

DOI: 10.17353/2070-5379/44_2023

УДК 550.384:551.734.5(470.12)

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

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ВЕРХНЕДЕВОНСКИХ ПОРОД АНДОМСКОЙ ГОРЫ

Палеомагнитные исследования с целью выявления компонент естественной остаточной намагниченности и получения магнитостратиграфических данных являются трудной задачей для некоторых временных интервалов, к которым относится и девон. В настоящее время существуют гипотезы об аномальном состоянии магнитного поля в этот период, что ставит под сомнение и использование магнитостратиграфических шкал девона. Магнитостратиграфические шкалы являются одним из инструментов для корреляции и датирования отложений и применяются в том числе для решения задач нефтегазовой геологии.

Палеомагнитные исследования разрезов Главного Девонского поля важны для решения вопроса об использовании методов магнитостратиграфии для девонского времени и могут способствовать получению новых данных об истории развития геологических структур района, одним из примеров подобного применения результатов изучения естественной остаточной намагниченности является и это исследование.

В работе представлены результаты палеомагнитных исследований девонских пород разреза Андома гора. Получена последовательность компонент естественной остаточной намагниченности, на основе их сравнения с кривыми кажущейся миграции палеомагнитных полюсов определен их возраст как позднепермский - Р компонента, карбоновый - С и девонский - D. Значимыми являются две из них - Р с положительным тестом складки и биполярная компонента С с положительным тестом обращения. Компоненты Р и С, соответствующие возрасту перемагничивания в нижней перми и в карбоне, позволяют ограничить время формирования основных дислокаций Андомской горы как среднепермское-четвертичное. Многокомпонентный состав намагниченности, различный возраст компонент и плохая сохранность компоненты D свидетельствуют о преобразовании пород Андомской горы в карбоне, перми и, вероятно, в четвертичное время.

Ключевые слова: *девонские отложения, палеомагнитные исследования, перемагничивание, возраст дислокаций, Андомская гора.*

Введение

Андомская гора расположена на юго-восточном берегу Онежского озера (Вытегорский район, Вологодская область, 61.25°с.ш., 36.35° в.д., рис. 1А) и представляет собой уникальный для северо-запада России геологический объект. Основной особенностью этого разреза является то, что песчано-глинистая толща девонских пород сильно дислоцирована (рис. 1Б, 2), в отличие от близковозрастных разрезов Главного девонского поля. При этом есть ли подобные нарушения в нижележащих вендских породах, до сих пор является предметом дискуссий [Енгальчев, 2007; Колодяжный и др., 2016]. Четвертичные отложения с резким угловым несогласием перекрывают девонские отложения, а их верхняя пачка отвечает невской

стадии последнего оледенения [Енгальчев, 2007]. В настоящее время нет единой гипотезы о происхождении складчатых нарушений Андомской горы. Некоторые исследователи полагают, что они связаны с ледниковыми процессами [Толстихина, 1949; Енгальчев, 2007]. Ранее выдвигались предположения об Андомской горе как о крупном ледниковом отторженце или о том, что эти нарушения обусловлены блоковой тектоникой [Геология СССР..., 1963]. В статье [Колодяжный и др., 2016] указывается, что развитие Андомской структуры связано с проявлением полистадийных деформаций позднедевонского-четвертичного возраста, обусловленных в основном тектоническими и в меньшей степени гляциодинамическими факторами.

На территории Главного девонского поля, несмотря на длительную историю палеомагнитных исследований, имеется лишь несколько определений палеомагнитных полюсов для девона [Погарская, 1984; Гуревич и др., 2005; Родионов и др., 2010; Русецкая и др., 2013; Иосифиди и др., 2020]. В то же время, качественные магнитостратиграфические данные по девону могут использоваться для корреляции фаунистически неохарактеризованных отложений, что играет важную роль в поиске и разведке полезных ископаемых. Девонские отложения являются породами-коллекторами углеводородов на Восточно-Европейской платформе, к примеру, в Волго-Уральском бассейне. Трудности с получением палеомагнитных результатов обусловлены развитым перемагничиванием и низкими значениями естественной остаточной намагниченности горных пород. В настоящее время активно развивается гипотеза о сложной структуре магнитного поля девона, в основе которой лежат палеомагнитные данные по магматическим породам, где направления естественной остаточной намагниченности (J_n) группируются в нескольких кластерах (например, [Баженов, Левашева, 2011; Shatsillo, Pavlov, 2019]). В то же время, данные по магматическим породам дискретны, что не позволяет отследить изменение компонент J_n во времени. А определения по осадочным породам [Гуревич и др., 2005; Русецкая и др., 2013; Иосифиди и др., 2020; Иосифиди, Попов, 2021], несмотря на присутствие значительных интервалов перемагничивания, расходятся с данными по магматическим породам и показывают наличие биполярной девонской компоненты, согласующейся с траекторией кажущейся миграции палеомагнитных полюсов (ТКМПП) [Torsvik et al., 2012; Иосифиди, 2022], что свидетельствует о преимущественно дипольном геомагнитном поле в девонское время.

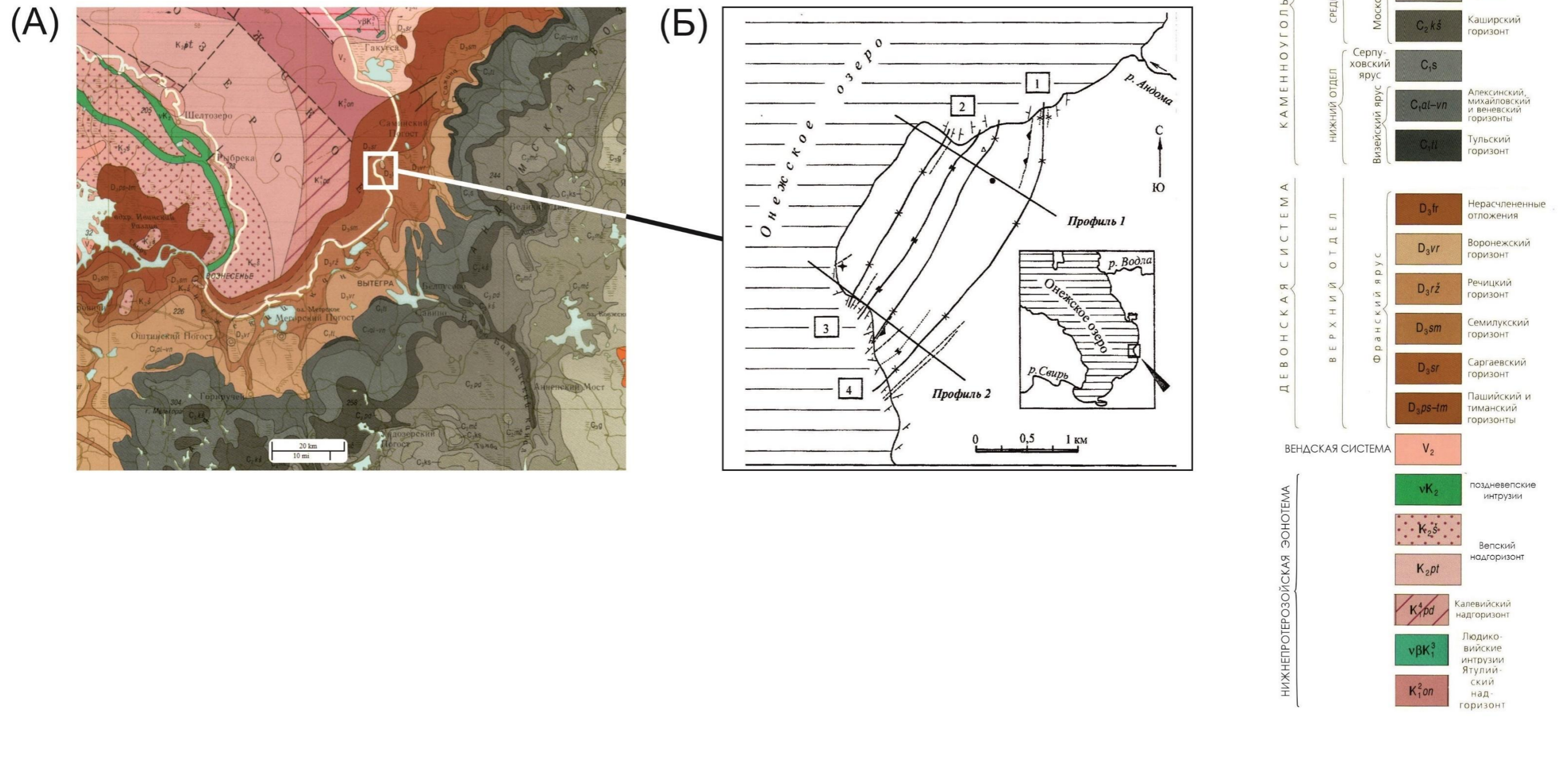


Рис. 1. Геологическая карта района работ (А) [Карта дочетвертичных образований..., 2000; <https://webmapget.vsegei.ru/>] **и схема геологического строения Андомской горы (Б)** [Енгальцев, 2007]
 Б: в квадратах обозначены структуры: 1 - Ольковская, 2 - Гневашевская, 3 - Павликовская, 4 - Климовская.

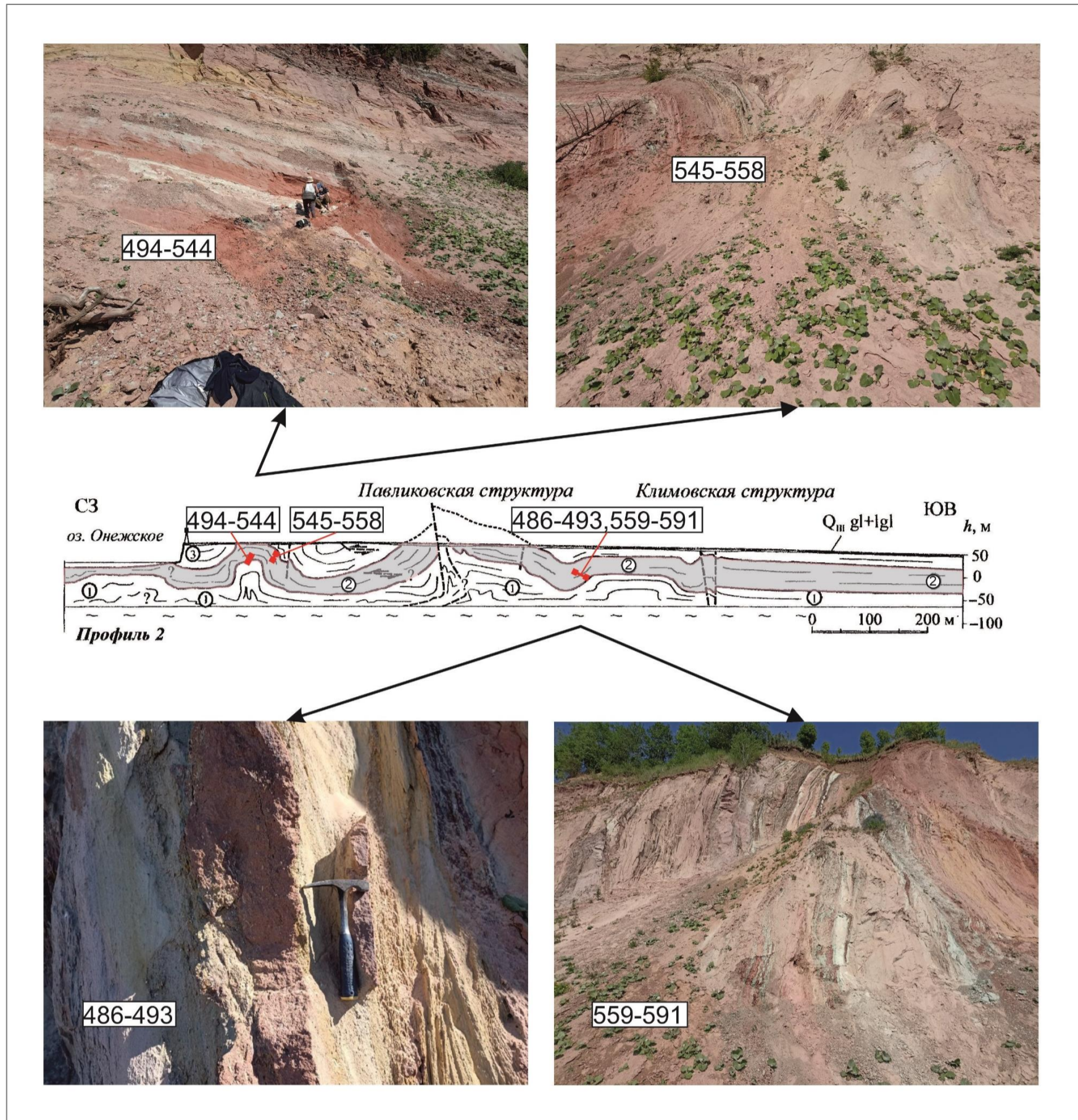


Рис. 2. Схематический геологический профиль через Андомскую гору [Енгальчев, 2007] и фотографии разрезов, из которых отобраны палеомагнитные образцы с номерами
 Красным показаны профили отбора ориентированных образцов; в кружках - номер толщи девонского комплекса: 1 - нижняя, 2 - средняя, 3 - верхняя.

Основными задачами данной работы являлись рекогносцировочные палеомагнитные исследования девонских дислоцированных пород Андомской горы, включающие выделение древних характеристических компонент J_n и оценки их относительного возраста – до- или послескладчатого, а также возраста этих компонент на основе сопоставления результатов с ТКМПП. Качественные палеомагнитные данные, в случае выделения древних компонент J_n , позволят ограничить возраст дислокаций Андомской горы, поскольку в зависимости от природы этих нарушений в настоящее время их возраст оценивается от позднедевонского до четвертичного.

Палеомагнитная коллекция

Девонские отложения Андомской горы представляют собой чередование толщ слабосцементированных пестроцветных песчаников и глин. В целом, разрез подразделяется на три части - нижнюю (песчано-глинистую), среднюю (глинистую) и верхнюю (песчанистую) [Толстихина, 1949], которые могут быть сопоставлены с белоручейской и каровской свитами нижнего франа и саргаевского горизонта среднего франа (нижняя толща); курозерской свитой семилукского горизонта среднего франа (средняя толща) и нозрековской свитой верхнего франа (верхняя толща) [Панова, 2003; Енгальчев, 2007].

Впоследствии разрез разделен на три свиты - павликовскую, андомскую и климовскую, а их возраст уточнен по ихтиофауне [Иванов и др., 2006]. Павликовская свита представлена в основном тонко- и мелкозернистыми слабосцементированными коричневыми, темно-красными песчаниками, чередующимися с тонкими прослоями алевролитов и глин (мощность свиты ~ 27 м), датирована верхним живетом. Андомская свита сложена тонко- и мелкозернистыми слабосцементированными песчаниками, а также маломощными прослоями глин и алевролитов, также встречаются прослой конгломератов с остатками рыб. Окраска пород - пестрая (мощность ~ 50 м), нижняя часть разреза относится к живет-франскому, а верхняя - к франскому интервалу. Климовская свита включает преимущественно желтоватые, розоватые и красно-серые мелко- и среднезернистые слабосцементированные песчаники с прослоями грубозернистых песчаников и конгломератов с остатками рыб (мощность свиты ~ 70 м). На основе анализа остатков позвоночных, возраст свиты определен как нижне-среднефранский [Иванов и др., 2006].

В полевой сезон 2022 г. на Андомской горе из средней толщи (андомской свиты) девонских пород отобрана коллекция ориентированных образцов, состоящая из 106 штуфов (106 стратиграфических уровней, 150 образцов). Штуфы отобраны с шагом 5-30 см только из толщ пестроцветных (красных, лилово-красных и светлых серо-зеленых) глин, единичные образцы взяты из кирпично-красных песчаников. При этом мощные прослой

слабосцементированных песчаников не опробованы, поскольку из них невозможно взять образцы штуфами без их проклейки. Отбор штуфов проводился из предварительно зачищенных стенок разреза вручную, ориентировка осуществлялась с помощью горного компаса. Для палеомагнитных исследований изготавливалось по 1-3 образца-дубля из каждого ориентированного штуфа. Штуфы отобраны из крыльев двух сундучных складок, относящихся к Климовской (средние элементы залегания толщи $300 < 60-41$ штуф) и Павликовской структурам (средние элементы залегания толщи $100 < 15; 160 < 80-65$ штуфов), схема отбора представлена на рис. 2.

Аппаратура и методика

Палеомагнитные измерения и обработка полученных результатов проводились по стандартной методике [Палеомагнитология, 1982]. Ступенчатое терморазмагничивание J_n для большинства образцов велось с использованием печи TD-48 (ASC Scientific, США), после каждого этапа нагрева они измерялись с помощью спин-магнитометра JR-6 (Agico, Чехия), а часть их - на СКВИД-магнитометре (2G Enterprises, США), в этом случае терморазмагничивание J_n выполнялось в печи MMTD80 (Shaw Measurements, Великобритания). Магнитная восприимчивость (K_m) и ее анизотропия (AMB) измерялись на каппа-мосте МФК1-FA (Agico, Чехия). Компонентный анализ J_n проводился с помощью ортогональных проекций Зийдервельда [Zijderveld, 1967] и метода главных компонент [Kirschvink, 1980]. Расчет и представление полученных результатов выполнялись с помощью пакетов программ [Enkin, 1994; Chadima, Hroudá, 2006; Попов, 2007, 2008; Chadima, Jelinek 2009; Efremov, Veselovskiy, 2023]. Тест складки выполнен в модификации [Watson, Enkin, 1993], тест обращения - в модификации [McFadden, McElhinny, 1990; Tauxe, 2010].

На выборочных образцах проведено ступенчатое терморазмагничивание изотермической остаточной намагниченности (J_{rs}) по методу Лаури [Lowrie, 1990]. В этом эксперименте J_{rs} создавалась в полях 1,2 Тл, 0,2 Тл, 0,1 Тл в трех перпендикулярных направлениях с помощью импульсного намагничивающего устройства ASC IM-100 (ASC Scientific, США). Ступенчатое терморазмагничивание образцов велось с использованием печи TD-48 (ASC Scientific, США), после каждого этапа нагрева они измерялись с помощью спин-магнитометра JR-6 (Agico, Чехия).

Результаты лабораторных исследований

Магнитные свойства пород. Значения намагниченности (J_n) и магнитной восприимчивости (K_m) для коллекции изменяются в широких пределах ($1 \times 10^{-4} \div 1,2 \times 10^{-1}$ Ам/м) и ($46 \div 361 \times 10^{-6}$ ед. СИ), соответственно. Предполагается, что магнитные свойства образцов

напрямую связаны с цветом горных пород. Для образцов из красных, лилово-красных и светлых серо-зеленых перемежающихся по разрезу глин значения намагниченности отличаются на более чем 300%, при этом различия по магнитной восприимчивости достигают лишь 100%. Так, многие образцы из светлых серо-зеленых глин не подходили для исследования на спин-магнитометре и на СКВИД-магнитометре при прогреве до 200-300°C, показывали сильный разброс получаемых направлений и поэтому не учитывались в статистике. Так, более чем 30% образцов отбракованы вследствие малых величин J_n . На рис. 3 приведены гистограммы величин магнитной восприимчивости и магнитного момента всех отобранных образцов и образцов, по которым выделены высокотемпературные компоненты J_n . Из гистограмм видно, что большая часть образцов, показывающих значения намагниченности $1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$ Ам/м, исключена из исследований, как и 20-30% образцов с низкими и средними значениями по магнитной восприимчивости (до 300×10^{-6} ед. СИ). Коэффициент корреляции между J_n и K_m составляет 53%, что, вероятно, обусловлено достаточно слабой связью между концентрацией магнитных зерен и J_n пород.

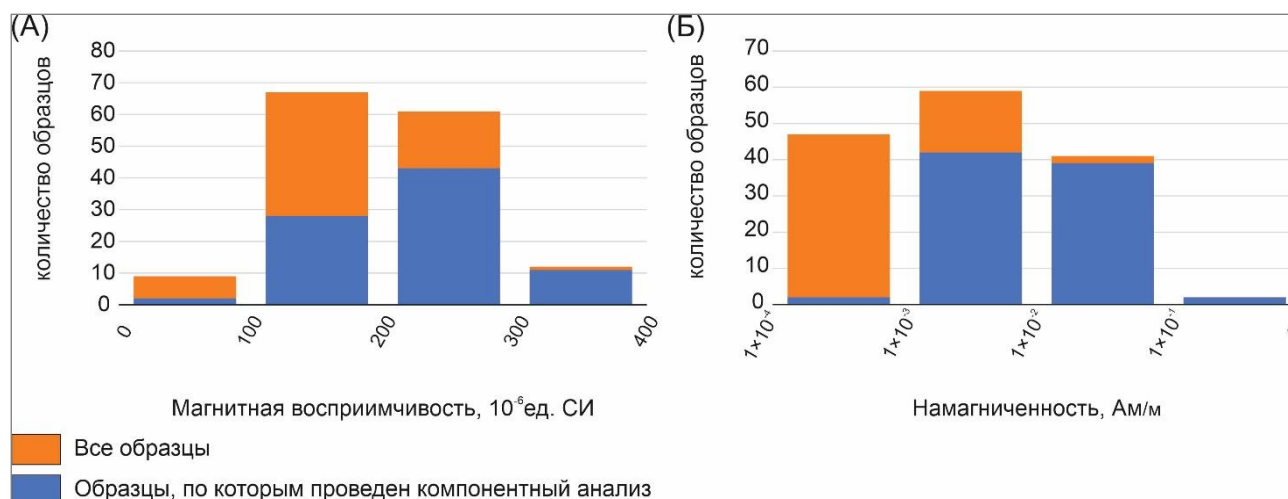


Рис. 3. Гистограммы магнитной восприимчивости и намагниченности для всей коллекции и образцов, по которым проведен компонентный анализ

1 - все образцы, 2 - образцы, по которым проведен компонентный анализ.

На выборочных 10 образцах коллекции выполнен тест Лаури [Lowrie, 1990], который позволяет разделять магнитные минералы разной коэрцитивности по их температурам деблокирования. Результаты экспериментов показали, что в разрезе присутствуют как минимум два высококоэрцитивных магнитных минерала с низкими (200-350°C) и высокими (630-690°C) температурами деблокирования J_{rs} , соответствующие, вероятно, гетиту и гематиту (рис. 4). При этом оба минерала присутствуют во всех изученных образцах, и зависимости магнитных минералов от компонентного состава образцов не наблюдается. Так,

компонента Р выделяется на образцах 539 и 584, компонента С - на образце 571 (см. рис. 4).

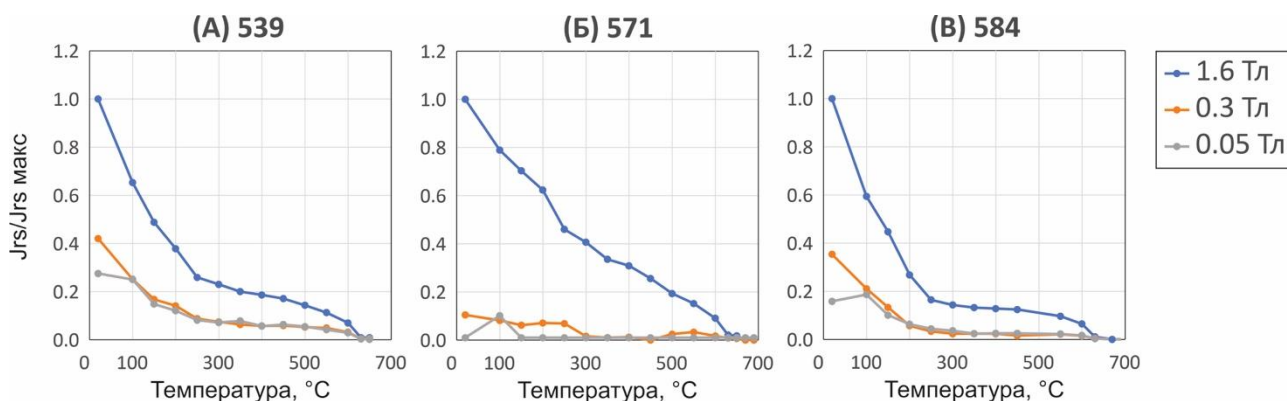


Рис. 4. Графики результатов экспериментов Лаури для образцов девонских пород Андомской горы

Анизотропия магнитной восприимчивости. Результаты измерения анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ) показали (рис. 5А), что в географической системе координат направления минимальных осей (К3) эллипсоида магнитной восприимчивости группируются в двух кластерах, расположенных по разные стороны от направления осей складок разреза. Данные АМВ (см. рис. 5) приведены лишь для тех образцов, по которым проведен компонентный анализ. В стратиграфической системе координат К3 направлены преимущественно вертикально, хотя и наблюдается сильный разброс направлений, медианное значение наклона К3 составляет $79,5^\circ$ с $\alpha_{95} = 21,1^\circ$, что близко к 90° . Направления максимальной (К1) и средней осей (К2) эллипсоида АМВ в географической системе координат соответствует ожидаемым для пород, смятых в складки, а именно К1 и К2 расположены вдоль азимутов осей сундучных складок, а в стратиграфической системе координат распределяются хаотично в горизонтальной плоскости. Медианное значение степени АМВ составляет 3,4%, такая низкая степень анизотропии типична для осадочных пород (см. рис. 5Б). Поскольку в некоторых случаях степень анизотропии достигает 10%, проведена оценка зависимости склонений высокотемпературных компонент Р, С, D и склонения К1, коэффициенты корреляции не превышают 20%. Значения параметра формы АМВ (Т) на графике зависимости Т от степени анизотропии указывают на преобладание плоскостного типа анизотропии в образцах, что также характерно для осадочных пород (см. рис. 5В).

Наблюдаемая картина распределения К1, К2, К3 в географической системе координат характерна для пород, смятых в складки. Сохранность распределения эллипсоидов АМВ в стратиграфической системе координат и низкая степень корреляции между склонениями высокотемпературных компонент и К1 показывает отсутствие существенных постседиментационных и склоновых процессов.

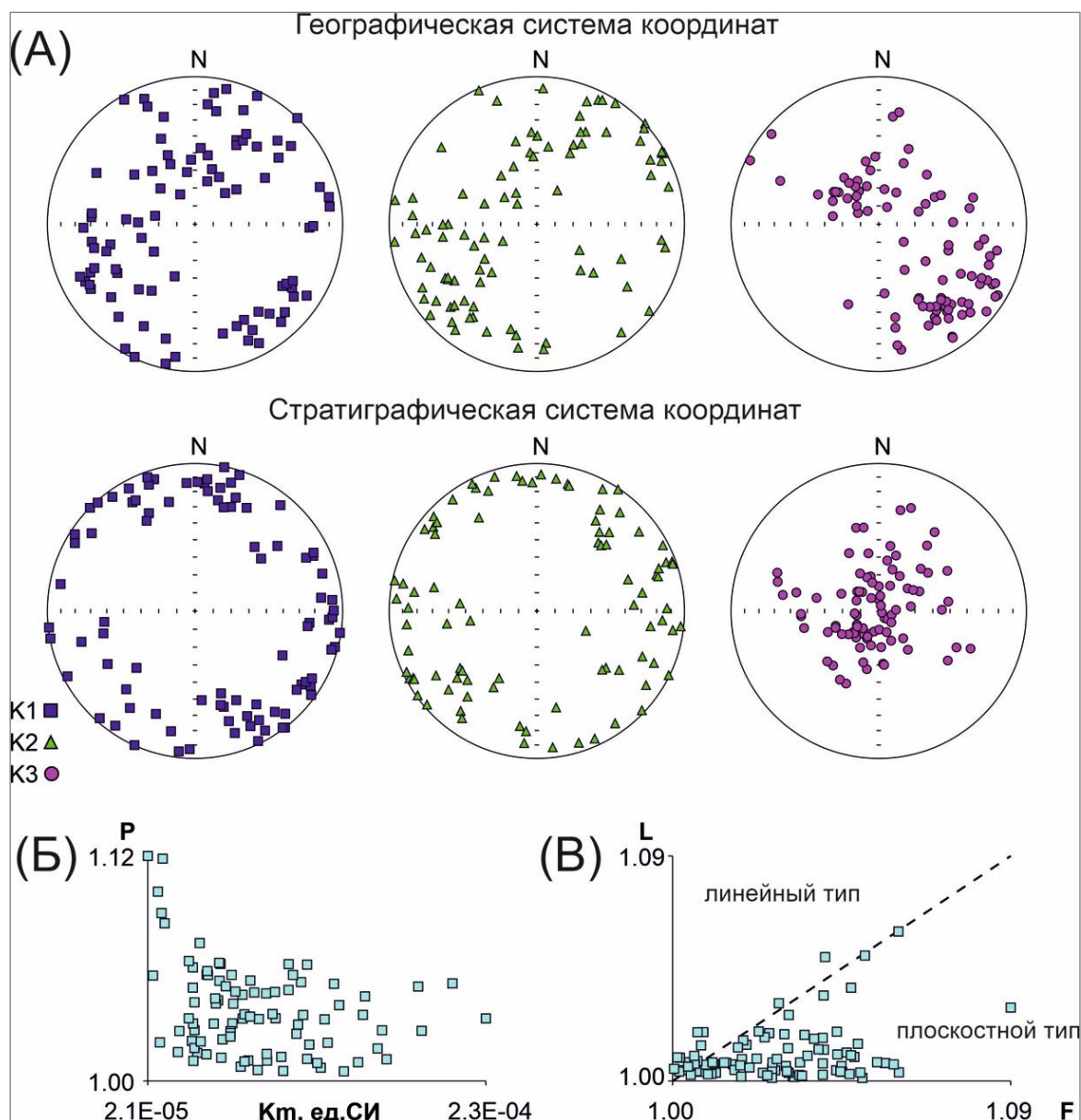


Рис. 5. Распределения направлений главных осей эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости в географической и стратиграфической системах координат

K1 (синие квадраты), K2 (зеленые треугольники), K3 (красные кружки) - направления максимальной, промежуточной и минимальной осей эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости (A); зависимость степени анизотропии (P) от величины магнитной восприимчивости (K_m) (B); зависимость параметра линейности ($L = K_1/K_2$) от степени сплюснутости ($F = K_2/K_3$) (B).

Компонентный анализ. На одном-трех образцах с одного стратиграфического уровня проводилось ступенчатое терморазмагничивание с шагом 15-30°C до 300-690°C. Большинство образцов, отобранных из светло-серых глин, оказалось непригодно для измерений, поскольку их намагниченность слишком мала при нагреве до 200-300°C даже для измерений на СКВИД-магнитометре. Лишь по одному образцу из светлых серо-зеленых глин удалось выделить компоненту P (рис. 6, 513-1). Анализ диаграмм Зийдервельда позволил выявить многокомпонентный состав намагниченности. Компонента A выделяется в интервалах температур 20÷175°C. Положительные направления компоненты A с низкой кучностью

концентрируются преимущественно в первой и четвертой четвертях на стереограмме (рис. 7, компонента А). При этом, дубли из одного штуфа нередко показывают сильный разброс, что, вероятно, связано с вязким намагничиванием не только в современном поле образцов *in situ* (поле по модели IGRF-13 на Андомской горе на 1.07.2022 г. $D = 14,3^\circ$, $I = 74,9^\circ$), но и случайном поле при перевозке и/или хранении образцов. В связи с различием результатов для одного штуфа, статистические характеристики для компоненты А приведены на уровне образцов (табл. 1). Все остальные компоненты - характеристические и обозначены в соответствии с их предполагаемым возрастом: Q - четвертичный, P - пермь, C - карбон, D - девон (см. обсуждение), статистика для них приводится на уровне штуфов. Ни в одном образце не наблюдается совместного нахождения нескольких высокотемпературных компонент.

Высокотемпературная характеристическая компонента Q выделяется на единичных образцах в температурном интервале $180-250 \div 400-650^\circ\text{C}$ (см. рис. 6, 591-1), ее направление близко к направлению поля в четвертичный период в географической системе координат (см. табл. 1, рис. 7).

Высокотемпературная характеристическая компонента P уверенно определяется в большинстве штуфов, температуры деблокирования - $100-640 \div 180-680^\circ\text{C}$, медианные температуры - $460 \div 640^\circ\text{C}$. Компонента определяется как на среднетемпературном интервале до 400°C (см. рис. 6, 513-1), так и на высокотемпературном интервале - до 690°C (см. рис. 6, 539-1, 543-1, 584-1, 590-1). Направления компонент группируются в третьей четверти на стереограмме в стратиграфической системе координат с умеренно отрицательными наклонениями. Также отбракованы все направления, отклоняющиеся от среднего на 45° - метод «cut-off» [Vandamme, 1994], реализованный в программе [Efremov, Veselovskiy, 2023]. Почти все отсеянные направления попали в выборку компонент C и D. Среднее угловое отклонение результатов по дублиям из одного штуфа составляет 5° . Компонента - доскладчатая, тест складки – положительный (F^+ , $1 \pm 0,1$), что отражено и на стереограмме - в географической системе координат все направления разделяются на два кластера в соответствии с элементами залегания, по разные стороны от основных направлений осей сундучных складок ($\sim 200-230^\circ$) (см. табл. 1, рис. 7). Намагниченность - не синскладчатая, «syn-folding test» [Watson, Enkin, 1993], показывает максимальную кучность направлений при выпрямлении складки на 125%, что близко к 100% и отвечает высокой вероятности доскладчатой природы намагниченности.

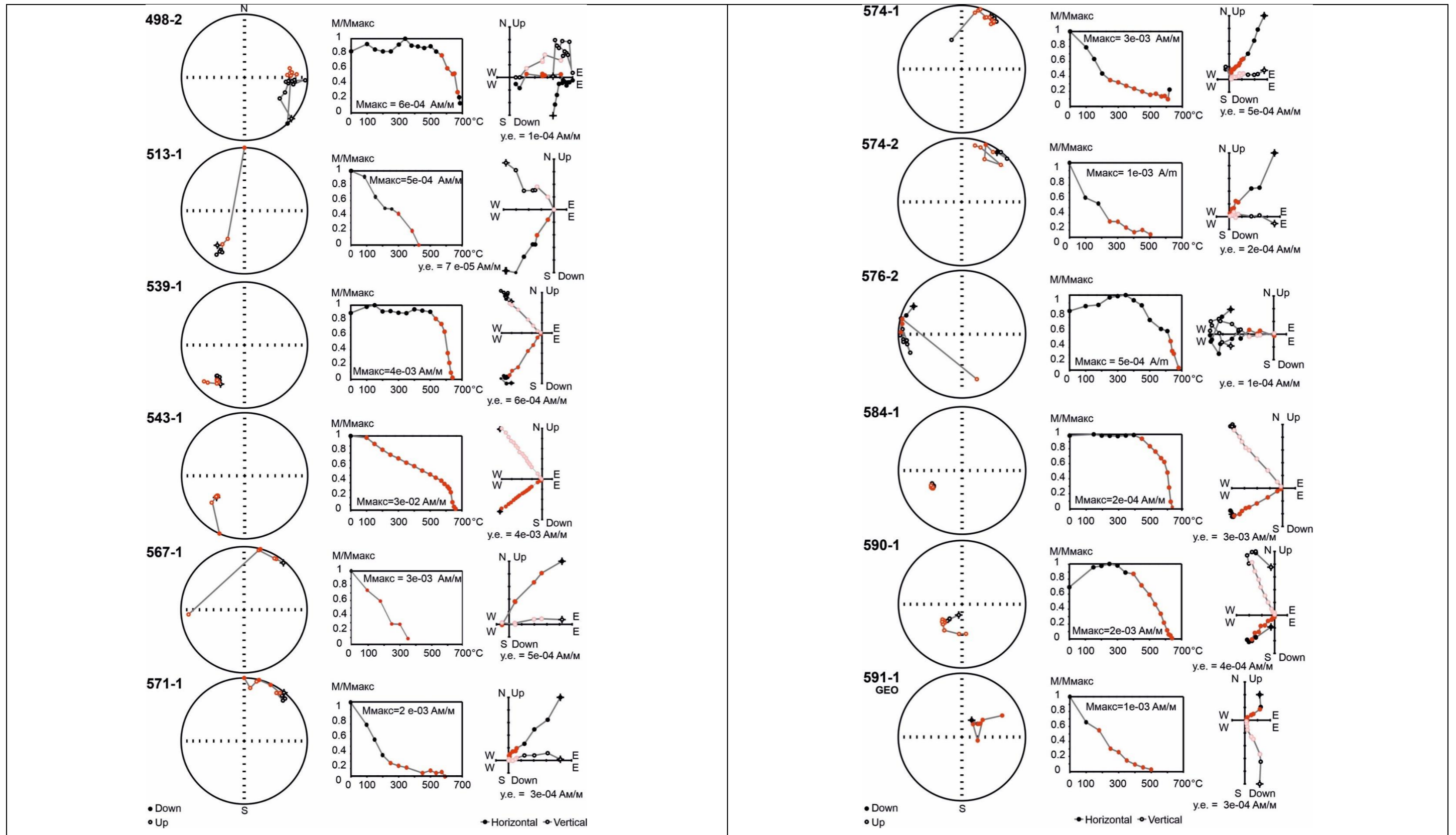


Рис. 5. Примеры ступенчатого терморазмагничивания образцов девонских пород

Слева направо: стереограммы в стратиграфической системе координат (полые/затитые кружки - проекции на верхнюю/нижнюю полусферу), кривая зависимости J_n от температуры и диаграммы Зийдверельда в стратиграфической системе координат (полые/затитые кружки - проекции векторов на вертикальную/на горизонтальную плоскость). Красным цветом обозначен интервал выделения высокотемпературных компонент J_n . Все графики приведены в стратиграфической системе координат, кроме образца 591-1.

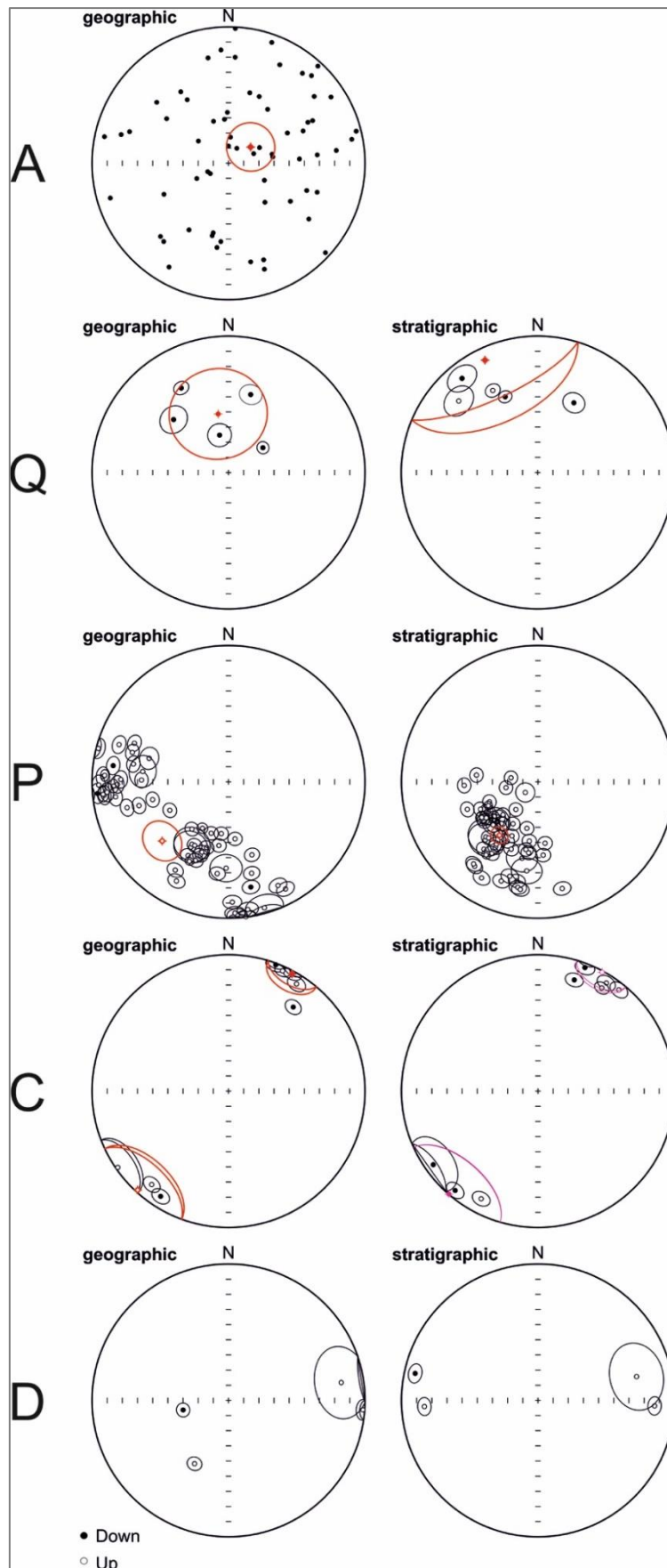


Рис. 7. Распределение направлений компонент А, Q, P, С и D для в географической (слева) и стратиграфической (справа) системах координат

*Залитые/полые кружки - проекции на нижнюю/верхнюю полусферу с их $a95$.
Красным показано среднее направление (табл. 1).*

Таблица 1

Палеомагнитные направления и полюсы для компонент J_n для девонских отложений Андомской горы

Компонента	N(n)	D_g	I_g	K_g	$\alpha 95_g$	D_s	I_s	K_s	$\alpha 95_s$	Тесты
Современное поле		14,3	74,9							
A	(64)	53,7	71,9	2,2	15,8	2,7	60,4	1,6	22,1	F ~ (0,6 ± 0,3)
Q	5(5)	350,5	50,8	7,5	29,9	334,9	8,1	4,1	42,8	F ~ (0 ± 1,7)
P	55(73)	229,4	-31,6	3,8	11,4	216,7	-46,1	14,5	5,2	F + (1 ± 0,1)
C (I четверть)	5(6)	28,5	2,1	43,7	11,7	28,3	-0,9	43,2	11,8	
C (III четверть)	3(4)	222,6	-1,4	31,1	22,5	220,9	0,2	25,7	24,8	
Crev.	8(10)	33,7	1,8	33,1	9,8	33,0	-0,7	32,7	9,8	R + ($\gamma = 14,1$, $\gamma_{кр} = 19,1$, класс C), F ~ (0±0,6)
Drev.	4(5)	73,4	-8,9	2,9	66,7	89,9	-7,2	17,8	22,4	R~, F + (1,1 ± 0,5)

Примечания: Компонента намагниченности: A - низкотемпературная компонента, Q, P, C, D - высокотемпературные характеристические компоненты, Crev/Drev - C и D компоненты (направления обращены в I-ю четверть стереограммы); N(n) - количество штурфов (образцов); D_g , I_g , K_g , $\alpha 95_g$ / D_s , I_s , K_s , $\alpha 95_s$ - склонение, наклонение, кучность, радиус круга доверия при 95% вероятности для среднего направления в географической / стратиграфической системе координат; F - тест складки [Watson, Enkin, 1993] в скобках указаны значения параметра DC с ошибкой его определения («+» - положительный, «~» - неопределенный, «-» - отрицательный результат теста). R - тест обращения полярности [McFadden, McElhinny, 1990], («+» - положительный, «-» - отрицательный результат теста), $\gamma/\gamma_{кр}$ - угол между векторами прямой и обратной полярности/ критический угол для данной выборки.

Высокотемпературная биполярная характеристическая компонента С выделяется примерно в 10% образцов, температуры деблокирования могут быть как средние 100-250÷300-500°C (см. рис. 6, 567-1, 574-2), так и высокие 150-630÷590-685°C (см. рис. 6, 571-1, 574-1, 576-2). Иногда для дублей из одного штуфа характеристическая компонента выделяется в среднем и в высокотемпературном интервалах (см. рис. 6, 574-1, 574-2). Среднее угловое отклонение результатов по дублям из одного штуфа составляет 7°. При обращении компонент с направлениями в третьей четверти, среднее направление имеет северо-северо-восточное склонение и низкое наклонение в стратиграфической системе координат (см. табл. 1, рис. 7). Тест складки [Watson, Enkin, 1993] - неопределенный ($F\sim, 0\pm 0,6$), тест обращения [McFadden, McElhinny, 1990] - положительный ($R+, \gamma = 14,1, \gamma_{кр} = 19,1$, класс С), результат Bootstrap-варианта теста обращения [Таухе, 2010] - также положительный.

Высокотемпературная характеристическая компонента D выделяется только на единичных образцах в высокотемпературном интервале 460-605÷630-685°C, несмотря на недостаточную статистику, тест складки для компоненты D положителен ($F+(1,1\pm 0,5)$) (см. табл. 1, рис. 7).

Обсуждение

Исследована палеомагнитная коллекция (106 стратиграфических уровня) образцов из андомской свиты девона Андомской горы, отобранных из двух крыльев разных сундучных складок, относящихся к Климовской и Павликовской структурам (см. рис. 1Б, 2).

Анализ данных анизотропии магнитной восприимчивости, а именно низкая степень анизотропии, распределение осей эллипсоидов АМВ в стратиграфической системе координат, отсутствии корреляции между направлениями K1 и склонениями характеристических компонент J_n эллипсоида АМВ свидетельствует в пользу сохранности осадочной структуры горных пород при их деформации и незначительного влияния склоновых процессов.

Компонентный анализ, включающий полное терморазмагничивание в интервале до 690°C и выделение основных компонент J_n , проведен по 100 образцам из 74 стратиграфических уровней. Направления по пяти штуфам отсеяны, поскольку они не образовывали кластеров и располагались либо во второй, либо в третьей четверти стереограммы. По результатам исследования удалось выявить многокомпонентный состав намагниченности. Низкотемпературная компонента А выделяется только в низкотемпературном интервале, а распределение ее направлений - близко к хаотическому, что, вероятно, связано с вязким намагничиванием в современном и лабораторном магнитном поле. Ниже приведены доводы в пользу до или послескладчатой природы намагниченности выделенных компонент Q, P, C, D (см. табл. 1, рис. 7).

Высокотемпературная характеристическая компонента Q, согласующая с палеомагнитными полюсами четвертичного времени, наблюдается лишь на нескольких образцах и имеет большую ошибку определения среднего, тест складки - неопределенный, что не позволяет оценить относительный возраст этой компоненты.

Высокотемпературная характеристическая компонента P, выделяется в среднем и высокотемпературном интервалах, тест складки - положительный, компонента - доскладчатая. Высокотемпературная характеристическая компонента C, так же как и компонента P, выделяется в среднем и высокотемпературном интервалах, тест складки - неопределенный. Большинство образцов, где выделена компонента C, имеют сходные элементы залегания толщи, а также недостаточное количество образцов, по которым выделена компонента C, не позволяют на качественном уровне применять тест складки, и он дает неопределенный результат, что в целом не означает, что компонента J_n послескладчатого возраста. Тест обращения для компоненты C - положительный R⁺, $\gamma = 14,1$, $\gamma_{кр} = 19,1$, класс C [McFadden, McElhinny, 1990], тест обращения в модификации [Tauхе, 2010] также положителен, поэтому можно предположить, что природа намагниченности, так же как и компоненты P, - доскладчатая. Высокотемпературная характеристическая компонента D выделяется лишь на нескольких образцах, однако тест складки для нее также положителен. Рассматривая данные по всем компонентам, можно уверенно предположить, что основные фазы деформаций происходили уже после образования компоненты P.

В последнее время разработано несколько ТКМПП по Восточно-Европейской платформе [Torsvik et al., 2012; Иосифиди и др., 2020], опираясь на которые можно датировать полученные в данном исследовании компоненты J_n (рис. 8). В табл. 2 собраны данные по Главному девонскому полю, где отмечены и компоненты перемагничивания. Так, возраст компоненты P ограничен гиперхроном Киама (возраст 312-265 млн. лет [Opdyke, Channel, 1996; Menning et al., 2001]). Палеомагнитный полюс, рассчитанный по данной компоненте, показывает хорошую согласованность с ТКМПП, и возраст компоненты P можно оценить как 274 млн. лет (см. табл. 2). Важно отметить, что возраст компоненты P, которая характерна для всех изученных разрезов девонского возраста Главного девонского поля [Гуревич и др., 2005; Родионов и др., 2010; Русецкая и др., 2013; Иосифиди и др., 2020], находится в интервале 262-275 млн. лет, что может указывать на определенные условия, способствующие перемагничиванию пород. Полюс компоненты C пересекает ТКМПП по Торсвику [Torsvik et al., 2012], и данная компонента может быть датирована нижним девоном, что не согласуется с геологическими данными. В то же время полюс компоненты C близок к сегментам траекторий, датированных карбоном, и близок к полюсу, полученному ранее в работе [Русецкая и др., 2013], ее возраст можно приблизительно определить - около 330 млн. лет (см. рис. 8, табл. 2). Возраст

полюса компоненты D может быть оценен в 375-400 млн. лет, что в целом согласуется с возрастом отложений, датируемых живет-франом (372,2-387,7 млн. лет) [Cohen et al., 2023].

Результаты палеомагнитных исследований выявили многокомпонентный состав намагниченности, а именно, определены три компонента перемагничивания: компонента Q - четвертичного, P - пермского, C - карбонового возрастов и, возможно, первичная компонента D. Наличие нескольких компонент перемагничивания может указывать на сложную геологическую историю горных пород и, вероятно, на несколько этапов их преобразований, соответствующих возрасту характеристических компонент J_n . Подобные преобразования могут быть обусловлены влиянием флюидных потоков, способствующих изменению вещественного состава пород, которые присущи крупным геоструктурным разделам [Красный, 2006]. К одним из таких разделов относится и зона сочленения Балтийского щита и Русской плиты, вблизи которой и расположена Андомская гора.

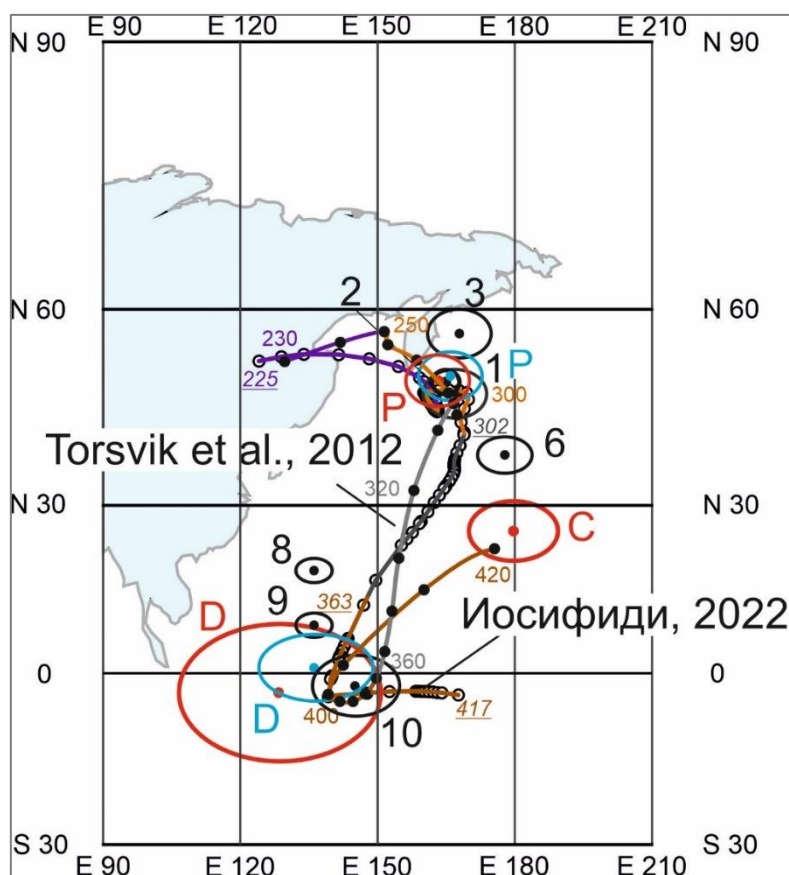


Рис. 8. Сравнение траекторий кажущейся миграции палеомагнитного полюса из работ [Torsvik et al., 2012; Иосифиди, 2022] с полюсами для пермской (P), карбоновой (C) и девонской (D) компонент J_n по разрезу Андомской горы и значениями компонент P, C и D
Пермская (P), карбоновая (C) и девонская (D) компоненты J_n обозначены красным, значения компонент P, C и D, приведенные в табл. 2, - черным цветом и цифрами, соответствующие номерам строк в табл. 2; средние направления для компонент P и D обозначены синим цветом.
Рисунок построен с помощью программы GMAP [Torsvik et al., 1990].

Таблица 2

Палеомагнитные направления и полюсы для позднедевонских (франский ярус) отложений северо-востока Главного девонского поля
([Иосифиди и др., 2020] с дополнениями)

Номер п/п	Возраст J_n , млн. лет	Компонента J_n	N/n	D°	I°	K	α_{95°	Φ°	Λ°	d_p°	d_m°	φ°	Тесты	Ссылка
1	270	P	/28	31	35	22	6	46	167	4	7	19		[Погарская,1984]
2	262	P	/120	213	-43	45	2	48	165	2	3	25		[Гуревич и др., 2005; Родионов и др., 2010]
3	275	P	26/47	206	-48	32	5	56	168	4	7	29		[Иосифиди и др., 2020]
4	274	P	55/73	216,7	-46,1	14,5	5,2	48,3	163,5	4,3	6,7	27,5	F+	Данная работа
5	267	P(1-4)						49	166	4	7			Среднее P
6	318	C-P	/20	28	16	27	6	36	178	3	6	8		[Русецкая и др., 2013]
7	~330?	C	8/10	33,0	-0,7	32,7	9,8	23,5	179,9	4,9	9,8	-0,4	$R^+, \gamma/\gamma_{кр} = 14/19, C, F\sim$	Данная работа
8	365	*D R ₊	/20	70	16	56	4	17	136	2	4	8	R ₊ ,	[Русецкая и др., 2013]
9	375	D	/47	75	1	31	4	8	136	2	4	1	$R^+, \gamma/\gamma_{кр} = 3/7, B$	[Гуревич и др., 2005; Родионов и др., 2010]
10	380-390	D ₃ NR	16/27	70	-26	21	8	-2	145	5	9	14	$R^+, \gamma/\gamma_{кр} = 4/18, C$	[Иосифиди и др., 2020]
11	375-400	D	4/5	89,9	-7,2	17,8	22,4	-3,1	128,2	11,3	22,5	-3,6	R _~ , F+	Данная работа
12	380	D(8-11)						1	136	6	13			Среднее D

Примечание: Оценка магнитного возраста компонент J_n выполнена по отношению к траектории кажущейся миграции палеомагнитного полюса для Русской платформы ([Иосифиди и др., 2020] с дополнениями); * - направление получено по кругам размагничивания, номер строки; возраст компоненты J_n , компонента J_n ; Φ° и Λ° - широта и долгота расчетного полюса; d_p/d_m - полуоси овала доверия полюса; φ_m - палеоширота. Остальные обозначения см. в табл. 1.

Возраст деформаций пород Андомской горы, как уже отмечалось, является предметом дискуссий, на настоящий момент существует две теории их возникновения: 1. ледниковое [Енгальчев, 2007], при этом возраст деформаций определен как четвертичный и 2. преимущественно тектоническое [Колодяжный и др., 2016], возраст деформаций оценивается как позднедевонский-четвертичный. На основе палеомагнитных результатов установлен доскладчатый возраст компонент Р и С, исходя из положительного теста складки и положительного теста обращения соответственно. Оценка возраста этих компонент в 274 млн. лет и 330(?) млн. лет позволяет сделать вывод о том, что возраст деформаций девонских пород Андомской горы ограничен среднепермским-четвертичным периодом.

Заключение

Палеомагнитные исследования позволили выявить многокомпонентный состав естественной остаточной намагниченности девонских отложений Андомской горы. По результатам сравнения полюсов, рассчитанных по новым данным, с ТКМПП сделан вывод о возрасте компонент J_n . Возраст компоненты Р может быть определен как 274 млн. лет (кунгурский ярус, ранняя пермь), D - 375-400 млн. лет (девон). Возраст компоненты С может быть предположительно оценен как 330 млн. лет (нижний карбон). Относительный возраст компонент Q и D корректно определить нельзя из-за недостаточного количества образцов. На основе результатов положительного теста складки для компоненты Р и положительного теста обращения для компоненты С сделан вывод о доскладчатом возрасте компонент. Это позволило оценить возраст основных деформаций пород Андомской горы как среднепермский-четвертичный.

Многокомпонентный состав намагниченности и плохая сохранность первичной компоненты D свидетельствуют о сложной истории и преобразовании горных пород Андомской горы и не позволяют выявить зоны магнитной полярности. Вероятно, наибольшие изменения изученных горных пород происходили в несколько этапов, соответствующих возрасту компонент J_n , а именно, в карбоне, перми и, возможно, в четвертичное время.

Автор выражает благодарность С.М. Снигиревскому и В.Н. Глинскому за помощь при проведении полевых исследований и И.В. Федюкину за измерения на СКВИД-магнитометре.

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РФФ 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.

Геология СССР. Том II. Архангельская, Вологодская области и Коми АССР. Ч. 1. Геологическое описание / Ред. А.И. Зоричева. - М.: Госгеолтехиздат, 1963. - 1079 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.

Енгальчев С.Ю. Геологическое строение и генезис дислокаций на Андомской горе // Вестник СПбГУ. Сер. 7. - 2007. - Вып. 1. - С. 32-39.

Иванов А.О., Лукиевич Э.В., Стинкулис Г.В., Товмасын К.А., Зупиньш И.А., Безносков П.А. Стратиграфия девонских отложений Андомской горы // Проблемы геологии и минералогии; отв. ред. А.М. Пыстин. - Сыктывкар, 2006. - С.386-396.

Иосифиди А.Г. Каменноугольные отложения острова западный Шпицберген: палеомагнитные данные // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2022. - Т. 17. - №4. - http://www.ngtp.ru/rub/2021/44_2022.html DOI: [10.17353/2070-5379/44_2022](https://doi.org/10.17353/2070-5379/44_2022)

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)

Карта дочетвертичных образований. Листы Р36 - Р37. Масштаб 1:1 000 000. ВСЕГЕИ, 2000. - <https://webmapget.vsegei.ru/>

Колодяжский С.Ю., Балуев А.С., Терехов Е.Н. Структура и эволюция андомского сегмента юго-восточной окраины Балтийского щита // Геотектоника. - 2016. - № 4. - С.48-67.

Красный Л.И. К тектонике и терминологии неординарных структур Восточно-Европейской и Сибирской платформ // Региональная геология. - 2006. - № 28. - С.5-12.

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.

Панова Е.Г., Енгальчев С.Ю., Никитин М.Ю. Геологическая экскурсия на Андомскую гору // Геология и эволюционная география. - СПб, 2003. - Т. II. - С.215-224.

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

Попов В.В. 2007, 2008. - <http://paleomag.ifz.ru/soft.html>

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.

Толстихина М.М. Девонские отложения Андомской горы // Учен. зап. Ленингр. ун-та. Сер. геол.-почв. - 1949. - Вып. 17. - № 110.

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

Chadima M., Jelinek V. Anisoft 42, 2009. - <https://AGICO.com>

Cohen K.M., Harper D.A.T., Gibbard P.L. ICS International Chronostratigraphic Chart

- 2023/11. International Commission on Stratigraphy, IUGS, 2023. - <https://stratigraphy.org>
- Efremov I.V., Veselovskiy R.V.* PMTools: 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.
- Kirschvink J.L.* The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data // *Geophys. J.R. Astron. Soc.* - 1980. - Vol. 62. - P. 699-718.
- Lowrie W.* Identification of the ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperature properties // *Geophys. Res. Lett.* - 1990. - Vol.17. - P.159-162.
- McFadden P.L., McElhinny M.W.* Classification of reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* - 1990. - V. 103. - P. 725-729.
- Menninig M.A.* The Permian Illavarra reversal SE-Australia as global correlation marker versus K-Ar ages and palynological correlation. Contributions to Geology and palaeontology of Gondwana / Eds. Weiss R.H. Geologisches Institut der Universität Köln. - 2001. - P. 325-332. - https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/item_230523
- Opdyke N.D., Channell J.E.T.* Magnetic stratigraphy. International Geophysics Series. - Vol. 64. London - New York: Academic Press, 1996. - 346 p.
- Shatsillo A.V., Pavlov V.E.* Systematics of paleomagnetic directions from Early-Middle Devonian rocks of Minusa troughs: new data and old problems // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. - 2019. - Vol. 55. - №3. - P. 471-487.
- Tauxe L., Butler R.F., Van der Voo R., Banerjee S.K.* Essentials of Paleomagnetism. University of California Press, 2010. - 489 p.
- Torsvik T., Smethurst M.* GMAP v.32: Geographic Mapping and Palaeoreconstruction Package, Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse, 1998. - 65 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.
- Vandamme D.* A new method to determine paleosecular variation, *Phys. Earth Planet. Inter.* - 1994. - V. 85. - P.131-142.
- Watson G.S., Enkin R.J.* The fold test in paleomagnetism as a parameter estimation problem // *Geophys. Res. Lett.* - 1993. - Vol. 20 - P.2135-2138.
- Zijderveld, J.D.A.* A.C. Demagnetization of rocks: analysis of results // *Methods in Palaeomagnetism*. Ed. D.W. Collinson. Amsterdam, Elsevier. - 1967. - P.254-286.

Sal'naya N.V.

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

PALEOMAGNETISM OF THE UPPER DEVONIAN ROCKS OF THE ANDOMA HILL

Paleomagnetic research to identify the ancient components of remanent magnetization and to obtain magnetostratigraphic data is a difficult problem for some time intervals, including the Devonian. Currently, there are hypotheses about anomalous magnetic field during this time, which brings into question the use of Devonian magnetostratigraphic scales as well. Magnetostratigraphic scales are one of the tools for correlation and dating of sedimentary rocks, and consequently they are also used for solving problems of oil and gas geology. New determinations from the sections of the Main Devonian Field are an important goal for solving the question of application of magnetostratigraphy for the Devonian time. Also, paleomagnetic studies can contribute to obtaining new data on the history of geological structures evolution of the studied area. This study is one of the examples of such application of the remanent magnetization results.

The paper presents paleomagnetic studies results for Devonian rocks of the Andoma Hill section. Ancient components of natural remanent magnetization were obtained. The ages of these were determined as Late Permian - P component, Carboniferous - C and Devonian - D based on their comparison with the apparent polar wander curves. Two components are significant - the P component with a positive fold test and the bipolar C component with a positive reversal test. The P and C components corresponding the remagnetization age in the Early Permian and Carboniferous, respectively, allow us to restrict the time of formation of the main dislocations of the Andoma Hill as Middle Permian-Quaternary. The multicomponent composition magnetization with different ages of the components, and poor safety of the D component indicate about transformation of the Andoma Hill rocks in the Carboniferous and Permian and, probably, in the Quaternary.

Keywords: Devonian sedimentary rocks, paleomagnetic research, remagnetization, age of dislocations, Andoma Hill.

References

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

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

Chadima M., Jelinek V. Anisoft 42, 2009. - <https://AGICO.com>

Cohen K.M., Harper D.A.T., Gibbard P.L. ICS International Chronostratigraphic Chart 2023/11. International Commission on Stratigraphy, IUGS. 2023. - <https://stratigraphy.org>

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

Engalychev S.Yu. *Geologicheskoe stroenie i genezis dislokatsiy na Andomskoy gore* [Geologic structure and genesis of dislocations on Andoma Hill]. *Vestnik SPbGU*, ser. 7, 2007, issue 1, pp. 32-39.

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

Geologiya SSSR. Tom II. Arkhangel'skaya, Vologodskaya oblasti i Komi ASSR. Ch. 1. Geologicheskoe opisaniye [Geology of the USSR. Volume II. Arkhangel'sk, Vologda oblasts and Komi ASSR. Ч. 1. Geological description]. Ed. A.I. Zoricheva. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1963, 1079 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 in the northwestern part of the Russian Platform: new constraints on the Baltica kinematics in the Paleozoic and the remagnetization in the Permian-Triassic]. *Fizika Zemli*, 2005, no.7, pp. 48-64.

Iosifidi A.G. *Kamennougol'nye otlozheniya ostrova Zapadnyy Shpitsbergen: paleomagnetnyye dannye* [Carboniferous rocks of Western Spitsbergen Island: paleomagnetic data]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2022, vol. 17, no. 4, available at: http://www.ngtp.ru/rub/2022/44_2022.html DOI: [10.17353/2070-5379/44_2022](https://doi.org/10.17353/2070-5379/44_2022)

Iosifidi A.G., Popov V.V. *Paleomagnetnyye 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: paleomagnetnyye 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)

Ivanov A.O., Lukshovich E.V., Stinkulis G.V., Tovmasyan K.A., Zupin'sh I.A., Beznosov P.A. *Stratigrafiya devonskikh otlozheniy Andomskoy gory* [Stratigraphy of Devonian sedimentary rocks of Andoma Hill]. *Problemy geologii i mineralogii*; ed. A.M. Pystin. Syktyvkar, 2006, pp. 386-396.

Karta dochetvertichnykh obrazovaniy. Listy P36 - P37. Masshtab 1:1 000 000 [Map of prequaternary formations. Sheets P36 - P37 Scale 1:1 000 000]. VSEGEI, 2000. - <https://webmapget.vsegei.ru/>

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.

Kolodyazhnyy S.Yu., Baluev A.S., Terekhov E.N. *Struktura i evolyutsiya andomskogo segmenta yugo-vostochnoy okrainy Baltiyskogo shchita* [Structure and evolution of the Andomian segment of the southeastern margin of the Baltic Shield]. *Geotektonika*, 2016, no. 4, pp. 48-67.

Krasnyy L.I. *K tektonike i terminologii neordinarnykh struktur Vostochno-Evropeyskoy i Sibirskoy platform* [To tectonics and terminology of unordinary structures of the East European and Siberian platforms]. *Regional'naya geologiya*, 2006, no. 28, pp. 5-12.

Lowrie W. Identification of the ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperature properties. *Geophys. Res. Lett.*, 1990, vol. 17, pp.159-162.

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

Menninig M.A. The Permian Illavarra reversal SE-Australia as global correlation marker versus K-Ar ages and palynological correlation. *Contributions to Geology and palaeontology of Gondwana*. Eds. Weiss R.H. Geologisches Institut der Universität Köln, 2001, pp. 325-332. - https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/item_230523

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

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

Panova E.G., Engalychev S.Yu., Nikitin M.Yu. *Geologicheskaya ekskursiya na Andomskuyu goru* [Geological excursion to the Andom Hill]. *Geologiya i evolyutsionnaya geografiya*. St. Petersburg, 2003, vol. II, pp.215-224

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

Popov V.V., 2007, 2008. - <http://paleomag-ifz.ru//ru/soft>

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]. Paleomagnetizm i magnetizm gornyykh porod; teoriya, praktika, eksperiment: materialy mezhdunarodnoy shkoly-seminara. 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 Beds (Frasnian Stage, Main Devonian Field)]. Litosfera, 2013, no. 5, pp. 42-56.

Shatsillo A.V., Pavlov V.E. Systematics of paleomagnetic directions from early-middle Devonian rocks of Minusa troughs: new data and old problems. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2019, vol. 55, n. 3, pp. 471-487.

Tauxe L., Butler R.F., Van der Voo R., Banerjee S.K. *Essentials of Paleomagnetism*. University of California Press, 2010, 489 p.

Tolstikhina M.M. *Devonskie otlozheniya Andomskoy gory* [Devonian sedimentary rocks of Andom Hill]. *Uchen. zap. Leningr. un-ta. Ser. geol.-pochv.*, 1949, issue 17, no. 110.

Torsvik T., Smethurst M. *GMAP v.32: Geographic Mapping and Palaeoreconstruction Package*, Trondheim: Norges Geologiske Underskelse, 1998, 65 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.

Vandamme D. A new method to determine paleosecular variation, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1994, vol. 85, pp.131-142.

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

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

© Сальная Н.В., 2023

