2024б. - № 4. - С. 123-141.

Иосифиди А.Г., Родионов В.П., Попов В.В., Сальная Н.В. Жизнь, отданная науке (Ученые ВНИГРИ, А.Н. Храмов). - Санкт-Петербург: ФГУП «ВНИГРИ», 2015. - 68 с.

Казанский А.Ю., Кунгурцев Л.В., Брагин В.Ю. Палеомагнитные направления девонских комплексов восточной части Алтае-Саянской складчатой области // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. - М., 1996. - С. 48-50.

Лузан М.Е., Метелкин Д.В., Елисеев А.А. К вопросу конфигурации девонского геомагнитного поля и причинах псевдохаотического распределения палеомагнитных векторов по результатам изучения базитов Минусинского прогиба // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: сборник тезисов Всероссийской конференции с международным участием. - Казань: Казан. Фед. Ун-т, 2023. - С. 38.

Погарская И.А. Палеомагнетизм девона Русской платформы // Палеомагнитные методы в стратиграфии: сборник научных трудов. - Л.: ВНИГРИ, 1984. - С. 42-55.

Раскатова М.Г., Рясной А.А., Косинова И.И. Литологическая и палинологическая характеристика елецких отложений фаменского яруса Донского месторождения (Липецкая область) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. - 2014. - № 1. - С.25-33

Раскатова М.Г., Щемелинина А.А., Дмитриев Д.А. Новые данные к палинологической характеристике елецких отложений фаменского яруса верхнего девона Донского месторождения (Липецкая область) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. - 2022. - №4. - С.28-37. DOI: [10.17308/geology/1609-0691/2022/4/28-37](https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/4/28-37)

Родионов В.П., Храмов А.Н., Гуревич Е.Л., Томша В.А. Палеомагнетизм девона северо-востока главного девонского поля: ключевой палеомагнитный полюс и магнитостратиграфия верхнего франа // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород; теория, практика, эксперимент: материалы международной школы-семинара. - СПб: СОЛО, 2010. - С.121-126.

Русецкая Г.А., Тарасенко А.Б., Вербицкий В.Р., Храмов А.Н., Журавлев А.В., Евдокимова И.О., Иосифиди А.Г., Томша В.А., Сокиран Е.В. Стратопип бурегских слоев (франский ярус); главное девонское поле // Литосфера. - 2013. - №5. - С. 42-56.

Сальная Н.В. Палеомагнетизм верхнедевонских пород Андомской горы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2023. - Т.18. - №4. - http://www.ngtp.ru/rub/2023/44_2023.html EDN: NBMYSI

Тихомиров С.В. Этапы осадконакопления девона Русской платформы и общие вопросы развития и строения стратисферы. - М.: Недра, 1995. - 445 с.

Храмов А.Н. Палеомагнитная корреляция осадочных толщ // Труды ВНИГРИ. - 1958. - Вып. 116. - С. 218.

Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А., Писаревский С.А., Погарская И.А., Ржевский Ю.С., Родионов В.П., Слауцитайс И.П. Палеомагнитология. - Л.: Недра, 1982. - 312 с.

Храмов А.Н., Шкатова В.К. Общая магнитостратиграфическая шкала полярности фанерозоя / Дополнения к Стратиграфическому кодексу России; отв. ред. А.И. Жамойда. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. - С. 24-45.

Шаццлло А.В., Павлов В.Э. Систематика палеомагнитных направлений раннего-среднего девона минусинских впадин: новые данные и старые проблемы// Физика Земли. - 2019. - № 3.

- С. 97-116.

Bazhenov M.L., Van der Voo R., Levashova N.M., Dominguez A.R. Late Devonian palaeomagnetism of the North Tien Shan, Kyrgyzstan: can secular variation vary on a short timescale? // *Geophysical Journal International*. - 2013. - 193(2). - P. 635-649. DOI: [10.1093/gji/ggt011](https://doi.org/10.1093/gji/ggt011)

Becker R.T., Marshall J.E.A., Da Silva A.-C. The Devonian Period, *Geologic Time Scale*. 2020. Elsevier. DOI: [10.1016/B978-0-12-824360-2.00022-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00022-X)

Chadima M., Hroudá F. Remasoft 3.0 a user-friendly paleo-magnetic data browser and analyzer // *Travaux Géophysiques*. - 2006. - XXVII. - P. 20-21.

Efremov I.V., Veselovskiy R.V. PM Tools: New Application for Paleomagnetic Data Analysis // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. - 2023. - Vol. 59. - No. 5. - P. 798-805.

Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of palaeomagnetic data. Pacific Geoscience Centre. Geol. Survey Canada. Sidney. 1994. - 16 p.

Geuna S.E., Escosteguy L.D., Miró R. Palaeomagnetism of the Late Devonian-Early Carboniferous Achala Batholith, Córdoba, central Argentina: Implications for the apparent polar wander path of Gondwana // *Gondwana Research*. - 2008. - V. 13(2). - P. 227-237. DOI: [10.1016/j.gr.2007.05.006](https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.05.006)

Green T., Slotznick S.P., Jaqueto P., Raub T.D., Tohver E., Playton T.E., Haines P.W., Kirschvink J.L., Hocking R.M., Montgomery P. High-Resolution Late Devonian Magnetostratigraphy from the Canning Basin, Western Australia: A Re-Evaluation // *Frontiers in Earth Science*. - 2021. - V. 9. DOI: [10.3389/feart.2021.757749](https://doi.org/10.3389/feart.2021.757749)

Hansma J., Tohver E., Yan M., Trinajstić K., Roelofs B., Peek S., Slotznick S.P., Kirschvink J., Playton T., Haines P., Hocking R. Late Devonian carbonate magnetostratigraphy from the Oscar and Horse Spring Ranges, Lennard Shelf, Canning Basin, Western Australia // *Earth Planet. Sci. Lett.* - 2015. - V.409. - P. 232-242. DOI: [10.1016/j.epsl.2014.10.054](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.10.054)

Iosifidi A.G., Khramov A.N. Paleomagnetism of Devonian and Carboniferous sedimentary rocks of Spitsbergen: to the paleosoic history of the Barents-Kara basin framing // *Izvestiya Physics of the Solid Earth*. - 2013. - No. 49. - P.725-742. DOI: [10.1134/S1069351313040034](https://doi.org/10.1134/S1069351313040034)

Jasonov P.G., Nurgaliev D.K., Burov B.V., Heller F. A modernized coercivity spectrometer // *Geologica Carpathica*. - 1998. - V. 49. - P. 224-226.

Jelenska M., Kadzialko-Hofmokl M., Bakhmutov V., Poliachenko I., Ziolkowski P. Palaeomagnetic and rock magnetic study of Lower Devonian sediments from Podolia, SW Ukraine: remagnetization problems // *Geophys. J. Int.* - 2015. - V. 200. - P. 557-573.

Katinas V., Nawrocki J. Mesozoic remagnetization of Upper Devonian carbonates from the Èesis and Skaistgirys quarries (Baltic states) // *Geol. Quart.* - 2004. - V.48 (3). - P.293-298.

Khramov A.N. Palaeomagnetism and stratigraphic correlation. Department of Geophysics at the Australian National University. Canberra. - 1960. - 204 p.

Kirschvink J.L. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data // *Geophys. J. R. Astron. Soc.* - 1980. - V. 62. - P. 699-718.

Lowrie W. Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercitivity and unblocking temperature properties // *Geophysical Research Letters*. - 1990. - V. 17. - No. 2. - P. 159-162.

Menning M.A. The Permian Illavarra reversal SE-Australia as global correlation marker versus Ar ages and palynological correlation. Contributions to Geology and palaeontology of Gondwana / Eds. Weiss R.H. Coloune. - 2001. - P.325-332.

Opdyke N.D., Channell J.E.T. Magnetic stratigraphy. International Geophysics Series. V. 64. London - New York: Academic Press, 1996. - 346 p.

Pisarevsky S.A. New Edition of the Global Palaeomagnetic Database. *EOS Transact.* - 2005. - V. 66. - P. 170. DOI: [10.1029/2005EO170004](https://doi.org/10.1029/2005EO170004)

Pisarevsky S.A., Li Z.X., Tetley M.G., Liu Y., Beardmore J. An updated internet-based Global Paleomagnetic Database. *Earth Science Reviews* // *Earth-Science Reviews*. - 2022. - V. 235. - 104258. DOI: [10.1016/j.earscirev.2022](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022)

Smethurst M.A., Khramov A.N. A new Devonian palaeomagnetic pole for the Russian platform

and Baltica, and related apparent polar wander // *Geophys. J. Int.* - 1992. - V.108. - P. 179-192.

Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., Mac Niocaill C., Steinberger B., Doubrovine P.V., Cocks L.R.M. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth-Science Reviews.* - 2012. - V. 114(3-4). - P. 325-368.

Van der Boon A., Biggin A. J., Thallner D., Hounslow M. W., Bono R., Nawrocki J., Wójcik K., Paszkowski M., Königshof P., de Backer T., Kabanov P., Gouwy S., Vanden Berg R., Da Silva A.-C. A persistent non-uniformitarian paleomagnetic field in the Devonian? // *Earth-Science Reviews.* - 2022. - V.231. DOI: [10.1016/j.earscirev.2022.104073](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104073)

Zijderveld J.D.A. AC Demagnetization of rocks: analysis of results // *Methods in Palaeomagnetism* / Collinson D.W. (ed.). Amsterdam: Elsevier. 1967. - P. 254-286.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license

Received 13.11.2024

Published 16.01.2025

Sal'naya N.V.

Federal State Institution of Science Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, natasavi@inbox.ru

TYPES OF PALEOMAGNETIC RECORD IN DEVONIAN ROCKS: NEW DATA ON THE CENTRAL DEVONIAN FIELD AND ANALYSIS OF THE RESULTS

To date, there are significant differences in the existing magnetostratigraphic scales and trajectories of the apparent motion of the paleomagnetic pole for the Devonian period, which makes it extremely difficult to apply the paleomagnetic method to solve geological problems of correlation and section dating. The paper presents new paleomagnetic data and the results of an analysis of the paleomagnetic data available in the World databases. Studies have revealed the presence of three types of paleomagnetic records in Devonian rocks. Magnetostratigraphy methods can be successfully applied on sections with the first type without significant influence of the remagnetization components.

Keywords: *Central Devonian field, Devonian period, paleomagnetic method, magnetostratigraphy.*

For citation: Sal'naya N.V. Tipy paleomagnitnoy zapisi v devonskikh gornykh porodakh: novyye dannyye po Tsentral'nomu devonskomu polyu i analiz rezul'tatov [Types of paleomagnetic record in Devonian rocks: new data on the Central Devonian field and analysis of the results]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2025, vol. 20, no. 1, available at: https://www.ngtp.ru/rub/2025/1_2025.html EDN: WUFZKX

References

Bakhmutov V., Teyser-Elens'ka M., Kadzyalko-Khofmokl' M., Konstantinenko L., Polyachenko E. Paleomagnitnye issledovaniya nizhnedeviskikh serotsvetnykh otlozheniy Podolii [Paleomagnetic studies of the Lower Devonian gray-colored strata of Podolia]. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2012, vol. 34, no. 6, pp. 57-67. (In Russ.).

Bazhenov M.L., Levashova N.M. Amplituda vekovykh variatsiy napravleniya geomagnitnogo polya v verkhne-devonskikh vulkanitakh Severnogo Tyan'-Shanya [Amplitude of secular variations in the direction of the geomagnetic field in the Upper Devonian volcanics of the Northern Tien Shan]. *Fizika Zemli*, 2011, no. 12, pp. 74-86. (In Russ.).

Bazhenov M.L., Van der Voo R., Levashova N.M., Dominguez A.R. Late Devonian palaeomagnetism of the North Tien Shan, Kyrgyzstan: can secular variation vary on a short timescale? *Geophysical Journal International*, 2013, vol. 193(2), pp. 635-649. DOI: [10.1093/gji/ggt011](https://doi.org/10.1093/gji/ggt011)

Becker R.T., Marshall J.E.A., Da Silva A.-C. *The Devonian Period. Geologic Time Scale*, 2020, Elsevier. DOI: [10.1016/B978-0-12-824360-2.00022-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00022-X)

Chadima M., Hroudá F. Remasoft 3.0 a user-friendly paleo-magnetic data browser and analyzer. *Travaux Géophysiques*, 2006, XXVII, pp. 20-21.

Efremov I.V., Veselovskiy R.V. PM Tools: New Application for Paleomagnetic Data Analysis. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2023, vol. 59, no. 5, pp. 798-805.

Enkin R.J. *A computer program package for analysis and presentation of palaeomagnetic data*. Pacific Geoscience Centre. Geol. Survey Canada. Sidney, 1994, 16 p.

Geuna S.E., Escosteguy L.D., Miró R. Palaeomagnetism of the Late Devonian-Early Carboniferous Achala Batholith, Córdoba, central Argentina: Implications for the apparent polar wander path of Gondwana. *Gondwana Research*, 2008, vol. 13(2), pp. 227-237. DOI: [10.1016/j.gr.2007.05.006](https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.05.006)

Green T., Slotznick S.P., Jaqueto P., Raub T.D., Tohver E., Playton T.E., Haines P.W.,

Kirschvink J.L., Hocking R.M., Montgomery P. High-Resolution Late Devonian Magnetostratigraphy from the Canning Basin, Western Australia: A Re-Evaluation. *Frontiers in Earth Science*, 2021, vol. 9. DOI: [10.3389/feart.2021.757749](https://doi.org/10.3389/feart.2021.757749)

Gurevich E.L., Khramov A.N., Rodionov V.P., Dekkers M., Fedorov P.V. Paleomagnetizm ordovikskikh i devonskikh osadochnykh porod severo-zapada Russkoy platformy: novye dannye o kinematike Baltiki v paleozoe i o permo-triasovom peremagnichivanii [Paleomagnetism of Ordovician and Devonian sedimentary rocks of the northwest Russian platform: new data on the kinematics of Baltica in the Paleozoic and on the Permian-Triassic remagnetization]. *Fizika Zemli*, 2005, no. 7, pp. 48-64. (In Russ.).

Hansma J., Tohver E., Yan M., Trinajstić K., Roelofs B., Peek S., Slotznick S.P., Kirschvink J., Playton T., Haines P., Hocking R. Late Devonian carbonate magnetostratigraphy from the Oscar and Horse Spring Ranges, Lennard Shelf, Canning Basin, Western Australia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2015, vol. 409, pp. 232-242. DOI: [10.1016/j.epsl.2014.10.054](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.10.054)

Iosifidi A.G., Khramov A.N. Paleomagnetism of Devonian and Carboniferous sedimentary rocks of Spitsbergen: to the paleozoic history of the Barents-Kara basin framing. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 2013, no. 49, pp. 725-742. DOI: [10.1134/S1069351313040034](https://doi.org/10.1134/S1069351313040034)

Iosifidi A.G., Popov V.V. Paleomagnitnye issledovaniya sredne-verkhnedevonskikh otlozheniy Voronezhskoy anteklizy (Pavlovskiy kar'er) [Paleomagnetic studies of the Middle-Upper Devonian section of the Voronezh antecline (Pavlov quarry)]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2021, vol. 16, no. 4, available at: http://www.ngtp.ru/rub/2021/39_2021.html (In Russ.). DOI: [10.17353/2070-5379/39_2021](https://doi.org/10.17353/2070-5379/39_2021)

Iosifidi A.G., Popov V.V., Zhuravlev A.V. Verkhnedevonskie otlozheniya (franskiy yarus) severo-zapada Russkoy platformy: paleomagnitnye dannye [Upper Devonian (Frasnian stage) of the north-western part of the Russian Platform: paleomagnetic data]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2020, vol. 15, no. 4, available at: http://www.ngtp.ru/rub/2020/42_2020.html (In Russ.). DOI: [10.17353/2070-5379/42_2020](https://doi.org/10.17353/2070-5379/42_2020)

Iosifidi A.G., Rodionov V.P., Popov V.V., Sal'naya N.V. *Zhizn', otdannaya nauke (Uchenye VNIGRI, A.N. Khramov)* [Life devoted to science (VNIGRI scientists, A.N. Khramov)]. St-Petersburg: FGUP «VNIGRI», 2015, 68 p. (In Russ.).

Iosifidi A.G., Sal'naya N.V. Devonskie otlozheniya Yuzhnogo Timana: paleomagnitnye dannye [Devonian strata of the Southern Timan: paleomagnetic data]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2024, vol. 19, no. 1, available at: https://www.ngtp.ru/rub/2024/7_2024.html (In Russ.). EDN: JMTECL

Iosifidi A.G., Sal'naya N.V. Magnitnaya stratigrafiya nizhnedevoevskikh otlozheniy ostrova Zapadnyy Shpitsbergen (svita Frenkel'ridzhen) [Magnetic stratigraphy of the Lower Devonian section of West Spitsbergen Island (Frenkelrijen Formation)]. *Fizika zemli*, 2024b, no. 4, pp. 123-141. (In Russ.).

Jasonov P.G., Nurgaliev D.K., Burov B.V., Heller F. A modernized coercivity spectrometer. *Geologica Carpathica*, 1998, vol. 49, pp. 224-226.

Jelenska M., Kadziak-Hofmökler M., Bakhmutov V., Poliachenko I. and Ziołkowski P. Palaeomagnetic and rock magnetic study of Lower Devonian sediments from Podolia, SW Ukraine: remagnetization problems. *Geophys. J. Int.*, 2015, vol. 200, pp. 557-573.

Katinas V., Nawrocki J. Mesozoic remagnetization of Upper Devonian carbonates from the Èesis and Skaistgirys quarries (Baltic states). *Geol. Quart.*, 2004, vol. 48 (3), pp. 293-298.

Kazanckiy A.Yu., Kunguptsev L.V., Bpagin V.Yu. Paleomagnitnye napravleniya devonskikh kompleksov vostochnoy chasti Altae-Cayanckoy skladchatoy oblasti [Paleomagnetic directions of the Devonian structure of the eastern part of the Altai-Sayan folded region]. *Paleomagnetizm i magnetizm gornykh porod*, Moscow, 1996, pp. 48-50. (In Russ.).

Khramov A.N. *Palaeomagnetism and stratigraphic correlation*. Department of Geophysics at the Australian National University. Canberra, 1960, 204 p.

Khramov A.N. Paleomagnitnaya korrelyatsiya osadochnykh tolshch [Paleomagnetic correlation of sedimentary strata]. *Trudy VNIGRI*, 1958, issue 116, p. 218.

Khramov A.N., Goncharov G.I., Komissarova R.A., Pisarevskiy S.A., Pogarskaya I.A., Rzhnevskiy Yu.S., Rodionov V.P., Slautsitays I.P. *Paleomagnetologiya* [Paleomagnetology]. Leningrad: Nedra, 1982, 312 p.

Khramov A.N., Shkatova V.K. *Obshchaya magnitostratigraficheskaya shkala polyarnosti fanerozoia. Dopolneniya k Stratigraficheskomu kodeksu Rossii* [General magnetostratigraphic polarity scale of the Phanerozoic. Supplements to the Stratigraphic Code of Russia]. Ed. A.I. Zhamoida. St. Petersburg. VSEGEI Publishing House, 2000, pp. 24-45. (In Russ.).

Kirschvink J.L. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 1980, vol. 62, pp. 699-718.

Lowrie W. Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercitivity and unblocking temperature properties. *Geophysical Research Letters*, 1990, vol. 17, no. 2, pp. 159-162.

Luzan M.E., Metelkin D.V., Eliseev A.A. K voprosu konfiguratsii devonskogo geomagnitnogo polya i prichinakh psevdokhaoticheskogo raspredeleniya paleomagnitnykh vektorov po rezul'tatam izucheniya bazitov Minusinskogo progiba [On the configuration of the Devonian geomagnetic field and the causes of the pseudo-chaotic distribution of paleomagnetic vectors based on the results of studying the basites of the Minusinsk trough]. *Paleomagnetizm i magnetizm gornyx porod: sbornik tezisev Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, Kazan': Kazan. Fed. Un-t, 2023, p. 38. (In Russ.).

Menninig M.A. The Permian Illavarra reversal SE-Australia as global correlation marker versus Ar ages and palynological correlation. *Contributions to Geology and palaeontology of Gondwana*. Eds. Weiss R.H. Coloune, 2001, pp. 325-332.

Opdyke N.D., Channell J.E.T. *Magnetic stratigraphy. International Geophysics Series*, vol. 64. London - New York: Academic Press, 1996, 346 p.

Pisarevsky S.A. New Edition of the Global Palaeomagnetic Database. *EOS Transact*, 2005, vol. 66, p. 170. DOI: [10.1029/2005EO170004](https://doi.org/10.1029/2005EO170004)

Pisarevsky S.A., Li Z.X., Tetley M.G., Liu Y., Beardmore J. An updated internet-based Global Paleomagnetic Database. *Earth-Science Reviews*, 2022, vol. 235, p. 104258. DOI: [10.1016/j.earscirev.2022.104258](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104258)

Pogarskaya I.A. Paleomagnetizm devona Russkoy platformy [Paleomagnetism of the Devonian of the Russian Platform]. *Paleomagnitnye metody v stratigrafii: sbornik nauchnykh trudov*. Leningrad: VNIGRI, 1984, pp. 42-55. (In Russ.).

Raskatova M.G., Ryasnoy A.A., Kosinova I.I. Litologicheskaya i palinologicheskaya kharakteristika eletsikh otlozheniy famenskogo yarusa Donskogo mestorozhdeniya (Lipetskaya oblast') [Lithological and palynological characteristics of the Yelets strata of the Famennian stage of the Donskoy deposit (Lipetsk region)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya: Geologiya*, 2014, no. 1, pp. 25-33. (In Russ.).

Raskatova M.G., Shchemelinina A.A., Dmitriev D.A. Novye dannye k palinologicheskoy kharakteristike eletsikh otlozheniy famenskogo yarusa verkhnego devona Donskogo mestorozhdeniya (Lipetskaya oblast') [New data on the palynological characteristics of the Yelets strata of the Famennian stage of the Upper Devonian of the Donskoy deposit (Lipetsk region)]. *Vestnik VGU. Seriya: Geologiya*, 2022, no. 4, pp. 28-37. (In Russ.). DOI: [10.17308/geology/1609-0691/2022/4/28-37](https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/4/28-37)

Rodionov V.P., Khramov A.N., Gurevich E.L., Tomsha V.A. Paleomagnetizm devona severovostoka glavnogo devonskogo polya: klyuchevoy paleomagnitnyy polyus i magnitostratigrafiya verkhnego frana [Devonian paleomagnetism of the northeast of the main Devonian field: the key paleomagnetic pole and magnetostratigraphy of the Upper Frasnian]. *Paleomagnetizm i magnetizm gornyx porod; teoriya, praktika, eksperiment: materialy mezhdunarodnoy shkoly-seminara*. St. Petersburg: SOLO, 2010, pp. 121-126. (In Russ.).

Rusetskaya G.A., Tarasenko A.B., Verbitskiy V.R., Khramov A.N., Zhuravlev A.V., Evdokimova I.O., Iosifidi A.G., Tomsha V.A., Sokiran E.V. Stratopip buregskikh sloev (franskiy yarus); glavnoe devonskoe pole [Stratopepe of the Bureg layers (Frasnian stage); the main Devonian field]. *Litosfera*, 2013, no. 5, pp. 42-56. (In Russ.).

Sal'naya N.V. Paleomagnetizm verkhnedevonskikh porod Andomskoy gory [Paleomagnetism of the Upper Devonian rocks of the Andoma Hill]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2023, vol. 18, no. 4, available at: http://www.ngtp.ru/rub/2023/44_2023.html (In Russ.). EDN: NBMYSI

Shatsillo A.V., Pavlov V.E. Sistematika paleomagnitnykh napravleniy rannego-srednego devona minusinskikh vpadin: novye dannye i starye problemy [Systematics of paleomagnetic directions of the Early-Middle Devonian Minusinsk basins: new data and old problems]. *Fizika Zemli*, 2019, no. 3, pp. 97-116. (In Russ.).

Smethurst M.A., Khramov A.N. A new Devonian palaeomagnetic pole for the Russian platform and Baltica, and related apparent polar wander. *Geophys. J. Int.*, 1992, vol. 108, pp. 179-192.

Tikhomirov S.V. *Etapy osadkonakopleniya devona Russkoy platformy i obshchie voprosy razvitiya i stroeniya stratisfery* [Stages of sedimentation of the Devonian of the Russian platform and general issues of development and structure of the stratosphere]. Moscow: Nedra, 1995, 445 p. (In Russ.).

Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., Mac Niocaill C., Steinberger B., Doubrovine P.V., Cocks L.R.M. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth-Science Reviews*, 2012, vol. 114(3-4), pp. 325-368.

Van der Boon A., Biggin A.J., Thallner D., Hounslow M.W., Bono R., Nawrocki J., Wójcik K., Paszkowski M., Königshof P., de Backer T., Kabanov P., Gouwy S., Vanden Berg R., Da Silva A.-C. A persistent non-uniformitarian paleomagnetic field in the Devonian? *Earth-Science Reviews*, 2022, vol. 231. DOI: [10.1016/j.earscirev.2022.104073](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104073)

Zijderveld J.D.A. AC Demagnetization of rocks: analysis of results. *Methods in Palaeomagnetism*. Ed. D.W. Collinson. Amsterdam: Elsevier, 1967, pp. 254-286.