

УДК 550. 384: 32: 551.242.11(470J)

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ РАННЕПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЕЧОРСКОЙ ПЛИТЫ: ОЦЕНКА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПОВОРОТОВ СТРУКТУР

© 2005 г. А. Г. Иосифиди¹, А. Н. Храмов¹, Г. В. Трапезникова², С. К. Пухонто³

*всероссийский нефтяной научно-исследовательский
геологоразведочный институт (ВНИГРИ), г. Санкт-Петербург*

²ООО "ГЕОНОМ", г. Воркута

³Государственный геологический музей им. Вернадского РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 08.01.2004 г.

Изучены коллекции горных пород раннепермского возраста из шести разрезов на северо-востоке Печорской плиты. Проведена оценка углов поворота в горизонтальной плоскости для исследованных раннепермских структур Пай-Хоя и Полярного Урала по отношению к Восточно-Европейской платформе. Анализ полученных и имеющихся палеомагнитных данных по Пай-Хою, Полярному Уралу и Предуральскому краевому прогибу показал, что углы поворота в горизонтальной плоскости для этих тектонических единиц имеют разные знаки. Предложен механизм, который мог обеспечить поворот структур региона в горизонтальной плоскости на последних этапах коллизии Восточно-Европейской платформы, Казахских блоков и Сибирской платформы.

Ключевые слова: палеомагнитные полюсы, геодинамика, коллизия.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее сложно построенных структур Восточно-Европейской платформы (ВЕП) является Печорская плита. Большое влияние на формирование орогенных структур её северной и восточной частей оказали мощные тангенциальные сжатия земной коры на последних этапах коллизии ВЕП, Сибирской платформы, Казахских блоков и Урала. Сложность развития комплекса структур северо-восточной части Печорской плиты, различие возраста их дислокаций позволили разделить эти комплексы на пайхоиды и уралиды. Время формирования складчатости уралид - девон-ранняя юра, а пайхоид - поздняя пермь-мел [Юдин, 1994; Тимонин, 1998].

б расшифровке горизонтальных движений этих структур значительную помощь могут оказать палеомагнитные данные. Амплитуда надвигов в большинстве случаев не превышает первых десятков километров [Юдин, 1994; Тимонин, 1998] и это лежит в пределах погрешности палеомагнитного метода. Однако, горизонтальные повороты структур, имевшие место в процессе коллизии ВЕП с Уралом, могут быть в ряде случаев оценены количественно с приемлемой погрешностью [Иосифиди, Храмов, 1995; 2002]. Эти данные позволят продвинуться в расшифровке истории развития пайхоид и уралид, что имеет важное значение как для понимания истории развития сложно построенных дислокаций, так и для пра-

вильного направления поисков полезных ископаемых в данном регионе. В предлагаемой работе сделана попытка количественно оценить углы поворотов структур раннепермского (артинско-кунгурского) возраста Пай-Хоя и Полярного Урала.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА РАБОТ

В качестве объектов исследования были использованы коллекции ориентированных образцов, отобранные в ходе полевых работ 2000 года на Югорском полуострове (р. Таб-Ю и р. Хей-яга) и Полярном Урале (р. Воркута, окрестности г. Воркута). На рис. 1А представлена обзорная карта района отбора образцов. Первая коллекция образцов отобрана в долине реки Таб-Ю из антиклинальной складки (рис. 1Б), образованной нижепермскими отложениями лиурьянградской свиты (P_{lj} , кунгурский ярус) [Пухонто, 1998], представленными песчаниками и алевролитами. Образцы отобраны из обоих крыльев складки (опробовано 33 метра видимой мощности разреза по каждому крылу складки, с шагом отбора 1 метр). Вторая коллекция нижепермских отложений аячъягинской подсвиты лекворкутской свиты (P_{aj} , кунгурский ярус) отобрана из разных крыльев антиклинальной складки (опробовано 70 метров мощности разреза по каждому крылу складки, с шагом отбора 5 метров) в среднем течении р. Хей-яга (1 км

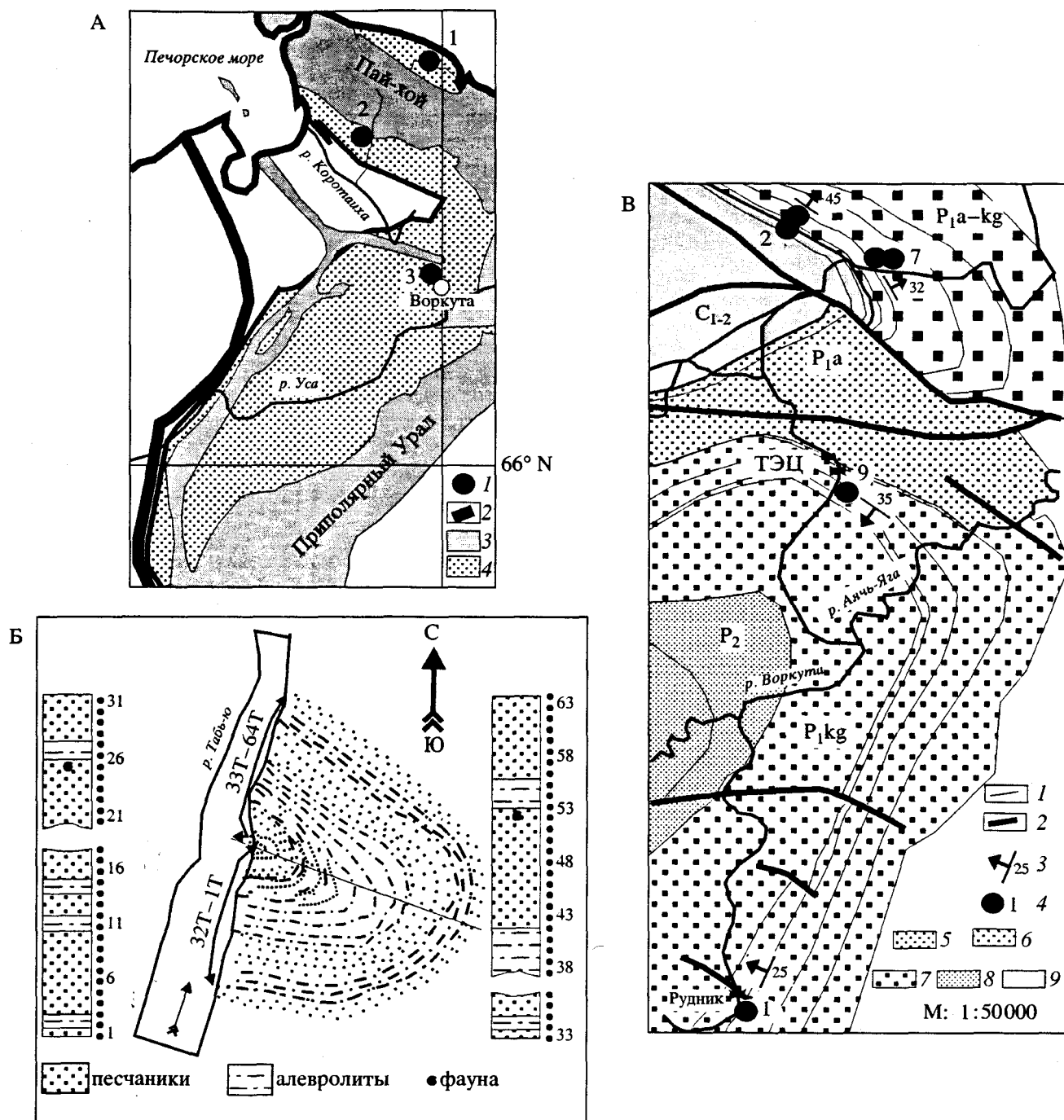


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов раннепермских отложений хр. Пай-Хоя и Урала: А – обзорная карта Печорского угольного бассейна ([Куклев и др., 2000]), с упрощениями: 1 – изученные разрезы, 2 – западная граница бассейна, 3, 4 – допермские и пермские отложения; Б – схема отбора образцов и литологическая колонка раннепермских пород из обнажения по р. Таб-Ю; В – схема отбора образцов раннепермских пород из обнажений по р. Воркута: 1, 2 – структурные и тектонические границы, 3 – элементы залегания пород, 4 – изученные обнажения (по нумерации Г.А. Чернова – первооткрывателя воркутинских месторождений угля, обнажения 1, 2 и 9 соответствуют 36, 65 и 46); 5 – отложения артинского, 6 – кунгурского, 7 – артинско-кунгурского, 8 – позднермского, 9 – каменноугольного возрастов.

выше ручья Контактный), рис. 1А. Породы представлены алевролитами и аргиллитами. Третья коллекция нижнепермских отложений отобрана в долине реки Воркута (рис. 1В). Здесь образцы аячъягинской подсвиты лекворкутской свиты

кунгурского яруса (P_{1aj}) [Пухонто, 1998] отображены из разных крыльев антиклинальной складки в районе ТЭЦ и Рудника (рис. 1В, обн. 1 и 9) и представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами (опробовано 30 метров видимой мощности

разреза по каждому крылу складки, с шагом отбора 1–2 метра). Выше по течению р. Воркута, в карьере Цементного завода (рис. 1в, обн. 2) опробованы нижнепермские породы гусиной свиты (P_{1gs} , артинский ярус), представленные аргиллитами (15 метров разреза с шагом отбора 0.5–1 метр), а напротив Цементного завода, перед мостом, по правому берегу реки Воркута (60 метров разреза с шагом отбора 1–3 метра) песчаники, аргиллиты и алевролиты бельковской свиты, (P_{1bl} , артинский ярус) [Пухонто, 1998], рис. 1в, обн. 7.

Лабораторные палеомагнитные измерения и обработка полученных результатов проводились по общепринятой методике. Выделение компонент естественной остаточной намагниченности (J_n) велось методом ступенчатого терморазмагничивания; применялись установки, помещенные в 5-слойные пермаллоевые экраны (собственная конструкция ВНИГРИ) и TD48(США). Измерения J_n велись на рок-генераторах JR-4 и JR-5 (Чехия). Контроль за химическими изменениями в процессе термочистки осуществлялся путем измерения магнитной восприимчивости после каждого нагрева. Для определения магнитных минералов – носителей естественной остаточной намагниченности (ЕОН) изучалось поведение магнитной восприимчивости в ходе нагрева на каппа-мосте KLY-3 с термоприставкой CS3 (Agico, Чехия). Часть образцов была изучена в лаборатории Университета г. Мюнхен (Германия), где использовалась установка VFTB (Variable Field Translation Balance), позволяющая изучать гистерезисные петли, зависимости нормальной намагниченности от намагничивающего поля и намагниченности насыщения от температуры. При анализе полученных данных, компоненты J_n устанавливались с помощью ортогональных проекций [Zijderveld, 1967], а при вычислении направлений этих компонент использовался метод наименьших квадратов [Kirschvink, 1980]. Все эти операции и представление их результатов в графической форме велось с использованием составленных ранее программ [Torsvik et al., 1990; Enkin, 1994].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Магнитные свойства пород. Большинство изученных пород обладает небольшими значениями естественной остаточной намагниченности и магнитной восприимчивости. Породы из разрезов по р. Таб-Ю, р. Хей-Яга и правого берега р. Воркута (обн. 7) имеют близкие значения величин J_n (0.2–2.1 мА/м), при среднем значении 1.1 мА/м, а значения магнитной восприимчивости лежат в пределах $(1.8–4.5) \times 10^{-4}$ ед. СИ, при среднем значении 3.3×10^{-4} ед. СИ. Эти характеристики у пород из обнажений по левому берегу р. Воркута (обн. 1 и 9) следующие: для J_n – (0.1–8.5) мА/м, при среднем 2.1 мА/м; для магнитной восприимчивости

$(2.4–4.5) \times 10^{-4}$ ед. СИ, при среднем значении 3.4×10^{-4} ед. СИ. Породы, отобранные из карьера Цементного завода наименее магнитны: J_n – (0.2–0.4) мА/м, при среднем 0.3 мА/м; величина магнитной восприимчивости не превышает 1.0×10^{-4} ед. СИ. Во всех отобранных коллекциях большинство пород характеризуется обильным содержанием растительных остатков.

Для определения магнитных минералов – носителей J_n были исследованы зависимости нормальной намагниченности от намагничивающего поля, намагниченности насыщения от температуры и изменения магнитной восприимчивости в ходе нагрева. На рис. 2а, 2б, 2в показаны результаты изучения образца 16Т-1 на установке VFTB. Основным магнитным минералом – носителем J_n , является, по всей вероятности, магнетит с примесями или титаномагнетит. Это подтверждается как поведением J_r и J_s , так и величинами коэрцитивной силы ($H_c = 14$ мТл) и остаточной коэрцитивной силы ($H'_{cr} = 28$ мТл). Поведение магнитной восприимчивости в ходе непрерывного нагрева для дубля этого образца показано на рис. 2 г. Здесь более четко, чем по кривой зависимости $J_s(T)$, видны химические изменения, начинающиеся с 400°C и заканчивающиеся после 550°C. Мы связываем эти изменения с разрушением сидерита (а, возможно, и сульфидов железа) и образованием магнетита. Это подтверждается и поведением J_s в ходе повторного нагрева (рис. 2в). Резкое возрастание как k , так и J_s в ходе охлаждения также связано с намагничиванием вновь образованного магнетита. На рис. 2д, 2е, 2ж показано поведение магнитной восприимчивости в ходе нагрева для образцов из других обнажений (образец 33–1, обн. 24; 92–2, обн. 7 и val0–1, обн. 1). Поведение кривых аналогично рассмотренным выше примерам, т. е. в этих образцах основными магнитными минералами – носителями естественной остаточной намагниченности, также, по всей вероятности, являются магнетит и титаномагнетит. Этот вывод подтверждается и результатами ступенчатого терморазмагничивания образцов. Деблокирующие температуры для образцов, по которым в ходе чистки удалось выделить характерную компоненту, составляют 530–570°C.

Компонентный анализ. р. Таб-Ю. В ходе термомангнитной чистки в образцах этого разреза выделяются две компоненты естественной остаточной намагниченности. Первая низкотемпературная компонента (А) выделяется в диапазоне 100–250°C, 300°C и имеет направление современного геомагнитного поля. Как указывалось выше, во всех породах отмечается обильное содержание растительных остатков и, как следствие, наличие сидерита. Кроме этого, как и во многих осадочных породах, возможно присутствие сульфидов железа. Разрушение этих минералов в ходе термочист-

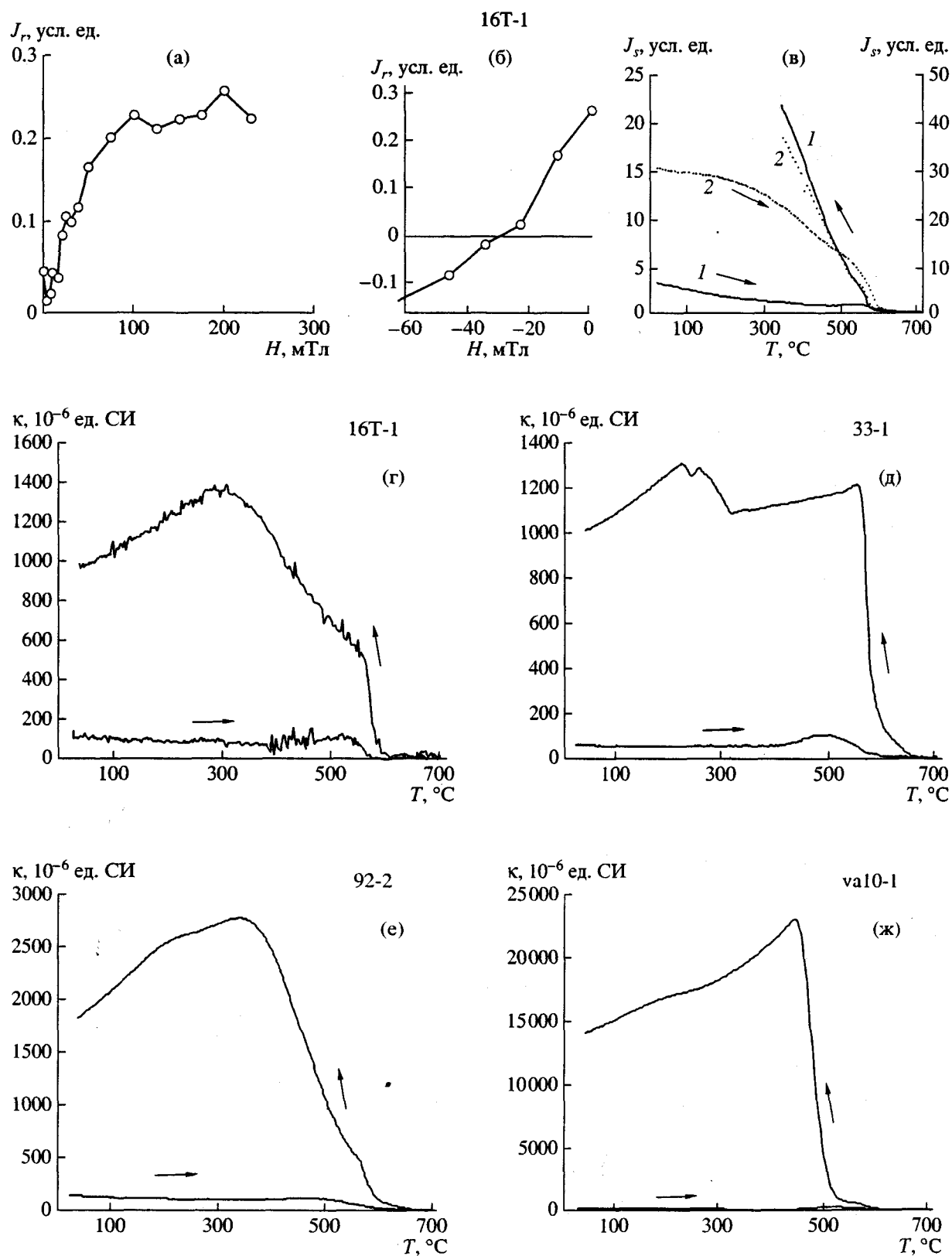


Рис. 2. Примеры термомагнитного анализа раннепермских пород: слева направо: (а), (б) – кривые намагничивания и компенсации нормальной намагниченности, (в) – кривые изменения намагниченности насыщения в ходе нагрева и охлаждения; 1 – первый нагрев (левая шкала по оси ординат), 2 – второй нагрев (правая шкала по оси ординат), образец 16Т-1, р. Таб-Ю; (г), (д), (е), (ж): кривые изменения магнитной восприимчивости при нагреве и охлаждении (16Т-1, р. Таб-Ю; 33-1, обн. 2; 92-2 – р. Воркута, обн. 7; va10-1, р. Воркута, обн. 1).

иосифиди идр

Таблица 1. Палеомагнитные направления и полюсы для раннепермских отложений Пай-Хоя

№	Компо- нента ЕОН	с.к.	N/n	D°	I°	K	α ₉₅	Φ, °N	Λ, °E	dp°	dm°	Φ _m ^o	Тест, κ/κ _{кр}
р. Таб-Ю (69.48°N, 63.71°E)													
1	А	g	30/50	28.7	79.6	24.7	4.1	80.1	138.2	7.3	7.6	69.8	F ₋
		s		74.5	70.2	5.6	9.4						
2	Б	g	11/17	221.4	-42.8	6.8	14.7	43.0	173.8	5.0	7.2	33.4	F ₊ , 3.4
		s		235.4	-52.8	42.2	5.6						
3	Б*	g	19/33	243.2	-77.7	σ = 31.5		39.6	161.4			34.1	F ₊
		s		247.3	-53.6	σ = 19.2							
4	Б**	g	30/50	222.9	-56.6	6.7	8.3	41.1	168.1	3.2	4.7	33.4	F ₊
		s		240.9	-52.8	36.7	3.4						
р. Хей-Яга (68.6°N, 62.8°E)													
5	А	g	24/47	351.7	76.8	15.7	5.4	85.0	288.0	9.3	10.0	64.9	F ₋
		s		342.2	59.8	1.8	22.7						
6	Б	g	10/17	269.4	-51.4	1.9	36.6	45.8	172.3	7.2	10.1	35.6	F ₊ , 7.7
		s		234.0	-55.1	26.6	7.0						
7	Б*	g	19/26	200.7	54.4	σ = 37.2		47.8	180.5			35.1	F ₊
		s		226.7	-54.6	σ = 20.6							
8	Б**	g	29/43	314.7	-75.8	2.4	16.9	47.0	176.2	4.2	6.0	35.6	F ₊
		s		230.3	-55.1	28.3	4.2						

Примечание: N – число штудов; 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° – широта и долгота палеомагнитного полюса; dp°, dm° – полуоси овала доверия; Φ_m° – палеомагнитная широта; * – направление получено методом кругов перемангничивания; σ – стандартное угловое отклонение от большого круга; ** – среднее направление получено по методу [McFadden, McElhinny, 1988]; F₊ – тест складки положителен по Енкину [Enkin, 1994]; κ – отношение кучности векторов в стратиграфической системе к кучности в географической системе координат, $\kappa_{кр}$ – то же отношение для данного числа образцов, являющееся критическим при 95% вероятности, $\kappa/\kappa_{кр} > 1$ – тест складки положителен по Мак Фаддену и Джонсу [McFadden, Jones, 1981]; статистика на уровне штудов (для Б* на уровне образцов).

ки, как правило, приводит к образованию новых магнитных минералов. Эти особенности пород не позволяют при проведении термочистки выделить по большинству из них характерную компоненту естественной остаточной намагниченности. В части образцов коллекции выделяется вторая компонента (Б) в интервале температур 350–530°С и 450–570°С. Для одних образцов удается выйти на последнюю компоненту и выделить разрушенный вектор J_n (рис. 3А, образец 14Т-2). Для других вторая компонента считалась как среднее для остаточных векторов в интервале температур 350–530°С (рис. 3А, образец 16Т-1), поскольку при температурах 550–580°С поведение вектора J_n становится хаотичным из-за подмагничивания вновь образованного магнетита, что фиксируется увеличением магнитной восприимчивости пород. Направления выделенных компонент представлены в табл. 1, а их распределение на рис. 4А (а), (в). В ходе термо-

размагничивания значительная часть образцов претерпевает еще более сильные химические изменения, что приводит к хаотическому поведению кривых размагничивания после нагрева до температур выше 500°С. Выделение характерной компоненты J_n по этой части коллекции проводилось методом кругов размагничивания (рис. 3А, образцы 43Т3, 47Т1). Распределение нормалей к кругам размагничивания и полученное направление представлены на рис. 4А (д) и в табл. 1. Тест складки для компоненты Б, как в модификации Енкина [Enkin, 1994], так и по Мак Фаддену и Джонсу [McFadden, Jones, 1981], положителен, что говорит о ее доскладчатом происхождении. Компонента А постскладчатая (тест складки отрицателен). Данные, полученные методом кругов размагничивания, объединялись с данными по образцам, где удалось выделить характерную компоненту ЕОН в ходе термочистки, по методу,

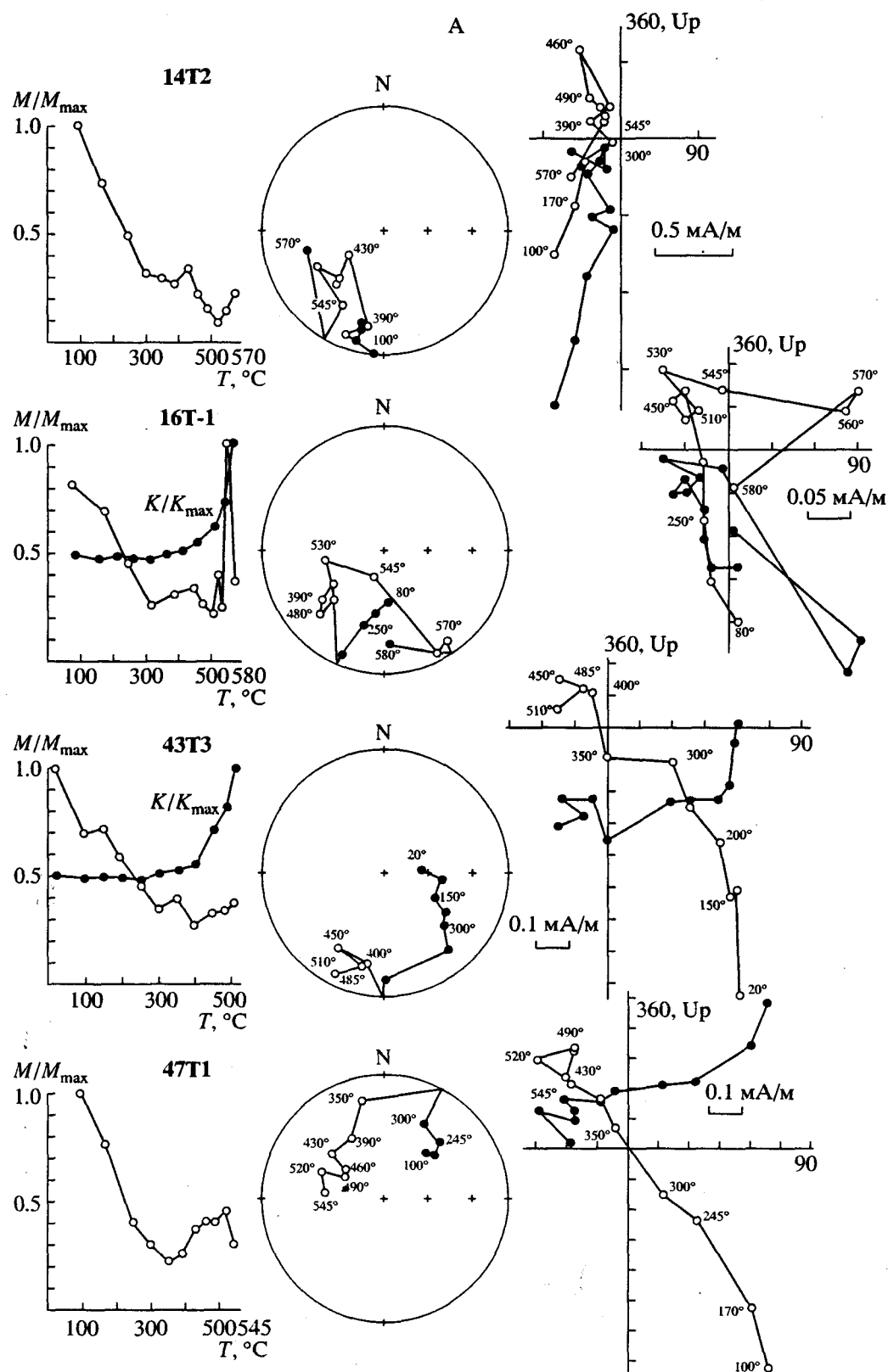


Рис. 3. Примеры терморазмагничивания образцов раннепермского возраста: А – обн. по р. Таб-Ю; Б – обн. по р. Хей-яга (112-1, 1111-1) и обн. 1 и 9 по р. Воркута, (13-2, 9к2-2); В – обн. 2 и 7 по р. Воркута, (33-1, 87-1); слева направо: кривые изменения величины естественной остаточной намагниченности в ходе терморазмагничивания; стереопроекция её направлений (в стратиграфической системе координат); диаграмма Зийдервельда (в стратиграфической системе координат); 1 – проекции векторов на верхнюю полусферу (для диаграмм Зийдервельда проекция вектора в плоскости XOZ), 2 – проекции векторов на нижнюю полусферу (для диаграмм Зийдервельда проекция вектора в плоскости XOY).

Б

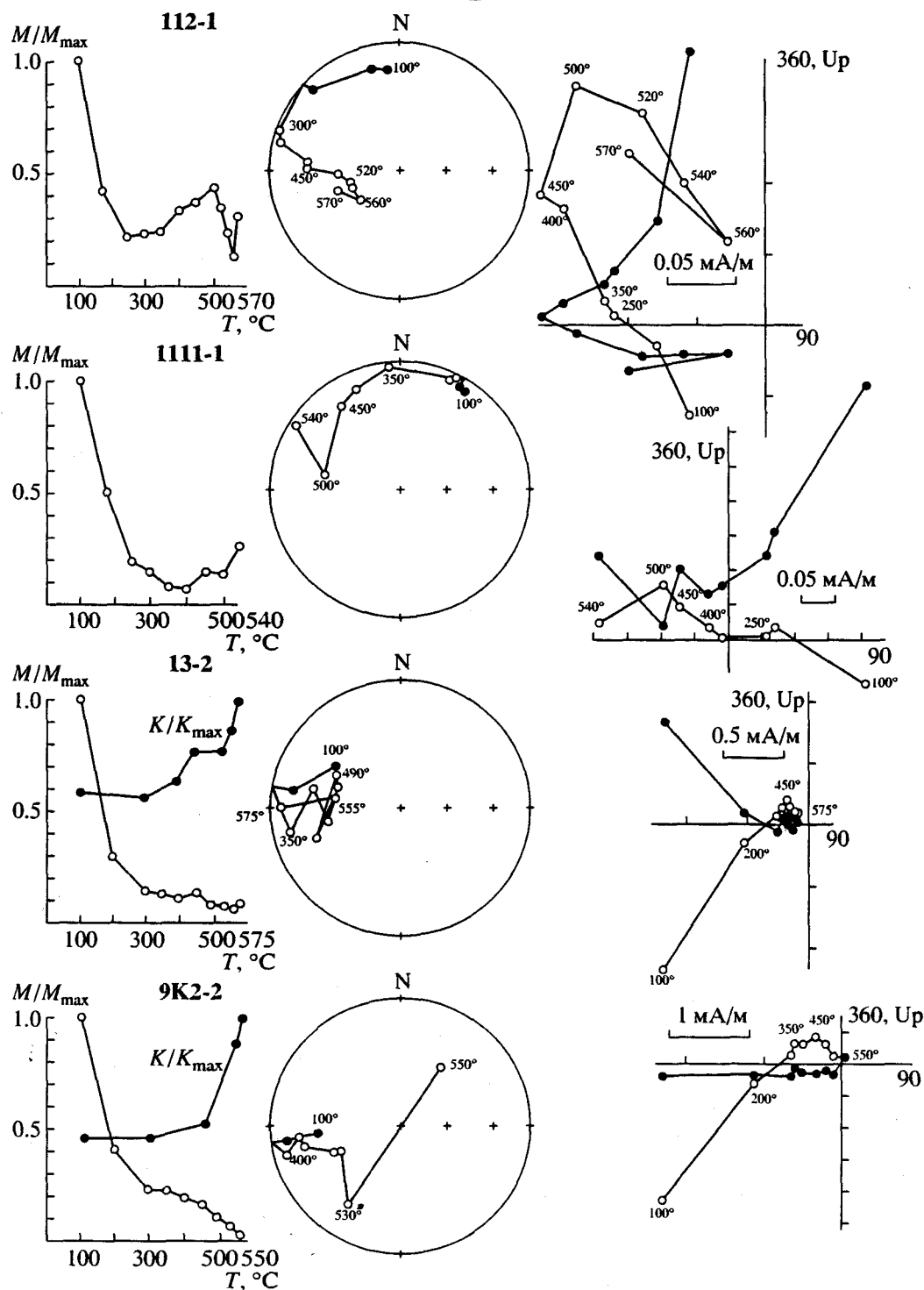


Рис. 3. Продолжение.

предложенному в работе Мак Фаддена и Мак Элхини [McFadden, McElhinny, 1988], табл. 1.

р. Хей-Яга. В процессе лабораторных исследований во всех породах также были выделены две компоненты, А и Б. Компонента А (постскладча-

тая) выделяется в интервале температур 20–250°C и имеет направление современного геомагнитного поля. Выделение второй компоненты (Б) проведено так же, как и по породам из разреза по р. Таб-Ю. По одной части образцов по разрушен-

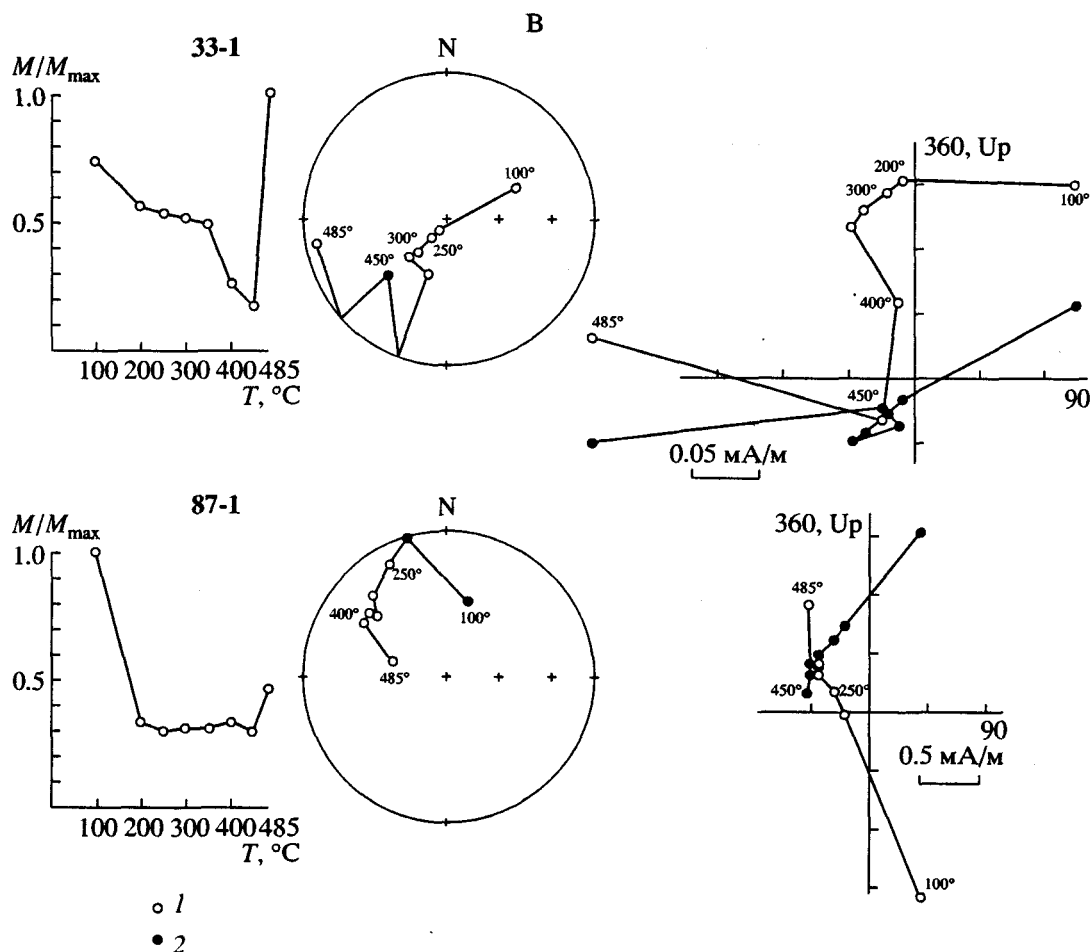


Рис. 3. Окончание.

ным векторам J_n и по среднему направлению для высокотемпературных точек размагничивания вектора J_n , а по большей части образцов – методом плоскостей размагничивания. Характерные кривые размагничивания образцов в ходе термочистки показаны на рис. 3Б (образцы 112-1 и 1111-1). На рис. 4А (б), (г) показано распределение векторов J_n , а полученные направления приведены в табл. 1. Распределение нормалей к кругам размагничивания и полученное направление представлены на рис. 4А, е и в табл. 1. Тест складки для компоненты Б, в обеих модификациях [Eppin, 1994], [McFadden, Jones, 1981] положителен, что говорит о ее доскладчатом происхождении.

р. Воркута. Породы из обнажений по реке Воркута, кроме указанной выше особенности, связанной с обильным содержанием растительных остатков, также имеют небольшие значения ЕОН. Типичные кривые размагничивания образцов показаны на рис. 3Б (образцы 13-2, обн. 1 и 9К2-2, обн. 9) и рис. 3В (образцы 33-1, обн. 2 и 87-1, обн. 7). Во всех образцах в диапазоне $100\text{--}300^\circ\text{C}$ выделяется низкотемпературная компонента J_n (табл. 2, компонента А). Выделить характерную

компоненту не удастся из-за сильных химических преобразований, связанных с разрушением сидерита и падением величины J_n до уровня чувствительности измерительных приборов. Как видно из рис. 1В, элементы залегания пластов по этим обнажениям разные. Породы имеют близкий возраст, который укладывается в артинско-кунгурское время. Поэтому для этих раннепермских пород из четырех обнажений по р. Воркута, определение направления древней компоненты J_n проводилось методом пересечения плоскостей перемагничивания [Палеомагнитология, 1982]. В табл. 2 представлены средние направления для компонент А, определенные по разрушенным векторам в диапазоне температур $20\text{--}250^\circ\text{C}$ и Б, выделенные по остаточным векторам в диапазоне температур $400\text{--}550^\circ\text{C}$ для всех четырех обнажений. На рис. 4Б (ж), (з), (и), (к) показаны круги перемагничивания, по которым определялись нормали к плоскостям перемагничивания. Определение направления древней компоненты показано на рис. 4Б (л), а полученные значения склонения и наклонения – в табл. 2.

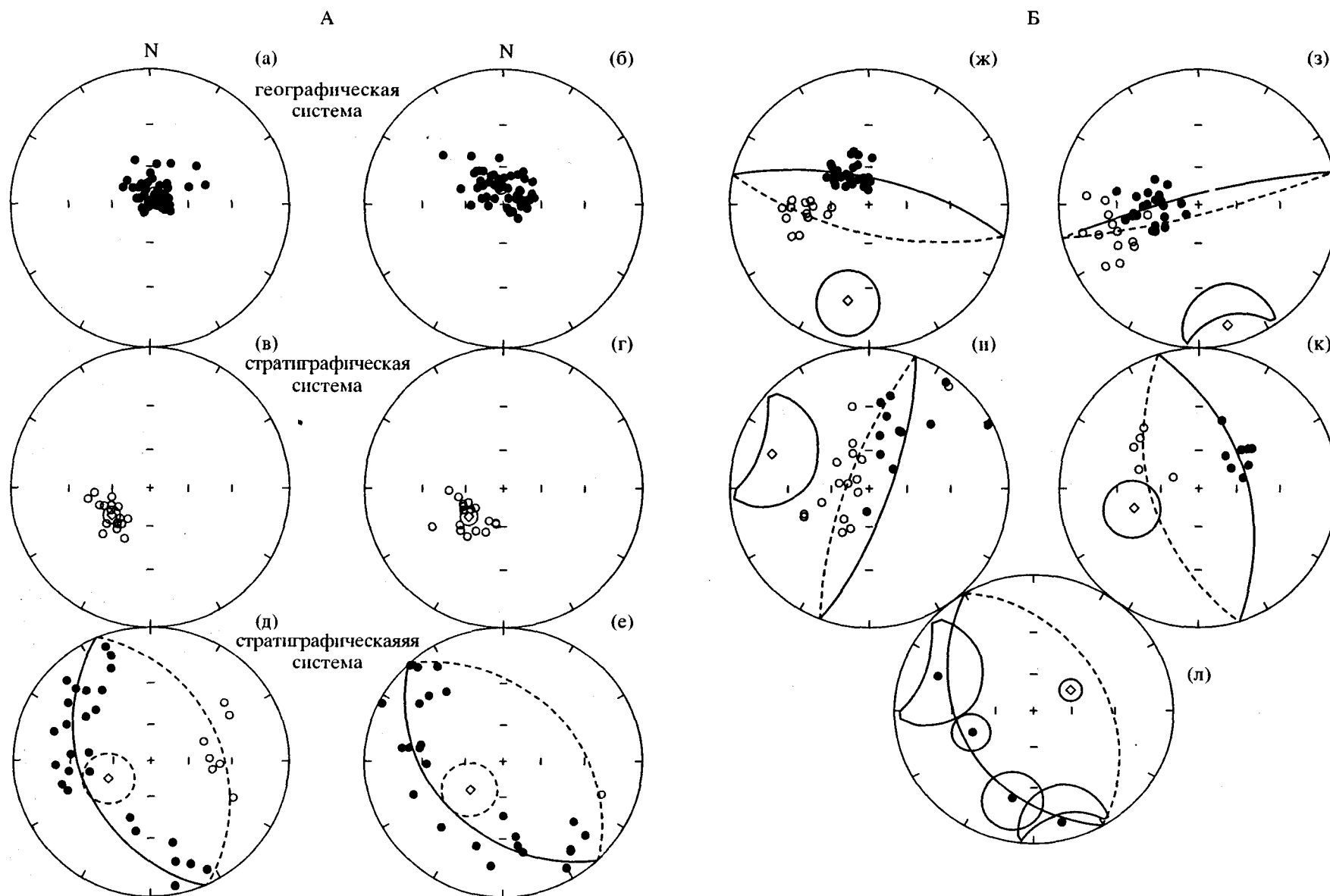


Рис. 4. Распределение направлений выделенных компонент естественной остаточной намагниченности после проведения чисток: А – р. Таб-Ю (а), (в), (д) и р. Хей-яга (б), (г), (е); (а), (б) – компонента А; (в), (г) – компонента Б; (д), (е) – распределение нормалей к кругам размагничивания и нахождение направления до складчатой компоненты J_n (компонента Б) для разрезов по рр. Таб-Ю и Хей-яга; Б – р. Воркута; (ж), (з), (и), (к) – средние направления компонент ЕОН и круги перемангничивания; л – определение направления до складчатой компоненты ЕОН методом пересечения плоскостей перемангничивания.

Таблица 2. Палеомагнитные направления и полюсы для раннепермских отложений Полярного Урала (р. Воркута, $\varphi = 67.5^\circ\text{N}$, $\lambda = 64.1^\circ\text{E}$)

№ обнажения	Компо- нента ЕОН	с.к.	N/n	D°	I°	K	α ₉₅ [°]	Φ, °N	Λ, °E	dp°	dm°	φ _m [°]
1 (Рудник)	А	g	18/32	356.5	74.8	40.6	4.0	83.8	259.8	6.6	7.3	61.5
		s		330.5	61.3	41.8	4.0					
	Б	g	10/13	270.2	-23.5	40.6	6.6					
		s		263.3	-39.5	41.1	6.5					
	нормаль к пл. п.			192.4	24.9	σ = 17.2						
9к (ТЭЦ)	А	g	14/26	319.7	76.9	36.1	4.8	73.9	344.4	8.3	8.9	65.0
		s		267.0	53.6	28.7	5.4					
	Б	g	10/13	251.1	6.6	25.9	8.3					
		s		252.0	-24.1	25.2	8.4					
	нормаль к пл. п.			165.8	8.4	σ = 21.3						
2 (карьер Ц/з)	А	g	8/13	16.1	77.8	9.6	14.1	83.7	154.6	24.9	26.5	66.6
		s		30.8	35.6	6.5	17.6					
	Б	g	7/7	357.7	-61.2	7.8	14.7					
		s		278.2	-67.5	7.6	14.8					
	нормаль к пл. п.			290.1	17.5	σ = 28.8						
7 (напротив Ц/з)	А	g	8/8	16.4	74.5	30.8	10.1	80.4	188.9	16.6	18.3	61.0
		s		48.9	48.7	31.7	10.0					
	Б	g	5/5	331.4	-51.8	19.4	17.8					
		s		303.2	-40.5	20.5	17.3					
	нормаль к пл. п.			252.5	37.9	σ = 18.7						
среднее	А	g	46/79	350.2	76.9	24.0	3.3	85.4	306.7	5.7	6.1	65.0
s		329.6		65.6	5.9	7.2						
среднее	Б	g	32/46	281.2	-36.5	3.2	14.2					
		s		266.1	-44.7	8.1	7.9					
Б**			4	240.1	-55.9	σ = 8.6						

Примечание: ** – направление получено методом пересечения плоскостей перемagnetизации, остальные обозначения смотри в табл. 1.

В табл. 3 приведены результаты определения поворота изученных структур относительно центра Восточно-Европейской платформы (точка с координатами $\varphi = 57^\circ\text{CN}$, $\lambda = 35^\circ\text{E}$). Процедура аналогична использованной в работе [Иосифиди, Храмов, 2002]. Для изученных разрезов в качестве среднего полюса был взят полюс для артинско-кунгурского времени: $\Phi = 43.2^\circ\text{N}$, $\Lambda = 160.8^\circ\text{E}$, $A_{95} = 4.4^\circ$ [Иосифиди, Храмов, 2002]. Как видно из табл. 3, все изученные структуры испытали поворот против часовой стрелки, хотя значимым оказался только результат по обнажению р. Хей-Яга.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В предыдущих работах [Иосифиди, Храмов, 1995; 2002] нами были проведены оценки углов поворота структур пермского и триасового возраста для Северного Тимана, Полярного и Южного Урала. Для сравнения с полученными данными по Пай-Хою в табл. 3 приведены аналогичные оценки углов поворота структур по раннее изученным разрезам Печорской плиты и Урала [Балабанов, 1998; Иосифиди, Храмов, 2002].

Наличие значительных поворотов (10–30°) раннепермских структур связано с надвиговыми

Таблица 3. Расчет углов поворота для пермских структур Пай-Хоя и Урала

№		Компонента	N/n	D°	I°	Угол и направление поворота
1	р. Таб-Ю ($\varphi = 69.48^\circ N$, $\lambda = 63.71^\circ E$)	Б (P_{1a-k})	30/50	240.9	-52.8	
		пересчет	P_{1a-k}	245.9	-57.0	$\Delta D = (5 \pm 3)^\circ$ (против часовой стрелки)
2	р. Хей-Яга ($\varphi = 68.6^\circ N$, $\lambda = 62.8^\circ E$)	Б (P_{1a-k})	29/43	230.3	-55.1	
		пересчет	P_{1a-k}	244.5	-56.3	$\Delta D = (14 \pm 3)^\circ$ (против часовой стрелки)
3	р. Воркута ($\varphi = 67.5^\circ N$, $\lambda = 64.1^\circ E$)	Б (P_{1a-k})	64/84	240.1	-55.9	
		пересчет	P_{1a-k}	244.8	-56.3	$\Delta D = (5 \pm 5)^\circ$ (против часовой стрелки)
4*	р. Адъзва ($\varphi = 67.3^\circ N$, $\lambda = 60.2^\circ E$)	Б (P_2)		52	53	
		пересчет	$P-T$	57	58	$\Delta D = (5 \pm 3)^\circ$ (против часовой стрелки)
5	р. Шугор ($\varphi = 64.35^\circ N$, $\lambda = 58.4^\circ E$)	Б (P_{1a})	29/61	256.6	-48.2	
		пересчет	P_{1a-k}	238.4	-52.7	$\Delta D = (18 \pm 4)^\circ$ (по часовой стрелке)
7	р. Кожим ($\varphi = 65.9^\circ N$, $\lambda = 59.6^\circ E$)	Б (P_{1sk})	25/46	266.1	-50.7	
		пересчет	P_{1sk}	236.4	-54.3	$\Delta D = (30 \pm 3)^\circ$ (по часовой стрелке)
8	Сев. Тиман, р. Волонга ($\varphi = 67.1^\circ N$, $\lambda = 48.6^\circ E$)	Б ($P_{1sk}-P_{1a}$)	22/33	236.0	-47.2	
		пересчет	P_{1sk}	228.5	-50.2	$\Delta D = (8 \pm 4)^\circ$ (по часовой стрелке)
9	Ю. Урал, р. Айдаралаш ($\varphi = 50.7^\circ N$, $\lambda = 58.0^\circ E$)	Б (P_{1sk})	14/25	241.0	-41.9	
		пересчет	P_{1sk}	228.6	-41.3	$\Delta D = (12 \pm 4)^\circ$ (по часовой стрелке)

Примечание: пересчитанные направления определялись по палеомагнитным полюсам для ранней перми, полученным ранее [Иосифиди, Храмов, 2002]; * полюс по ВЕП для границы $P-T$ приведен в табл. 4; ошибки для углов поворота подсчитаны по общепринятым формулам для уровня вероятности 63% [Палеомагнитология, 1982; Кокс, Харт, 1989], при этом α_{95} для пересчитанного на точку наблюдения склонения определялась из A_{95} для соответствующего палеомагнитного полюса; остальные обозначения смотри в табл. 1.

процессами в период коллизии ВЕП с Уралом, при этом ориентация фронтов надвигов указывает на западное и юго-западное направления надвигания [Геодинамическая ..., 1988; Зоненшайн и др., 1990; Юдин, 1994; Тимонин, 1998]. Надвиговые процессы на Пай-Хое имели место вплоть до мелового времени (в основном в поздне триасово-меловое), а для Северного Урала до ранней юры (в основном в пермско-триасовое) [Юдин, 1994; Тимонин, 1998]. Отсюда следует, что для оценки возраста различных фаз надвиговых процессов, имевших место в ходе коллизии ВЕП с Уралом, необходимо иметь ряд палеомагнитных данных, по крайней мере, в диапазоне пермь-юра. Из данных, представленных в табл. 3, можно сделать вывод, что для структур раннепермского возраста северной части Предуральского краевого прогиба характерно проявление поворотов по часовой стрелке (табл. 3, строки 5, 6). На Южном Урале также отмечается наличие поворотов по часовой стрелке (табл. 3, строка 8). Эти данные подтверждают наличие юго-юго-западного направления надвигания для структур Предуральского краевого прогиба в ходе коллизии Восточно-Европейской платформы, Урала, Казахстанских блоков и Сибирской платформы. По разрезам Северного

Тимана и поднятия Чернышева (табл. 3, строки 4 и 8) углы поворота хотя и имеют разный знак, но лежат в пределах ошибки.

Для расшифровки истории развития надвиговых процессов на границе ВЕП с Уралом необходимо проведение геодинамических построений на временной интервал девон-юра. К сожалению, как показывает анализ имеющихся в мировой базе палеомагнитных данных (МБПД) [McElhinny, Lock, 1996], полное решение этой задачи на нынешнем этапе исследований невозможно из-за отсутствия надежных палеомагнитных определений на этот возрастной интервал для структур Восточно-Европейской платформы, Урала, Казахстанских блоков и Сибирской платформы. Тем не менее, общий вид происходящих процессов может быть оценен для некоторых временных интервалов. В табл. 4 приведена выборка палеомагнитных определений по позднепермским и раннетриасовым породам Восточно-Европейской платформы, Казахстанских блоков и Сибирской платформы. Используются данные с максимальным кодом по [McElhinny, Lock, 1996], характеризующим качество выделения характерной компоненты естественной остаточной намагниченности. Большинство определений имеют код, равный 2, а опреде-

Таблица 4. Палеомагнитные полюсы в интервале поздняя пермь-ранний триас для Восточно-Европейской и Сибирской платформ и Казахстанских блоков

№	Возраст	N	Ф, °N	Λ, °E	dp°	dm°	Q	№ в МБПД
					A ₉₅			
Восточно-Европейская платформа								
1	T ₁		52	165	3	5	5	4544
2	T ₁		44	162	5	8	5	4594
3	T ₁		53	158	3	5	5	4598
4	P ₂		46	173	2	4	4	4752
8	P ₂		44	166	2	5	5	4763
6	P ₂		49	158	3	4	5	4767
7	P ₂		44	165	1	1	4	4770
8	P ₂		45	157	3	4	4	4773
9	P-T	9	48	163	3			
Казахстанские блоки								
10	T ₁		42	140	5	7	3	4635
11	P ₂		44	196	5	8	5	7636
12	P ₂		55	166	5	7	3	4843
13	P-T	3	50	167	20			
Сибирская платформа								
14	T ₁		53	163	7	7	5	7911
15	T ₁		45	157	6	7	4	4520
16	T ₁		50	146	11	12	3	4557
17	T ₁		49	146	6	7	6	7926
18	P-T		52	140	6	6	4	4524
19	P-T		51	158	9	10	5	4578
20	P-T	6	50	152	5			

Примечание: N – число полюсов, Q – критерий надежности палеомагнитного полюса [Van der Voo, 1990]; МБПД – мировая база палеомагнитных данных [McElhinny, Lock, 1996]; остальные обозначения смотри в табл. 1.

лений с кодом больше 2 (3 и 4) всего пять. Там, где это было возможно, предпочтение отдавалось определениям, имеющим тест обращения полярности. Естественно, в погрешность полученных средних палеомагнитных полюсов значительный вклад вносят погрешности определения возраста характерных компонент естественной остаточной намагниченности и не совсем качественные данные, что видно из табл. 4 (ряд использованных данных имеют критерии достоверности, по [Van der Voo, 1990], равные 3 и 4). Тем не менее, эти данные позволяют получить общую картину взаимного расположения Восточно-Европейской платформы, Казахстанских блоков и Сибирской платформы для временного интервала пермь-триас, рис. 5. Как видно из рисунка, северо-западная

часть Сибирской платформы располагалась в то время против Пай-Хоя, а Казахстанские блоки находились немного севернее их современного положения относительно Восточно-Европейской платформы. В Карском секторе Уральского палеоокеана в раннепермское время параллельно краю палеоконтинента была образована Байдарацкая островная дуга [Юдин, 1994; Тимонин, Юдин, 1999]. При дальнейшем сближении Восточно-Европейской и Сибирской платформ начался процесс коллизии. Это сближение оказало влияние на Казахстанские блоки, которые сместились немного на юг. При этом имел место правосторонний сдвиг, который и привел к повороту структур Предуралья краевого прогиба по часовой стрелке. Байдарацкая дуга и северо-за-

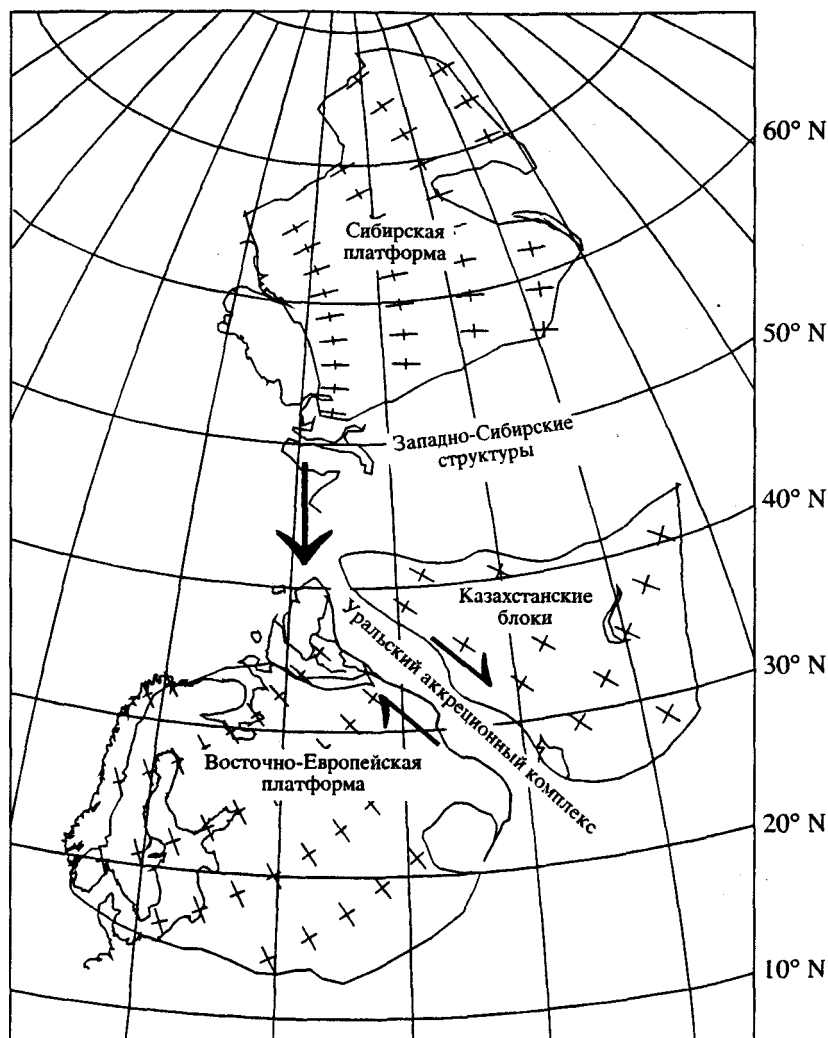


Рис. 5. Взаимное положение тектонических плит и блоков Северной Евразии в поздней перми - раннем триасе.

падная часть Сибирской платформы своим давлением на пайхойские структуры вызвали их повороты в горизонтальной плоскости против часовой стрелки. Более удаленные от Урала структуры Тимана и поднятия Чернышева также испытывали повороты в горизонтальной плоскости, но их амплитуда была меньше.

ВЫВОДЫ

1. Раннепермские структуры Пай-Хоя испытали повороты в горизонтальной плоскости на углы до 10-20 градусов против часовой стрелки по отношению к Восточно-Европейской платформе.

2. Раннепермские структуры Предуральского краевого прогиба испытали повороты в горизонтальной плоскости на углы до 30 градусов по часовой стрелке по отношению к Восточно-Европейской платформе.

3. Развитие горизонтальных поворотов и их распределение в рассматриваемой части Северной Евразии может быть объяснено коллизионными процессами, развивавшимися здесь в конце палеозоя - начале мезозоя.

4. Вероятная последовательность этих процессов могла быть следующей: в процессе коллизии Восточно-Европейской платформы, Казахстанских блоков и Сибирской платформы за счет тангенциальных сжатий Казахстанские блоки сместились на юг. При этом произошел правосторонний сдвиг, который и привел к повороту структур Предуральского краевого прогиба по часовой стрелке. На следующих этапах коллизии северо-западная часть Сибирской платформы и Байдарская островная дуга своим давлением на пайхойские структуры вызвали их повороты в горизонтальной плоскости против часовой стрелки.

5. Для более полной расшифровки надвиговых процессов, имевших место при коллизии тектони-

ческих блоков Северной Евразии необходимо получение новых палеомагнитных определений и, в первую очередь, по осадочным толщам пермского, триасового и юрского возрастов, как для Восточно-Европейской и Сибирской платформ и Казахстанских блоков, так и для Печорской плиты.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность А.В. Кузнецовой (СПбГУ) за участие в отборе образцов, М. Вейсс (M. Weiss, Institut fuer Allg. und Angew. Geophysik, Ludwig-Maximilians-Universitaet Muenchen, Germany) за проведение измерений на установке VFTB, Д.М. Печерскому (ИФЗ РАН) и Г.З. Гурарию (ГИН РАН) за доброжелательную критику и конструктивные замечания.

Работа выполнена при поддержке Министерства Природных Ресурсов РФ и РФФИ проект №01-05-64315.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Балабанов Ю. П. Палеомагнитная характеристика пограничных отложений перми и триаса опорных разрезов Русской плиты. Граница перми и триаса в континентальных сериях Восточной Европы. М.: ГЕОС. 1998. 246 с.

Геодинамическая карта СССР и прилегающих акваторий. М: 1: 2 500 000 / Ред. Зоненшайн Л.П., Межеловский Н.В., Натапов Л.М. МинГеоСССР. 1988. 16 л.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.М., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра. 1990. 328 с.

Иосифиди А.Р., Ибрагимов А.Н. О герцинских деформациях на Приполярном Урале // Физика Земли. 1995. № 11. С. 48-54.

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

I Кокс А., Харпс Р. Тектоника плит. М.: Мир. 1989. С. 427.

Куклев В. П., Пичугин И. В., Подмарков А. В., Пухонто С. К., Тимонина Н. В., Трапезникова Г. В. Атлас пермских углей Печорского бассейна. М.: Научный мир. 2000. 232 с.

Палеомагнитология / Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Л.: Недра. 1982. 312 с.

Пухошино С. К. Стратиграфия и флористическая характеристика пермских отложений угольных месторождений Печорского бассейна. М.: Научный мир. 1998. 312 с.

Тимонин Н.И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН. 1998. 240 с.

Тимонин Н. И., Юдин В. В. Тектоника Пай-Хоя. Сыктывкар. Научные доклады. Коми научный центр УрО РАН. 1999. Вып. 418. 36 с.

Юдин В. В. Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: УИФ "Наука". 1994. 286 с.

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. Astr. Soc. 1980. V. 62. P. 699-718.

McFadden P. L., Jones D. L. The fold tests in palaeomagnetism // Geophys. J. R. Astr. Soc. V. 67. 1981. P. 53-58.

McFadden P. L., McElhinny M.W. The combined analysis of remagnetization circles and direct observations in palaeomagnetism // Earth Planet. Sci. Lett. 1988. V. 87. P. 161-172.

McElhinny M.W., Lock J. IAGA palaeomagnetic databases with Access // Surv. Geophys. 1996. V. 17. P. 575-591.

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

Van der Voo R. The reliability of palaeomagnetic data // Tectonophysics, 1990. V. 184. № 1. P. 1-9.

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

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