

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Поступила в редакцию 26.02.2024 г.

Принята к публикации 29.03.2024 г.

EDN: JMTECL

УДК 550.384:551.735(470.13)

Иосифиди А.Г.

Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова РАН (СПбФ ИЗМИРАН), Санкт-Петербург, Россия, iosag@mail.ru

Сальная Н.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ФГБУН ГИН РАН), Москва, Россия, natasavi@inbox.ru

ДЕВОНСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ ЮЖНОГО ТИМАНА: ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ

Представлены новые палеомагнитные определения по рекогносцировочной коллекции горных пород франского и фаменского ярусов верхнего девона, отобранной на рр. Ухта и Ижма. Выделены три компонента естественной остаточной намагниченности. Компонента А, послескладчатая близка современному направлению геомагнитного поля. Биполярная доскладчатая компонента С: $N/n=15/16$, $D=31^\circ$, $I=25^\circ$, $K=28$, $\alpha_{95^\circ}=7$, $\Phi=35^\circ N$, $\Lambda=196^\circ E$, $dp=4^\circ$, $dm=8^\circ$, тест обращения - положительный. Палеомагнитный полюс компоненты С имеет большое отклонение по долготе на восток, относительно траекторий кажущегося движения палеомагнитных полюсов для Восточно-Европейской и Русской платформ. Третья, доскладчатая, биполярная компонента D3 франского и раннефаменского возраста с положительным тестом обращения полярности геомагнитного поля: $N/n=36/36$, $D=103^\circ$, $I=31^\circ$, $K=29$, $\alpha_{95^\circ}=5$, $\Phi=8^\circ N$, $\Lambda=125^\circ E$, $dp=3^\circ$, $dm=6^\circ$. Полученное положение палеомагнитного полюса по компоненте D3 указывает на поворот изученных пород по отношению к Русской платформе по часовой стрелке на 10÷20 градусов. Проведена корреляция разрезов с имеющимися магнитостратиграфическими шкалами для отложений франского и фаменского ярусов верхнего девона.

Ключевые слова: палеомагнитные определения, верхнедевонские отложения, полярность геомагнитного поля, магнитостратиграфическая шкала, палеомагнитный полюс, Русская платформа, Южный Тиман.

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

Введение

Отложения девона широко распространены на Русской платформе [Геккер, 1941; Геология СССР, 1971] и Тимане [Коссовой, 1963; Опорные разрезы..., 1997]. Палеомагнитные исследования девонских отложений Русской платформы ведутся с середины прошлого века. В ходе этих исследований выявлен ряд проблем, которые не позволяют получить равномерные ряды палеомагнитных данных для девонской эпохи. Детальное изучение девонских разрезов и качественные магнитостратиграфические данные позволят выявить особенности поведения геомагнитного поля в девоне, что требуется для

решения задач как магнитной стратиграфии, так и тектоники. Основные проблемы, возникающие при проведении палеомагнитных исследований девонских отложений, в том числе и по Русской платформе, и по Тиману, следующие: 1) небольшая величина естественной остаточной намагниченности осадочных отложений девона, которые содержат большое количество фауны; 2) позднепалеозойское перемагничивание пород, особенно в период существования суперхрона Киама (обратная полярность геомагнитного поля); 3) неопределенность в оценке возраста J_n красноцветных отложений Главного девонского поля (ГДП) Русской платформы и других регионов планеты (присутствуют компоненты J_n ориентационной и химической природы); 4) низкое значение величины палеонапряженности геомагнитного поля; 5) неполнота и плохая обоснованность магнитостратиграфической шкалы по девону; 6) траектории кажущегося движения палеомагнитного полюса некоторых эпох девонского времени различны из-за отсутствия равномерных рядов палеомагнитных данных по девонскому периоду.

Например, по опытам переосаждения пород сделан вывод о низком уровне величины позднедевонского геомагнитного поля [Палеомагнитология, 1982], примерно в 15-25 раз меньше современного. Это подтверждается данными определения палеонапряженности методом Телье по девонским магматическим отложениям [Щербакова и др., 2021]. Возникает вопрос о возможности получения статистически значимых палеомагнитных данных по осадочным отложениям в малых магнитных полях. В недавней работе [van der Boon et al., 2022] сделана попытка получить ответ на имеющиеся проблемы по палеомагнетизму девонских отложений, путем комплексного исследования нескольких разрезов осадочных отложений. В работе дан обзор имеющихся проблем палеомагнетизма девона и возможных путей их решения.

В 2005-2021 гг. по результатам исследований верхнедевонских отложений (франский ярус) ГДП опубликован ряд работ [Гуревич и др, 2005; Родионов и др., 2010; Русецкая и др., 2013; Иосифиди, Попов, Журавлев, 2020], ранее также получены палеомагнитные результаты по Северному [Палеомагнетизм палеозоя, 1974] и Южному Тиману [Иосифиди, Храмов, 2000; Иосифиди др., 2007].

Тимано-Печорская провинция прошла четыре геодинамических цикла: байкальский, каледонский, герцинский и альпийский. Геодинамика Тимано-Печорской провинции рассмотрена в ряде работ [Зоненшайн, Кузьмин, Натапов, 1990; Зоненшайн, Кузьмин, 1992; Тимонин, 1998; Гаврилов и др., 1998]. Краткое определение Тиманского орогена приведено в работе В.П. Гаврилова с соавторами: «Тиманское сооружение следует рассматривать как ороген, возникший на месте бывшей пассивной континентальной окраины в результате ее столкновения с активной окраиной Печорской плиты. В результате этого столкновения,

имевшего место в конце венда - начале кембрия, рифейский комплекс, накапливавшийся на подводной окраине Восточно-Европейского материка, смялся и частично подвергся метаморфизму в результате надвигания на него вулканической дуги. По образовавшимся пологим надвигам ороген сместился в направлении Восточно-Европейского материка. Современное строение Тимана представляется как серия тектонических чешуй, надвинутых друг на друга и частично на окраинные впадины Мезенской синеклизы» [Гаврилов и др., 1998].

Палеомагнитный метод с успехом используется для решения проблем нефтяной геологии [Храмов, Окнова, 2007]. Палеомагнитные данные позволяют количественно оценивать ряд важных параметров (палеоширота, азимут меридиана, полярность геомагнитного поля в конкретный момент геологического времени для точки отбора образцов) и определяют жесткие рамки для геодинамических и других палеорекопструкций (климатических, географических, тектонических, геодинамических), которые лежат в основе разработки моделей развития осадочных бассейнов и орогенных поясов. Геодинамическое развитие Тимано-Печорского бассейна с привлечением палеомагнитных данных реконструировано в работе [Храмов, Окнова, 2007].

Актуальность получения новых палеомагнитных определений по Русской платформе и Тиману несомненна. Работы по изучению девонского геомагнитного поля продолжаются. В данной статье представлены новые палеомагнитные результаты по девонским отложениям Южного Тимана.

Объект исследования. Стратотипические разрезы франского и фаменского ярусов девона Южного Тимана находятся в районе нижнего течения р. Ухта, притока р. Ижма, и отличаются полнотой и богатством фаунистических осадков, что обеспечивает временную привязку, столь необходимую для проведения палеомагнитных исследований. В тектоническом отношении этот район относится к северо-восточному крылу Ухтинской антиклинальной складки, расположенной в северной части Ухто-Ижемского вала. Отложения франского яруса девона Ухтинского района, за исключением самой нижней части, представлены в полном стратиграфическом объеме. Терригенные и терригенно-карбонатные отложения позднегиманского и устьярегского времени (глины, песчаники, алевролиты, известняки), формировавшиеся в мелководной обстановке, сменяются относительно глубоководными осадками впадин с некомпенсированным осадконакоплением доманиковского времени (кремнистые известняки, битумные кремнистые мергели с прослоями глин). Верхнефранский подъярус включает в себя ветласянскую, сирачойскую и ухтинскую свиты. Ветласянская свита представлена в основном глинами с прослоями алевролитов, песчаников, мергелей, а сирачойская - преимущественно известняками,

глинистыми известняками, глинами. Цикл осадконакопления франского яруса завершают глинисто-сульфатные образования ухтинского времени (известняки, доломиты, мергели, ангидриты) [Опорные разрезы..., 1997]. Самые молодые отложения изученного разреза – ижемская свита, нижняя часть фаменского яруса девона (рис. 1). Залегание этих свит близко к горизонтальному, углы падения девонских толщ не превышают первых градусов. Из указанных (за исключением ухтинской) свит отобрана рекогносцировочная коллекция ориентированных образцов, по возможности, разного фациального состава из каждого обнажения. Всего взято 205 штуфов из 11 обнажений по берегам рр. Ухта и Ижма, общей мощностью ~200 м, шаг отбора составлял 0,5÷1,5 м (рис. 1). Средние координаты отбора: $\varphi = 63,65^{\circ}\text{N}$, $\lambda = 53,6^{\circ}\text{E}$.

Экспериментальные данные

Лабораторное оборудование. Изучение коллекции проводилось в разных палеомагнитных лабораториях: г. Санкт-Петербург (ВНИГРИ, СПБИЗМИРАН), г. Мюнхен, ФРГ (Мюнхенский университет), г. Москва (ИФЗ РАН, Геологический институт РАН).

Лабораторные палеомагнитные исследования и обработка полученных результатов выполнялись по общепринятой методике [Палеомагнитология, 1982]. При проведении терморазмагничивания пород в палеомагнитной лаборатории ВНИГРИ применялись установки, помещенные в пятислойные пермаллоевые экраны (собственная конструкция ВНИГРИ) и TD48 (ASC Scientific, США). Измерения естественной остаточной намагниченности велись на магнитометрах JR-4 и JR-5 (AGICO, Czech Republic). Магнитная восприимчивость измерялась на каппа-мостах KLY-2 и KLY-3 (AGICO, Czech Republic). В других лабораториях применялось аналогичное оборудование, за исключением измерителя естественной остаточной намагниченности - где, для измерения естественной остаточной намагниченности использовались криогенные магнитометры (США).

Анализ полученных данных и представление результатов в графической форме велось с применением пакетов программ В.В. Попова¹ и R.J. Enkin [Enkin, 1994]. Для построения диаграмм Зийдервельда использована программа Remasoft 3.0 [Chadima, Hrouda, 2006]. Полевые тесты – тесты складки и обращения, применялись в ранее опубликованных версиях [Watson, Enkin, 1993; McFadden, McElhinny, 1990]. Построение траекторий кажущейся миграции палеомагнитных полюсов выполнено с использованием программы GMAP [Torsvik et al., 1990]. При обработке данных статистика проводилась на уровне штуфов.

¹ Программы-утилиты от В.В. Попова. - [http://ifz-paleomag.ru//Полезные ресурсы](http://ifz-paleomag.ru//Полезные_ресурсы)

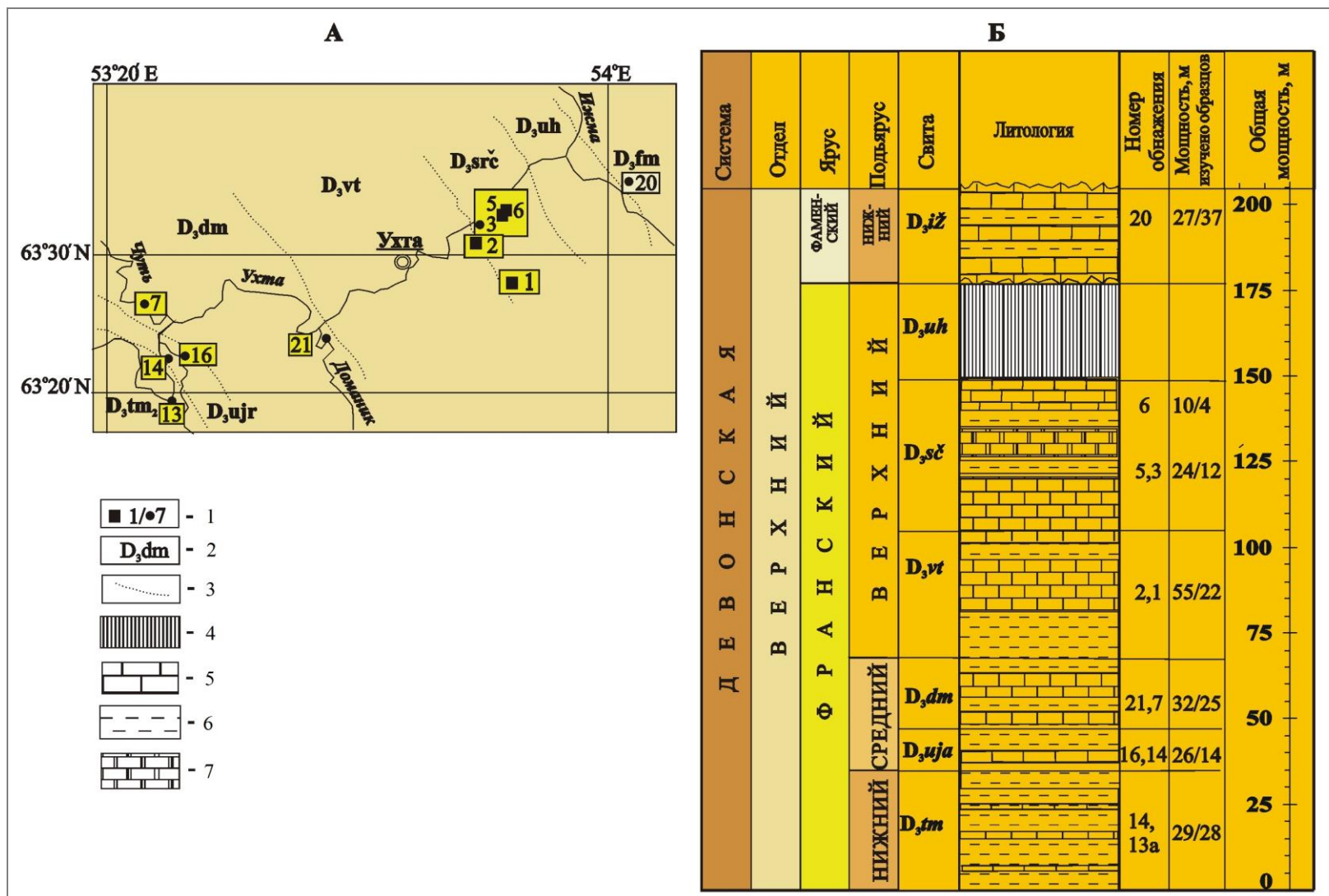


Рис. 1. Схема положения обнажений и стратиграфическая колонка

A - схема положения обнажений, Б - стратиграфическая колонка ([Опорные разрезы..., 1997], с упрощениями). 1 - карьеры/обнажения; 2 - свиты; 3 - геологические границы; 4 - отсутствие данных; 5 - известняки; 6 - глины, алевролиты; 7 - доломиты.

Магнитные свойства пород. Естественная остаточная намагниченность (J_n), изученных образцов осадочных горных пород, изменяется в пределах от $1,10E-05$ до $773,0E-02$ А/м, а объёмная магнитная восприимчивость (K_m) имеет диапазон изменений от $-1,20E-05$ до $794,0E-02$ ед. СИ (табл. 1). Среднее значение величины J_n составляет $1,10E-03$ А/м, а K_m - $6,64E-05$ ед. СИ. Гистограммы распределения величин J_n и K_m изученной коллекции горных пород показывают, что около 30% образцов, по всей вероятности, содержат мало ферромагнитных минералов и по величинам K_m и J_n соответствуют диамагнетикам и парамагнетикам (рис. 2А). Примеры изменения величин J_n и K_m при ступенчатом температурном размагничивании пород показывают, что в ряде случаев после 300°C начинаются химические изменения (рис. 2Б). Температуры размагничивания J_n лежат в пределах $100-500^\circ\text{C}$. Это указывает на магнитные минералы титаномагнетитовой серии как на основные носители естественной остаточной намагниченности девонских отложений данного района.

Компонентный анализ J_n . Примеры ступенчатого терморазмагничивания и размагничивания переменным магнитным полем образцов горных пород франского и фаменского ярусов позднедевонского возраста из обнажений рр. Ухта и Ижма представлены на рис. 3. Выделяются три компонента J_n . Первая компонента А - в широких интервалах ($100-300, 530^\circ\text{C}$; $10-40, 90$ мТ), что указывает на полное перемагничивание части пород (см. рис. 3, обр. 50-1, глинистый известняк, обн. 16 и обр. 96-2, известняк, обн. 2). Компонента А - послескладчатая, тест складки - отрицательный (табл. 2). Вторая биполярная компонента С изолируется в интервалах $250-560^\circ\text{C}$ и $15-80$ мТ (см. рис. 3, обр. 20-4, известняк, обн. 7 и обр. 179-5, известняк, обн. 21). Для компоненты С, прямой (СN) и обратной (СR) полярности, тесты складки - неопределенные, что связано, по всей вероятности, с малым количеством образцов. Отмечается присутствие синскладчатой компоненты, тест выпрямления складки дает максимум 110% для прямой полярности и 82% для обратной, при различии направлений в несколько градусов. По объединенному распределению CNR тест складки - положительный (см. табл. 2). Третья, биполярная компонента D3 выделяется в интервалах $200-400, 500^\circ\text{C}$ (см. рис. 3, обр. 43-2, известняк, обн. 13А; обр. 103-2, известняк, обн. 2; обр. 29-1, алевролит, обн. 13А и обр. 74-2, глина, обн. 2). Компонента D3 - доскладчатая, тест складки - положительный (см. табл. 2). Для компонент С и D3 тесты обращения направлений J_n - положительные (см. табл. 2). В большинстве образцов при ступенчатом размагничивании температурой и переменным магнитным полем на последних ступенях отмечается разброс направлений J_n . Вероятно, это явление связано с малой величиной J_n , на фоне которой проявляется подмагничивание образцов остаточным магнитным полем в термоустановках (см. рис. 3). Естественная остаточная намагниченность

пород порядка 1,0-0,5 мА/м. Распределения направлений, полученных по компонентам J_n , представлены на рис. 4А, Б, В. Для контроля результатов выполнено определение направления характеристической компоненты $D3NR$ по кругам размагничивания (рис. 4Г, Д). Сходимость направлений, полученных по методу главных компонент и по кругам размагничивания, - удовлетворительная (см. табл. 2, рис. 4Е). Все результаты и их статистические характеристики представлены в табл. 2.

Таблица 1

Пределы изменения величин J_n и K_m изученных пород

Возраст пород	Число образцов	Диапазон изменения J_n , А/м	Среднее арифметическое J_n , А/м	Число образцов	Диапазон изменения K_m , ед. СИ	Среднее арифметическое K_m , ед. СИ
D3	173	773,0E-02÷1,1E-05	1,07E-03	123	794,0E-02 ÷ -1,20E-05	6,64E-05

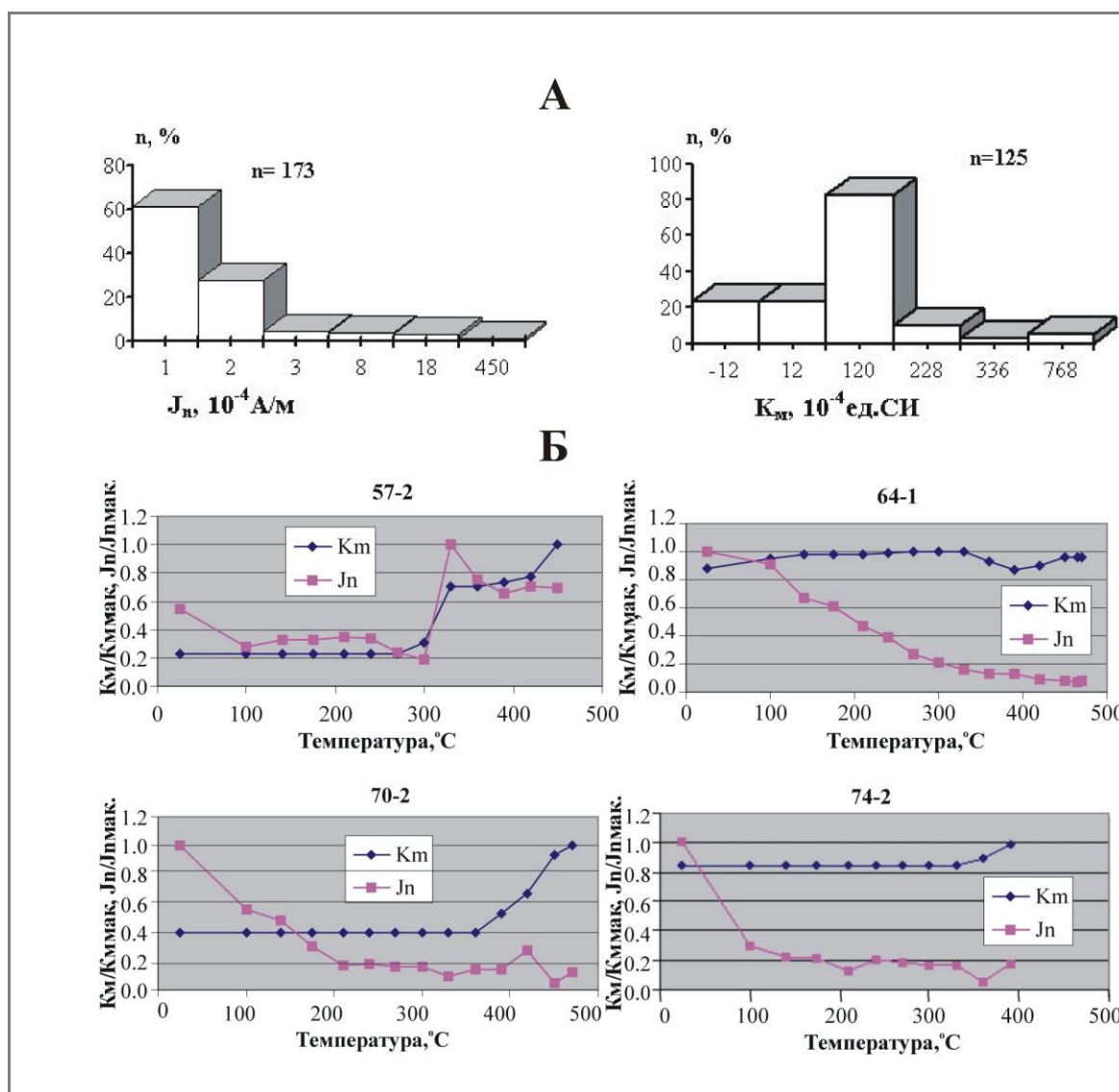


Рис. 2. Гистограммы величин J_n и K_m изученных пород и примеры их изменений в ходе ступенчатого температурного размагничивания пород

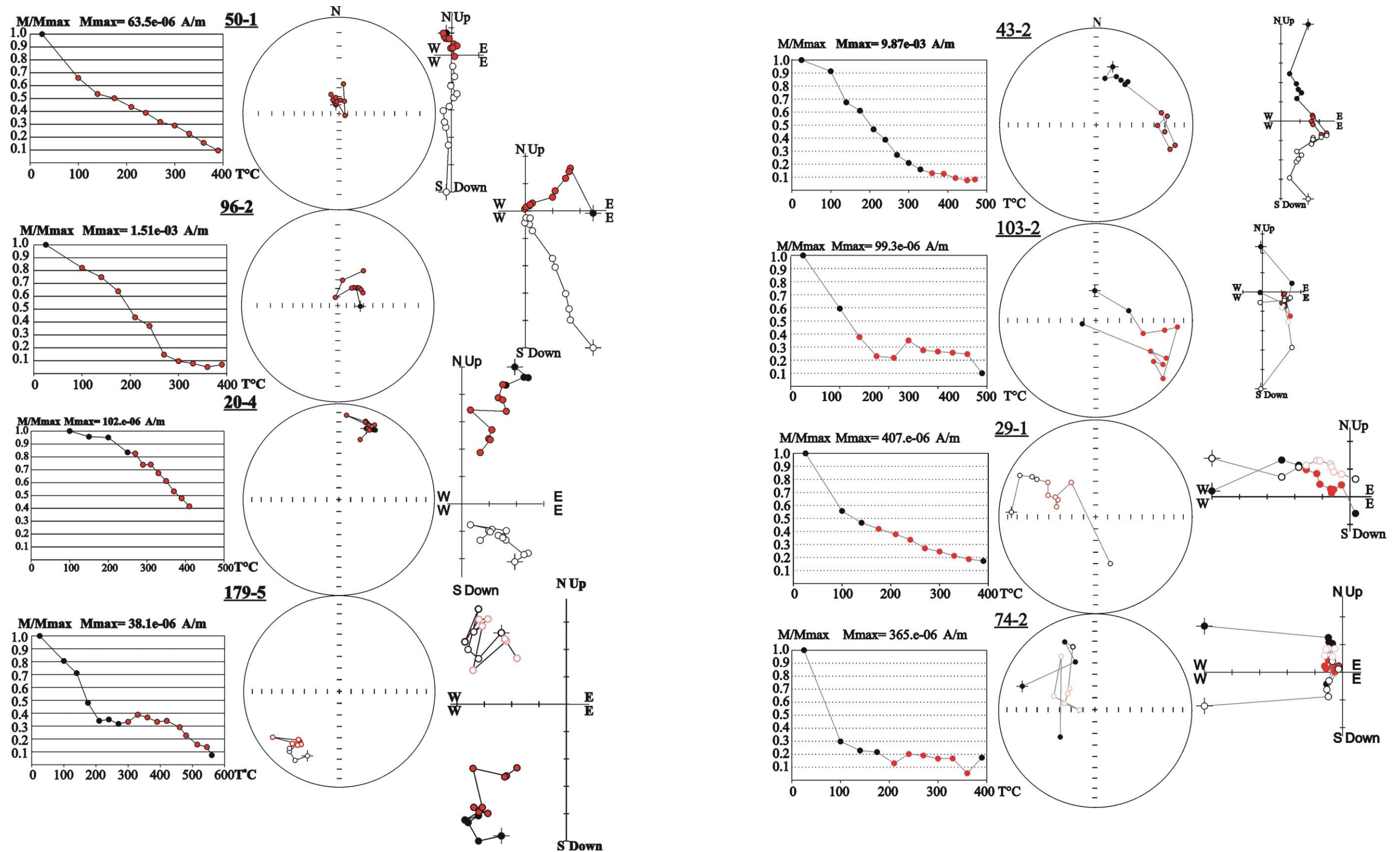


Рис. 3. Примеры ступенчатого терморазмагничивания естественной остаточной намагниченности образцов девонского возраста

Компонента А (обр. 50-1, глинистый известняк, обн. 16 и обр. 96-2, известняк, обн. 2), компонента С (обр. 20-4, известняк, обн. 7 и обр. 179-5, известняк, обн. 21), компонента D3 (обр. 43-2, известняк, обн. 13А; обр. 103-2, известняк, обн. 2; обр. 29-1, алевролит, обн. 13А и обр. 74-2, глина, обн. 2). Слева направо: кривая изменения величины J_n , стереограмма поведения направления J_n , диаграмма Зийдervельда, в ходе ступенчатого терморазмагничивания (пустые кружки - проекция вектора в вертикальной меридиональной плоскости, залитые кружки - проекция вектора в горизонтальной плоскости). Стереопроекции распределения компоненты А приведены в географической, для остальных компонент - в стратиграфической системе координат; пустые (залитые) кружки - проекции векторов на верхнюю (нижнюю) полусферу, остальные пояснения даны в тексте.

Таблица 2

Палеомагнитные направления и полюсы для девонских пород Южного Тимана, р. Ухта ($\varphi=63,65^\circ\text{N}$, $\lambda=53,6^\circ\text{E}$)

Номер п/п	Компонента Jn (интервалы выделения, °C)	с.к.	N/n	D°	I°	K	α_{95}°	Тест	$\Phi,^\circ\text{N}$	$\Lambda,^\circ\text{E}$	dp°	dm°	φ_m°
1	A	g	74/112	8	77	7	7	F-	8	77	12	13	65
2	(100-300,530°C; 10-40, 90 мТ)	s		20	73	5	8						
3	C-N	g	6/6	25	23	22	15	F~					
4	(250-560°C; 15-80 мТ)	s		24	25	28	13						
5	C-R	g	9/10	214	-28	26	10	F~					
6		s		216	-25	30	10						
7	C-NR (4+6)	g	15/16	31	26	24	8	F+, R+, C					
8		s		31	25	28	7		35	196	4	8	13
9	D3-N	g	10/10	110	30	23	10	F~					
10	(200-500°C)	s		106	27	29	9						
11	D3-R	g	12/12	278	-33	20	10	F+					
12		s		276	-31	27	9						
13	D3-NR (10+12)	g	22/22	103	32	21	7	F+, R+, C					
14		s		101	29	26	6		9	127	4	7	16
15	*D3		14	291	-47	51	19						
16				288	-39	72	5	12	118	4	6	22	
17	D3 (14+16)	g	36/36	105	34	12	7	F+, R+, C					
18		s		103	31	29	5		8	125	3	6	16

Примечание: N - число штуфов; n - число образцов; с.к. - система координат; D°, I° - склонение и наклонение средних направлений компонент; K - кучность векторов; α_{95}° - радиус круга доверия при 95% вероятности для среднего направления; φ° , λ° - координаты отбора коллекций образцов горных пород; F+(-), (~) - тест складки положительный (отрицательный, неопределенный) (по [Еркин, 2003]); R+(~) - тест обращения положительный (неопределенный) (по [McFadden, McElhinny, 1990]); статистика на уровне штуфов. Φ° , Λ° - широта и долгота палеомагнитного полюса; dp°, dm° - полуоси овала доверия; φ_m° - палеомагнитная широта.

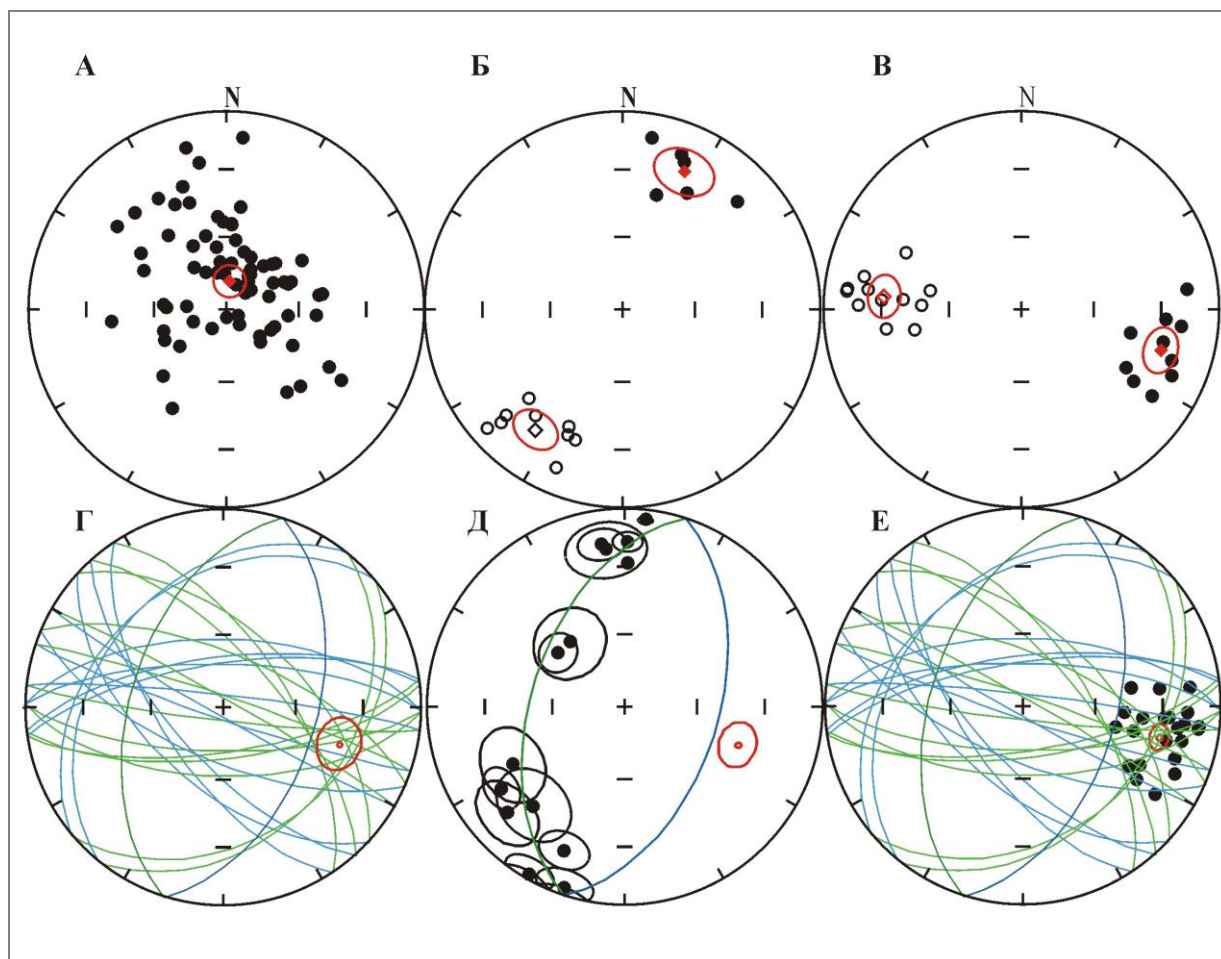


Рис. 4. Распределение направлений компонент естественной остаточной намагниченности после терморазмагничивания

А - компонента А; Б - компонента С; В - компонента D3; Г - круги размагничивания по компоненте D3; Д - оценка направления компоненты D3 по нормальям к кругам размагничивания; Е - общее распределение по компоненте D3. Стереопроекция распределения компоненты А приведена в географической, для остальных компонент - в стратиграфической системе координат; пустые (залитые) кружки - проекции векторов на верхнюю (нижнюю) полусферу.

Магнитостратиграфия. Для отложений франского и нижнефаменского ярусов позднедевонского возраста (D_{3f} и D_{3fm}) отмечается знакопеременное поведение полярности геомагнитного поля [Храмов, Шкатова, 2000; Becker et al., 2020; Иосифиди и др., 2020] (рис. 5). По изученному разрезу выделены магнитозоны прямой и обратной полярности (см. рис. 5), но они фрагментарны, и на данном этапе работы индексация магнитозон не проводилась. Тем не менее, полученные данные согласуются с имеющимися результатами по позднему девону, а именно, подтверждается наличием нескольких зон магнитной полярности в позднедевонское время, которые отмечаются во всех магнитостратиграфических шкалах [Храмов, Шкатова, 2000; Becker et al., 2020]. Возраст позднедевонских отложений имеет плавающие оценки 387-359 млн. лет [Стратиграфический..., 2019] и 379-359 млн. лет [Becker et al., 2020], что связано с постоянным появлением новых данных по абсолютному датированию девонских отложений.

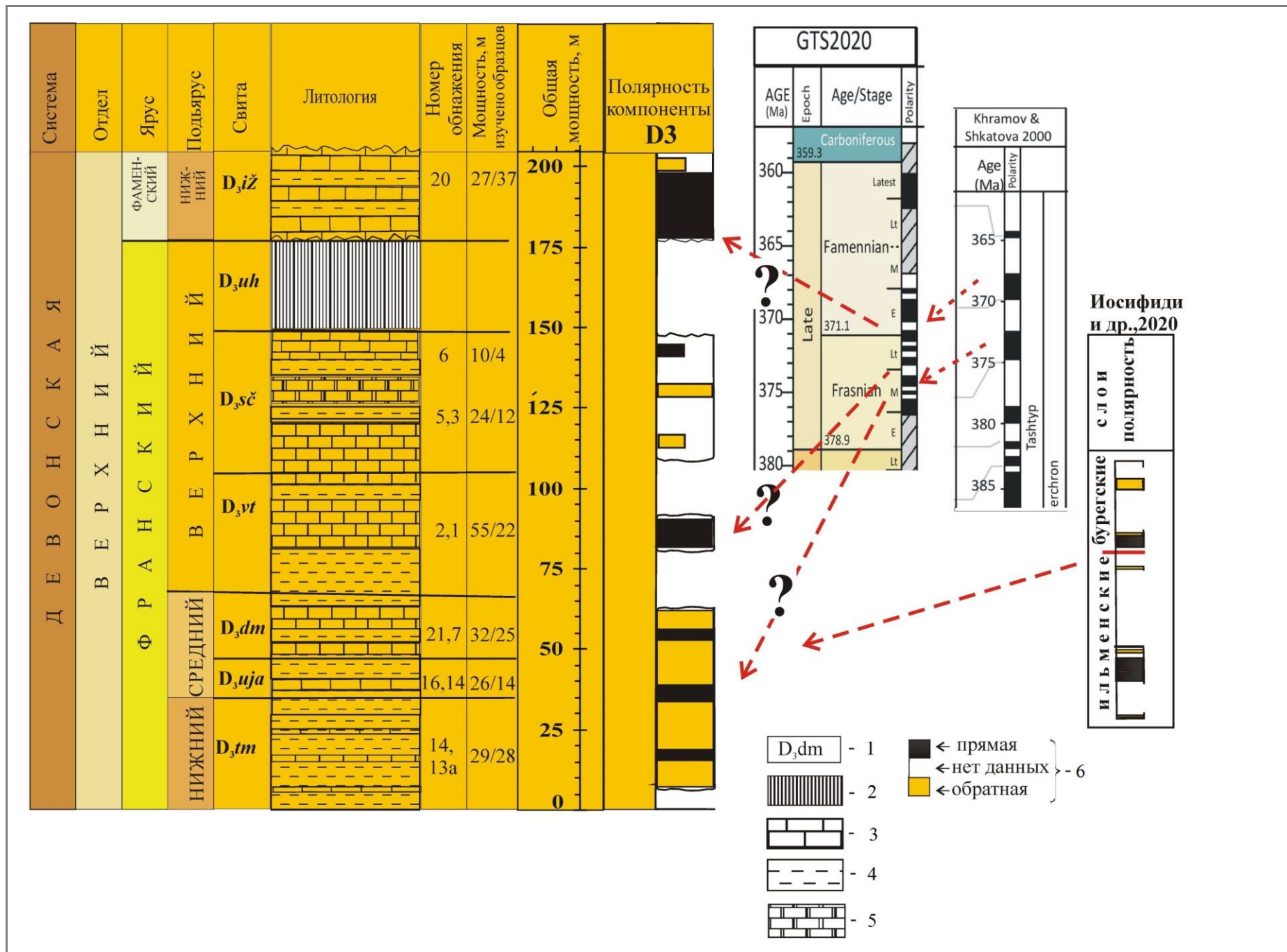


Рис. 5. Корреляция выделенных магнитозон по франским и раннефаменским отложениям Южного Тимана с имеющимися данными по Русской платформе

Магнитостратиграфическая шкала девонского периода [Becker et al., 2020]; магнитостратиграфическая шкала 2000 [Храмов, Шкатова, 2000]; магнитозоны по франском отложениям из работы [Иосифиди и др., 2020]. Возможная корреляция выделенных магнитозон показана красными стрелками. 1 - свиты; 2 - отсутствие данных; 3 - известняки; 4 - глины, алевролиты; 5 - доломиты; 6 - полярность магнитозон.

Сравнение полученных и имеющихся данных (табл. 3) относительно траекторий кажущегося движения палеомагнитных полюсов для Восточно-Европейской и Русской платформ приведено на рис. 6.

Обсуждение результатов. Магнитные свойства пород изменяются в широких пределах. Примеры изменения величин J_n и K_m при ступенчатом температурном размагничивании пород показывают, что в ряде случаев после 300°C начинаются химические изменения (рис. 2В). Температуры размагничивания J_n лежат в пределах 100-500°C. Это указывает на магнитные минералы титаномагнетитовой серии как на основные носители естественной остаточной намагниченности девонских отложений данного района. Проведенный компонентный анализ естественной остаточной намагниченности позднедевонских отложений из разрезов по рр. Ухта и Ижма выявил двухкомпонентный состав J_n в большинстве изученных образцах. Компонента А, по всей вероятности, связана не только с вязким намагничиванием пород в современном геомагнитном поле, но и с химическими превращениями в процессе выветривания, что подтверждается широким спектром деблокирующих температур. Тест складки - отрицательный. Вторая среднетемпературная биполярная компонента С имеет вторичную природу и связана, по всей вероятности, с перемагничиванием в позднекаменноугольное время. Компоненты CN и CR имеют неопределенный тест складки. Тест выпрямления складки дает максимум 110% для прямой полярности и 82% для обратной, т.е. обе компоненты имеют небольшой вклад синскладчатых составляющих J_n . Для суммарного распределения тест складки положителен, а тест выпрямления складки дает максимум при 97%. Тест обращения - положительный, класс С. Несмотря на удовлетворительные статистические параметры полученного распределения, результат дает аномальный палеомагнитный полюс, который сильно смещен на восток относительно траекторий кажущегося движения палеомагнитных полюсов для Восточно-Европейской и Русской платформ [Torsvik et al., 2012; Иосифиди, Храмов, 2013]. Такое большое смещение направления палеомагнитного полюса по долготе отмечается по вторичным компонентам J_n девонских отложений и в других ранее опубликованных работах [Iosifidi et al., 2010; Русецкая и др., 2013; Иосифиди, Попов, 2021; Сальная, 2023] (см. табл. 3, рис. 6).

Таблица 3

**Палеомагнитные направления и полюсы для позднедевонских (франский ярус) отложений северо-востока
Главного девонского поля и Южного Тимана**

Номер п/п	Возраст		N/n	D°	I°	a° ₉₅	φ°, N	λ°, N	Φ°, N	Λ°, N	dp	dm	Ссылка
	пород	компонента J_n											
1	D ₃	P ₁	/28	31	35	6	58,0	30,5	46	167	4	7	[Погарская, 1984]
2	D ₃ f	P ₁	/120	213	-43	2	60,0	32,6	48	165	2	3	[Гуревич и др., 2005; Родионов и др., 2010]
3	D ₃ f	P ₁	26/47	206	-48	5	58,2	31,0	56	168	4	7	[Иосифиди и др., 2020]
4	D ₂₋₃	C ₃ -P ₁	/20	24	9	7	50,4	40,2	40	188	4	7	[Иосифиди, Попов, 2021]
5	D ₃ f	C ₃ -P ₁	/20	28	16	6	57,2	33,1	36	178	3	6	[Русецкая и др., 2013]
6	D ₃ f	P ₁	55/73	217	-46	5	61,3	36,4	48	164	4	7	[Сальная, 2023]
7	D ₃ f-fm	C ₃ -P ₁	15/16	31	25	7	63,6	53,6	35	196	4	8	данная статья
8	P ₁	P ₁	24/44	208	-13	4	48,6	37,8	42	179	2	4	[Iosifidi et al., 2010]
9	P ₁	P ₁	35/41	240	-56	8	67,5	64,1	45	166	9	12	[Иосифиди и др., 2005]
10	P ₁	P ₁	24/43	217	-25	3	48,2	38,0	43	164	2	3	[Иосифиди, Храмов, 2002]
11	D ₃ f	D ₃ ?	/20	70	16	4	27,2	33,1	17	139	2	4	[Русецкая и др., 2013]
12	D ₃ f	D ₃ f	/47	75	1	4	60,0	32,6	8	136	2	4	[Гуревич и др., 2005; Родионов и др., 2010]
13	D ₃ f	D ₃ f	16/27	70	-26	8	58,2	31,0	-2	145	5	9	[Иосифиди и др., 2020]
14	D ₂₋₃	D ₃ f ?	22/39	86	-26	10	50,4	40,2	-8	142	6	11	[Иосифиди, Попов, 2021]
15	D ₃ f-fm	D ₃ f-fm	36/36	103	31	5	63,7	53,6	8	125	3	6	данная статья

Примечание: условные обозначения см. примечание к табл. 2.

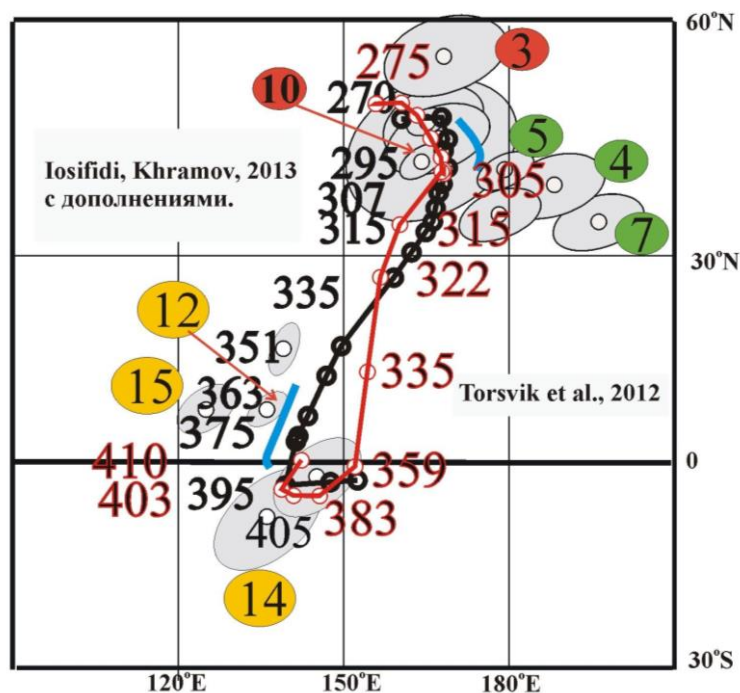


Рис. 6. Положения полученных палеомагнитных полюсов для отложений позднего девона по отношению к траекториям кажущейся миграции палеомагнитных полюсов для Восточно-Европейской платформы ([Torsvik et al., 2012], красная кривая) и только по Русской платформе ([Iosifidi, Khramov, 2013], с дополнениями [Иосифиди и др., 2020], черная кривая) Серым цветом показаны овалы доверия полученных палеомагнитных полюсов по девону и полюсы позднепалеозойского перемагничивания изученных пород по Русской платформе (см. табл. 3). Полюсы из табл. 3 пронумерованы цифрами в кружках. Синим цветом показаны участки траекторий, куда попадают полюсы. Для построения рисунка использована программа GMAP [Torsvik et al., 1990].

Третья биполярная компонента J_n выделена в среднетемпературном интервале. Направление компонент D3NR и полученное положение палеомагнитного полюса по компоненте D3 указывают на возможный разворот по отношению к Русской платформе по часовой стрелке на $\sim 10 \div 20$ градусов. Это согласуется с ориентировкой Ухто-Ижемского вала, в северо-восточной части которого отобрана коллекция. Все структуры юго-западного борта Тимана простираются с северо-запада на юго-восток. Угол разворота относительно меридиана по отношению к Русской платформе, - порядка $10 \div 20$ градусов. Если повернуть полученный палеомагнитный полюс компоненты D3NR относительно полюса Эйлера ($63^\circ N$, $231^\circ E$) против часовой стрелки на 22 градуса, то он совпадает с полюсом из работы [Иосифиди и др., 2020] (см. табл. 3). По имеющимся данным, изученный стратиграфический интервал в работе [Иосифиди и др., 2020] отвечает конодонтовой зоне MN6 (= верхняя часть зоны *Palmatolepis punctata*, примерно 381-382 млн. лет) [Zhuravlev et al., 2006].

Наличие поворотов структур Тимана в ходе надвиговых процессов (каледонский, герцинский и альпийский циклы) показывает возможность создания условий для проникновения флюидов в поддвигаемые толщи пород.

Заключение

Палеомагнитные исследования рекогносцировочной коллекции образцов, отобранных из 11 обнажений по берегам рр. Ухта и Ижма и датированных фран-фаменским возрастом, показали наличие нескольких компонент J_n разного возраста. Две из них, доскладчатые и представляют интерес - это компонента С каменноугольного возраста и компонента D позднедевонского возраста. Сравнение с имеющимися палеомагнитными результатами показывает, что вторичная компонента С согласуется с направлениями вторичных компонент, выявляемых в ходе исследований девонских отложений Главного девонского поля, хотя все они смещены по долготе относительно траекторий кажущегося движения палеомагнитного полюса. Первичная компонента D смещена по отношению к имеющимся данным по Главному девонскому полю Русской платформы, что возможно, связано с влиянием региональных тектонических процессов. Тем не менее, выделение этой компоненты в изученном разрезе позволило выявить несколько зон магнитной полярности. Полученные магнитостратиграфические данные, несмотря на их фрагментарность, согласуются с имеющимися шкалами магнитной полярности.

Изученная коллекция отобрана для рекогносцировочных исследований. В связи с малой величиной J_n работа растянулась на долгие годы. Дальнейшие детальные исследования этого разреза могут способствовать уточнению магнитостратиграфической шкалы в позднедевонское время.

Авторы выражают благодарность Ю.Ф. Суркису и В.В. Попову за отбор рекогносцировочной коллекции образцов горных пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 23-27-00461, <https://rscf.ru/project/23-27-00461/>

Литература

Гаврилов В.П., Руднев А.Н., Дворецкий П.И., Пономарев В.Д. Перспективы нефтегазоносности Мезенской синеклизы // Геология нефти и газа. 1998. - № 5. - С. 12-20.

Геккер Р.Ф. Отложения, фауна и флора Главного девонского поля // Фауна Главного девонского поля. - М.-Л., 1941. - С. 17-84.

Геология СССР. Том I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание. Северо-Западное ГУ. - М.: «Недра», 1971. - 504 с.

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.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Палеогеодинамика. - М.: Наука. - 1992. - 192 с.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. - М.: Недра, 1990. Кн. 1. - 320 с.

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., Храмов А.Н. Палеомагнетизм верхнекаменноугольных и раннепермских отложений Восточно-Европейской плиты: ключевой палеомагнитный полюс и кинематика коллизии с Уралом // Физика Земли. - 2002. - № 5. - С. 42-56.

Иосифиди А.Г., Храмов А.Н. Палеомагнетизм палеозойских отложений разрезов р. Кожим: к проблеме палинспастических реконструкций Приполярного Урала и Пай-Хоя // Физика Земли. - 2013. - № 1. - С. 67-80.

Иосифиди А.Г., Храмов А.Н. Средне- и позднепалеозойские этапы горизонтальных движений в Баренцево-Печорском регионе и эволюция их взаимоотношений с Русской платформой и Уралом по палеомагнитным данным // 300 лет горно-геологической службе России: материалы Международной геофизической конференции. - Санкт-Петербург, 2000. - С.22-23.

Иосифиди А.Г., Храмов А.Н., Комиссарова Р.А., Плетнева А.С. Баренцево-Печорская плита в девоне: палеогеографическое положение и тектоника её обрамления: палеомагнитные данные // Палеомагнетизм осадочных бассейнов Северной Евразии: сборник статей; под. науч. ред. А.Н. Храмова. - СПб.: ВНИГРИ, 2007. - С. 126-143

Иосифиди А.Г., Храмов А.Н., Трапезникова Г.В., Пухонто С.К. Палеомагнетизм раннепермских отложений Печорской плиты: оценка горизонтальных поворотов структур // Физика Земли. - 2005. - №2. - С. 52-65.

Коссовой Л.С. Стратиграфия девона Северного Тимана. Геология СССР. - М.: Госнаучтехиздат, 1963. - Т. 2, ч. 1. - С. 288-301.

Опорные разрезы франского яруса Южного Тимана, Путеводитель полевой экскурсии / Сост. Ю.А. Юдина, М.Н. Москаленко; научн. ред. М.А. Ржонсницкая. - СПб., 1997. - 80 с. (ТПО ВНИГРИ, Ухта).

Палеомагнетизм палеозоя / Под ред. А.Н. Храмова. - Л.: ВНИГРИ, 1974. - Вып. 335. - 238 с.

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

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

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.: СОЛЮ, 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

Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. - 96 с. (МСК России, ВСЕГЕИ).

Тимонин Н.Н. Печорская плита: История геологического развития в фанерозое. Екатеринбург, 1998. - 240 с.

Храмов А.Н., Окнова Н.С. Пути исследования палеомагнитных записей с целью решения проблем нефтяной геологии (на примере Тимано-Печорской провинции) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2007. - Т.2. - <http://www.ngtp.ru/rub/2/036.pdf>

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

Щербакова В.В., Жидков Г.В., Щербаков В.П., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Сальманова Р.Ю. Ультранизкая напряженность геомагнитного поля в девоне по породам Южного Урала // Физика Земли. - 2021. - № 6. - С. 93-106. DOI: [10.31857/S0002333721060077](https://doi.org/10.31857/S0002333721060077)

Becker R.T., Marshall J.E.A., Da Silva A.-C. The Devonian Period / Geologic Time Scale 2020. Elsevier. - 2020. - Vol. 2. - P. 733-810. 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 paleomagnetic data browser and analyzer // Travaux Géophysiques. - 2006. - XXVII. - P. 20-21.

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

Enkin R.J. The direction - correction tilt test: an all-purpose tilt/fold test for paleomagnetic studies // Earth and Planetary Science Letters. - 2003. - Vol. 212. - P. 151-166.

Iosifidi A.G., Khramov A.N. Paleomagnetism of Devonian and Carboniferous sedimentary rocks of Sitsbergen: to the paleozoic history of the Barents-Kara basin framing // Izvestiya Physics of the Solid Earth. - 2013. - № 5. - P. 725-742.

Iosifidi A.G., Mac Niocaill C., Khramov A.N., Dekkers M., Popov V. Palaeogeographic implications of differential inclination shallowing in permo-carboniferous sediments from the Donets basin, Ukraine // Tectonophysics. - 2010. - Vol. 490. - Issue 3-4. - P. 229-240. DOI: [10.1016/j.tecto.2010.05.017](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.05.017)

McFadden P.L., McElhinny M.W. Classification of reversal test in palaeomagnetism // Geophys. J. Int. - 1990. - 103. - P. 725-729.

Torsvik T.H., Smethurst M.A., Pesonen L.J. GMAP - geographic mapping and paleoreconstruction package. NGU rapport nr 90.019. - 1990. - 62 p.

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). - P.325-368.

van der Boon A., Biggin A.J., Thallner D., Hounslow M.W., Bono R., Nawrocki J., Wójcik K., Paszkowski K., Königshof P., de Backer T., Kabanov P., Gouwy S., VandenBerg P., Da Silva A.-C. A persistent non-uniformitarian paleomagnetic field in the Devonian? // Earth-Science Reviews - 2022. - V. 231, 104073. DOI: [10.1016/j.earscirev.2022.104073](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104073)

Watson G.S., Enkin R.J. The fold test in palaeomagnetism as a parameter estimation problem // Geophys. Res. Lett. - 1993. - V.20. - P. 2135-2138.

Zhuravlev A.V., Sokiran E.V., Evdokimova I.O., Dorofeeva L.A., Rusetskaya G.A., Malkowski K. Faunal and facies changes at the Early-Middle Frasnian boundary in the Northwestern East European Platform // Acta Palaeontologica Polonica. 2006. V.51 (4). P. 747-758.

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

Received 26.02.2024

Published 29.03.2024

Iosifidi A.G.

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian Academy of Sciences, St. Petersburg Branch, St. Petersburg, Russia, iosag@mail.ru

Sal'naya N.V.

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

DEVONIAN STRATA OF THE SOUTHERN TIMAN: PALEOMAGNETIC DATA

New paleomagnetic determinations are presented based on a reconnaissance collection of rocks of the Frasnian and Famennian stages of the Upper Devonian, selected on the river Ukhta and river Izhma. Three components of natural remanent magnetization have been identified. Component A, post-folding, is close to the modern direction of the geomagnetic field. Bipolar prefolded component C: $N/n=15/16$, $D=31^\circ$, $I=25^\circ$, $K=28$, $\alpha_{95^\circ}=7$, $\Phi=35^\circ N$, $\Lambda=196^\circ E$, $dp=4^\circ$, $dm=8^\circ$, treatment test positive. The paleomagnetic pole of component C has a large deviation in longitude to the east, relative to the trajectories of the apparent movement of the paleomagnetic poles for the East European and Russian platforms. The third, pre-folded, bipolar component D3 of Frasnian and Early Famennian age with a positive test of geomagnetic field polarity reversal: $N/n=36/36$, $D=103^\circ$, $I=31^\circ$, $K=29$, $\alpha_{95^\circ}=5$, $\Phi=8^\circ N$, $\Lambda=125^\circ E$, $dp=3^\circ$, $dm=6^\circ$. The resulting position of the paleomagnetic pole according to the D3 component indicates a clockwise rotation of the studied rocks with respect to the Russian Platform by 10 ± 20 degrees. The sections were correlated with the available magnetostratigraphic scales for the Frasnian and Famennian strata of the Upper Devonian.

Keywords: *paleomagnetic determination, Upper Devonian, polarity of the geomagnetic field, magnetostratigraphic scale, paleomagnetic pole, Russian platform, South Timan.*

For citation: 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. EDN: JMTECL

References

- Becker R.T., Marshall J.E.A., Da Silva A.-C. *The Devonian Period, Geologic Time Scale 2020*, Elsevier, 2020, vol. 2, pp. 733-810. DOI: [10.1016/B978-0-12-824360-2.00022-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00022-X)
- Chadima M., Hroudka F. Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer. *Travaux Géophysiques*, 2006, XXVII, pp. 20-21.
- Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of palaeomagnetic data. *Pacific Geoscience Centre, Geol. Survey Canada*. Sidney, 1994, 16 p.
- Enkin R.J. The direction - correction tilt test: an all-purpose tilt/fold test for paleomagnetic studies. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, vol. 212, pp. 151-166.
- Gavrilov V.P., Rudnev A.N., Dvoret'skiy P.I., Ponomarev V.D., Perspektivy neftegazonosnosti Mezenskoy sineklizy [Oil and gas potential prospects of the Mezen syncline] // *Geologiya nefti i gaza*, 1998, no. 5, pp. 12-20.
- Gekker R.F. Otlozheniya, fauna i flora Glavnogo devonskogo polya [Sedimentation, fauna and flora of the Main Devonian field]. Fauna of the Main Devonian field *Fauna Glavnogo devonskogo polya*. Moscow-Leningrad, 1941, pp. 17-84.
- Geologiya SSSR. Tom I. Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti. Geologicheskoe opisanie* [Geology of the USSR. Volume I. Leningrad, Pskov and Novgorod regions. Geological description]. Severo-Zapadnoe GU. Moscow: «Nedra», 1971, 504 p.

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 north-west of the Russian Platform: new data on the kinematics of Baltica area in the Paleozoic and on Permian-Triassic magnetization reversal]. *Fizika Zemli*, 2005, no. 7, pp. 48-64.

Iosifidi A.G., Khramov A.N., Komissarova R.A., Pletneva A.S. *Barentsevo-Pechorskaya plita v devone: paleogeograficheskoe polozhenie i tektonika ee obramleniya: paleomagnitnye dannye* [Barents-Pechora plate in the Devonian: paleogeographical position and tectonics of its framing: paleomagnetic data]. Paleomagnetism of sedimentary basins of Northern Eurasia: collection of articles; ed. A.N. Khramov. St. Petersburg: VNIGRI, 2007, pp. 126-143.

Iosifidi A.G., Khramov A.N. Iosifidi A.G., Khramov A.N. Paleomagnetizm verkhnekamennougol'nykh i rannepermskikh otlozheniy Vostochno-Evropeyskoy plity: klyuchevoy paleomagnitnyy polyus i kinematika kollizii s Uralom [Paleomagnetism of Upper Carboniferous and Early Permian strata of the East European Plate: key paleomagnetic pole and kinematics of collision with the Urals]. *Fizika Zemli*, 2002, no. 5, pp. 42-56.

Iosifidi A.G., Khramov A.N. Paleomagnetizm of Devonian and Carboniferous sedimentary rocks of Spitzbergen: to the paleozoic history of the Barents-Kara basin framing. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 2013, no. 5, pp. 725-742.

Iosifidi A.G., Khramov A.N. Paleomagnetizm paleozoyskikh otlozheniy razrezov r. Kozhim: k probleme palinspasticheskikh rekonstruktsiy Pripolyarnogo Urala i Pay-Khoya [Paleomagnetism of Paleozoic sediments of the river sections. Kozhim: to the problem of palinspastic reconstructions of the Subpolar Urals and Pai-Khoi]. *Fizika Zemli*, 2013, no. 1, pp. 67-80.

Iosifidi A.G., Khramov A.N. Sredne- i pozdnepaleozoyskie etapy gorizontal'nykh dvizheniy v Barentsevo-Pechorskom regione i evolyutsiya ikh vzaimootnosheniy s Russkoy platformoy i Uralom po paleomagnitnym dannym [Middle and Late Paleozoic time of horizontal movements in the Barents-Pechora region and the evolution of their relationship with the Russian Platform and the Urals according to paleomagnetic data]. *300 let gorno-geologicheskoy sluzhbe Rossii6 materialy Mezhdunarodnoy geofizicheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 2000*. St. Petersburg, 2000, pp. 22-23.

Iosifidi A.G., Khramov A.N., Trapeznikova G.V., Pukhonto S.K. *Paleomagnetizm rannepermskikh otlozheniy Pechorskoy plity: otsenka gorizontal'nykh povorotov struktur* [Paleomagnetism of Early Permian strata of the Pechora plate: assessment of horizontal rotations of structures]. *Fizika Zemli*, 2005, no. 2, pp. 52-65.

Iosifidi A.G., Mac Niocail C., Khramov A. N., Dekkers M., Popov V. Palaeogeographic implications of differential inclination shallowing in permo-carboniferous sediments from the Donets basin, Ukraine. *Tectonophysics*, 2010, vol. 490, issue 3-4, pp. 229-240. DOI: [10.1016/j.tecto.2010.05.017](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.05.017)

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 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 DOI: [10.17353/2070-5379/42_2020](https://doi.org/10.17353/2070-5379/42_2020)

Khramov A.N., Oknova N.S. *Puti issledovaniya paleomagnitnykh zapisey s tsel'yu resheniya problem neftyanoy geologii (na primere Timano-Pechorskoy provintsii)* [Ways to study paleomagnetic records in order to solve problems of petroleum geology (using the example of the Timan-Pechora province)]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2007, vol. 2, available at:

<http://www.ngtp.ru/rub/2/036.pdf>

Khramov A.N., Shkatova V.K. Obshchaya magnitostratigraficheskaya shkala polyarnosti fanerozooya [General magnetostratigraphic scale of polarity of the Phanerozoic]. *Dopolneniya k Stratigraficheskomu kodeksu Rossii*, St. Petersburg: Izd-vo VSEGEI, 2000, pp. 24-45.

Kossovoy L.S. *Stratigrafiya devona Severnogo Timana. Geologiya SSSR* [Stratigraphy of the Devonian of Northern Timan. Geology of the USSR]. Moscow: Gosnauchtekhizdat, 1963, vol. 2, part 1, pp. 288-301.

McFadden P.L., McElhinny M.W. Classification of reversal test in palaeomagnetism. *Geophys. J. Int.*, 1990, 103, pp. 725-729.

Opornye razrezy franskogo yarusa Yuzhnogo Timana, Putevoditel' polevoy ekskursii [Reference sections of the Frasnian stage of Southern Timan, Field Excursion Guide]. Yu.A. Yudina, M.N. Moskalenko; ed. M.A. Rzhonsnitskaya, St. Petersburg, 1997, 80 p. (ТРО VNIGRI, Ukhta).

Paleomagnetizm paleozoya [Paleozoic paleomagnetism]. Ed. A.N. Khramov. Leningrad: VNIGRI, 1974, vol. 335, 238 p.

Paleomagnitologiya [Palaeomagnetology]. A.N. Khramov, G.I. Goncharov, R.A. Komissarova, S.A. Pisarevskiy, I.A. Pogarskaya, Yu.S. Rzhnevskiy, V.P. Rodionov, I.P. Slautsitays; ed. A.N. Khramova. Leningrad: Nedra, 1982, 312 p.

Pogarskaya I.A. Paleomagnetizm devona Russkoy platformy [Devonian paleomagnetism of the Russian Platform]. *Paleomagnetic methods in stratigraphy*, Leningrad: VNIGRI, 1984, pp. 42-55.

Rodionov V.P., Khramov A.N., Gurevich E.L., Tomsha V.A. Paleomagnetizm devona severo-vostoka glavnogo devonskogo polya: klyuchevoy paleomagnitnyy polyus i magnitostratigrafiya verkhnego frana [Devonian paleomagnetism of the northeastern main Devonian field: key paleomagnetic pole and magnetostratigraphy of the Upper Frasnian].

Paleomagnetism and magnetism of rocks; theory, practice, experiment: materials of the international school-seminar. St. Petersburg: SOLO, 2010, pp. 121-126.

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 [Stratotype of the Bureg layers (Frasnian stage); main Devonian field]. *Litosfera*, 2013, no. 5, pp. 42-56.

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

Shcherbakova V.V., Zhidkov G.V., Shcherbakov V.P., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Sal'manova R.Yu. Ul'tranizkaya napryazhennost' geomagnitnogo polya v devone po prodam Yuzhnogo Urala [Ultra-low geomagnetic field intensity in the Devonian obtained from the Southern Ural rock studies]. *Fizika Zemli*, 2021, no. 6, pp. 93-106. DOI: [10.31857/S0002333721060077](https://doi.org/10.31857/S0002333721060077)

Stratigraficheskiy kodeks Rossii. Izdanie tret'e, ispravlennoe i dopolnennoe [Stratigraphic Code of Russia. Third edition, corrected and expanded]. St. Petersburg, Izd-vo VSEGEI, 2019, 96 p. (MSK Rossii, VSEGEI).

Timonin N.N. *Pechorskaya plita: Istoriya geologicheskogo razvitiya v fanerozoie* [Pechora plate: History of geological development in the Phanerozoic]. Ekaterinburg, 1998, 240 p.

Torsvik T.H., Smethurst M.A., Pesonen L.J. GMAP - geographic mapping and paleoreconstruction package. NGU rapport nr 90.019, 1990, 62 p.

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 K., Königshof P., de Backer T., Kabanov P., Gouwy S., Vandenberg P., Da Silva A.-C. A persistent non-uniformitarian paleomagnetic field in the Devonian? *Earth-Science Reviews*, 2022, vol. 231, 104073. DOI: [10.1016/j.earscirev.2022.104073](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104073)

Watson G.S., Enkin R.J. The fold test in palaeomagnetism as a parameter estimation problem. *Geophys. Res. Lett.*, 1993, vol. 20, pp. 2135-2138.

Zhuravlev A.V., Sokiran E.V., Evdokimova I.O., Dorofeeva L.A., Rusetskaya G.A., Malkowski K. Faunal and facies changes at the Early-Middle Frasnian boundary in the Northwestern East European Platform. *Acta Palaeontologica Polonica*, 2006, vol. 51 (4), pp. 747-758.

Zonenshayn L.P., Kuz'min M.I. *Paleogeodinamika* [Paleogeodynamics]. Moscow: Science, 1992, 192 p.

Zonenshayn L.P., Kuz'min M.I., Natapov L.M. *Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR* [Tectonics of lithospheric plates on the territory of the USSR]. Moscow: Nedra, 1990, book 1, 320 p.