

УДК: [55038:551.733].734/(470.2)

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ОРДОВИКСКИХ И ДЕВОНСКИХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД СЕВЕРО-ЗАПАДА РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ: НОВЫЕ ДАННЫЕ О КИНЕМАТИКЕ БАЛТИКИ В ПАЛЕОЗОЕ И О ПЕРМО-ТРИАСОВОМ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИИ

© 2005 г. Е. Л. Гуревич¹, А. Н. Храмов¹, В. П. Родионов¹, М. Деккерс², П. В. Федоров³

¹Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт (ВНИГРИ),
г. Санкт-Петербург

²Утрехтский университет, г. Утрехт, Нидерланды

³Санкт-Петербургский государственный университет

Поступила в редакцию 16.02.2004 г.

Детальное палеомагнитное изучение разрезов ордовикских (арениг — лланвирн) и верхнедевонских (франский ярус) карбонатных и терригенных пород на территории Ленинградской области (разрезы Путилово и на р. Сясь) выявило две группы древних компонент естественной остаточной намагниченности NRM, обозначенные, как *P*, *PD* и *S*-компоненты. Высокотемпературная $P\mathcal{F}$ -компонента в терригенных породах верхнего девона проходит тест конгломератов. В карбонатах ордовика *P*-компонента приурочена к пластам без видимых признаков вторичных изменений и также считается нами первичной. Соответствующие положения палеомагнитных полюсов 10.8°N , 133.6°E ($dp = 2.2^{\circ}$, $dm = 4.5^{\circ}$) для позднего девона, 29.1°N , 48.4°E ($dp = 11.5^{\circ}$, $dm = 13.0^{\circ}$) для лланвирна и 24.7°N , 57.6°E ($dp = 4.1^{\circ}$, $dm = 4.9^{\circ}$) для аренига при сопоставлении с APWP Балтики указывают на прямую полярность геомагнитного поля в изученный интервал франского века и обратную - в арениге и лланвирне. *S* — компонента NRM имеет прямую полярность в породах ордовика и обратную - в девонских породах и координаты палеомагнитных полюсов 58.4°N , 164.3°E ($dp = 1.6^{\circ}$, $dm = 2.3^{\circ}$) и 48.8°S , 346.7°E ($dp = 2.1^{\circ}$, $dm = 3.4^{\circ}$), которые определяют соответственно триасовый и пермский возрасты *S*-компоненты. На основе полученных палеомагнитных определений и обновленной базы палеомагнитных данных предложена новая версия траектории кажущейся миграции палеомагнитного полюса для Балтики в интервале ордовик - девон.

Ключевые слова: палеомагнетизм, палеозой. Русская платформа.

ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция процесса, который определил место Балтики (Русской платформы и Балтийского щита) в структуре Пангеи, является одной из важнейших проблем палеогеодинамики. Необходимым шагом в решении этой проблемы является построение достоверной траектории кажущейся миграции палеомагнитного полюса (APWP) для Балтики в течение раннего и среднего палеозоя.

Известные варианты APWP Балтики для раннего и среднего палеозоя [Torsvik et al., 1996; Smethurst et al., 1998; Torsvik and Rehnstrom, 2003] схожи между собой, что указывает не столько на их объективность, сколько на то, что использовался один и тот же набор удовлетворяющих критериям палеомагнитной надежности палеомагнитных полюсов. Следует отметить, что эти полюсы распределены во времени неравномерно, заметны значительные пробелы в палеомагнитной записи. Из них наиболее продолжительный перерыв (55 млн. лет), охватывающий весь кемб-

рий, представлен несколькими плохо согласующимися друг с другом полюсами. Так же мало палеомагнитных полюсов для позднего ордовика и силура. Наличие или отсутствие палеомагнитных данных обусловлено рядом причин, и, прежде всего тем, способны ли исследуемые породы записывать геомагнитное поле в момент их образования и сохранять эту запись до настоящего времени. Часто синхронная намагниченность оказывается либо полностью "стертой", либо скрытой наложением вторичных намагниченностей. Отметим также, что зарубежными авторами для построения траекторий APW практически не использовались имеющиеся палеомагнитные данные для европейской части бывшего СССР, видимо из-за того, что эти данные опубликованы в основном на русском языке в журналах и сборниках, труднодоступных для зарубежных читателей. Что же касается полюсов, представленных в Глобальной палеомагнитной базе данных [McElhinny, Lock, 1996], то большинство их получены давно и имеют низкие значения критерия надежности $Q < 3$ (по [Van der

Voo, 1990)]. На ранних этапах палеомагнитных исследований имевшиеся тогда технологические возможности существенно ограничивали диапазон пород, пригодных для палеомагнитных исследований. Сейчас эти возможности, вместе с развитием аппаратной базы, способов анализа и интерпретации палеомагнитных данных, существенно расширились.

Представленные здесь результаты палеомагнитных исследований разрезов кембрийских, ордовикских и девонских отложений Ленинградской области получены на основе использования современных аппаратных и технологических достижений.

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Толща средне-верхнекембрийских и раннеордовикских пород восточной части Балтийско-Ладжского глинта состоит из 10-20 - метровой последовательности песчаников, венчающихся битуминозными сланцами тремадока, которые перекрыты 10-15 - метровой серией преимущественно карбонатных пород (главным образом известняков), относящихся к аренигу и лланвирну. Эта последовательность представляет собой часть осадочного чехла, возрастом от венда до позднего девона, достигающего в прогибах двухкилометровой мощности. Осадочные породы чехла почти не нарушены, в рассматриваемом районе они никогда не погружались глубже, чем на несколько сотен метров от земной поверхности (суши и моря).

Ордовикские известняки образуют невысокий уступ (глинт), протягивающийся вдоль южного берега Финского залива, образуя далее к востоку южный борт долины р. Невы и южного берега Ладжского озера (рис. 1). Этот уступ представляет собой край покрова, под которым сохранились более древние, тремадокские и верхне-среднекембрийские слабо сцементированные терригенные отложения. Карбонатная толща ордовика богата окаменелостями - фауной трилобитов, конодонтов и граптолитов, позволяющей проводить детальное расчленение разрезов и их отдаленную корреляцию. Толщу относят к аренигскому и лланвирнскому ярусам общей шкалы, основываясь, главным образом, на выделении в разрезах граптолитовых зон [Селиванова, Кофман, 1971; Обут и др., 1991].

Изученные разрезы верхнедевонских осадочных пород в долине р. Сясь приурочены к восточной части Главного девонского поля (рис. 1). Осадки формировались на окраине позднедевонского моря, которое было в общем мелководным [Геккер, 1954; Саммет, 1971]. Его дно понижалось с востока на запад к середине бассейна, дальше оно снова поднималось. На северо-востоке бассейн граничил с обширной областью красно-

цветных, преимущественно песчаных осадков, откуда терригенный материал поступал в него вместе с пресными водами. По направлению с северо-востока на юго-запад происходила смена типов осадков - от красноцветов дельтового и лагунно-континентального происхождения к прибрежным пескам и глинам и далее к мергелям и глинистым известнякам [Геккер, 1954]. Во времени границы между типами осадков были подвижными; их смещение на запад и обратно (т.е. перемещение береговой линии и зон шельфа) обусловило ритмическое строение разрезов и различия в наборе пород этих ритмов в разных разрезах. Так, в восточном и северо-восточном направлении известняковые и мергелистые слои выклиниваются, замещаясь глинами, светлыми и красноцветными песчаниками, а затем остаются одни красноцветы. При этом верхняя и нижняя красноцветные толщи смыкаются примерно на границе нижне- и среднефранского подъярусов [Геккер, 1954]. Со сменой фаций в пространстве и времени меняются и комплексы фауны - от пресноводных рыб в красноцветах до морских рыб, гастропод, пелеципод, а затем и табулят и морских лилий в фациях центральной части бассейна. Богатство и разнообразие фауны, хорошая расчлененность разрезов позволили провести надежные био- и ритмостратиграфические корреляции в пределах всего бассейна [Геккер, 1954; Саммет, 1971]. Комплекс фауны, установленный в изученных нами разрезах, определяет позднефранский (Гверстовка) и раннефранский (Яхново) возраст пород. Залегание пород - горизонтальное.

ПРЕДЫДУЩИЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первые палеомагнитные исследования нижне- и среднепалеозойских отложений в Ленинградской области, проведенные еще на самых ранних этапах становления палеомагнитологии, показали, что по крайней мере часть пород сохранила запись древнего геомагнитного поля [Храмов, 1958; Храмов, Родионов, 1977]. Было установлено, что ордовикские, в основном карбонатные породы (разрезы по рекам Тосна, Поповка, Нарва) характеризуются двумя намагниченностями - вторичной, биполярной, вероятно позднепалеозойского-раннемезозойского возраста и предположительно первичной (ордовикской), преимущественно обратной полярности. Новые исследования, проведенные за последние 5 лет [Smethurst et. al, 1998; Родионов и др., 2002; Храмов, Иосифиди, 2002] подтвердили эти предположения. Также было установлено, что NRM, если не учитывать лабораторную вязкую или современную ее компоненты, имеет преимущественно однокомпонентный состав - представлена либо только вторичной мезозойской, либо только первичной, ордовикской ком-



Рис. 1. Упрощенная геологическая карта района работ с указанием положения изученных разрезов.

понентой. Палеомагнитные исследования верхне-девонских терригенных отложений на Главном девонском поле, в том числе и в Ленинградской области, проводились еще до начала 70^х годов [Линькова, 1960; Храмов, 1963]. Эти исследования показали, что NRM глин и алевролитов верхнего девона, помимо современной компоненты, в основном представлена высокостабильной обратной компонентой, как оказалось, близкой по направлению к верхнепалеозойской [Храмов, 1963; Палеомагнитные..., 1984; Погарская, 1984]. В то же время для значительной части образцов были отмечены "следы" высокотемпературной ($T_{об} > 600^{\circ}\text{C}$) компоненты намагниченности, выделить которую в то время не удалось [Погарская, 1984; Моотсе, 1986]. Ранние палеомагнитные исследования кембрийских отложений региона показали, что они характеризуются намагниченностью, совпадающей

по направлению с современным геомагнитным полем. Тем не менее, новые работы, основанные на современной технологии, позволили выделить и древнюю, высокотемпературную компоненту предположительно позднекембрийского возраста [Храмов, Иосифиди, 2002].

ОТБОР ОБРАЗЦОВ

Кембрийские отложения изучались в карьере у д. Подолье (Кировский район Ленинградской области, 59.9°N , 31.6°E). Были опробованы разрезы саблинской свиты среднего кембрия и ладожской свиты верхнего кембрия. Стратиграфическая привязка этих свит дана по [Dronov et al., 1997]. Отложения среднего и верхнего кембрия представлены слаболиффицированными светлыми кварцевыми песчаниками. В верхней части

саблинской свиты наблюдаются небольшие прослойки глин. Для палеомагнитных исследований из разрезов среднего и верхнего кембрия было отобрано более 100 образцов-кубиков. Для их отбора использовалась специальная методика: предварительно подготовленное место отбора пропитывалось силикатным клеем и после неполного высыхания непосредственно в обнажении вырезались кубики с ребром 20 мм.

Ордовикские отложения изучались в карьерах Путилово и Подолье (Кировский район Ленинградской области 59.9°N, 31.5°E). Разрез в Путиловском карьере представляет собой 20-метровую толщу известняков, внизу обогащенных глауконитом, вверху слабодоломитизированных, и глинистых известняков верхней половины леэтсеской свиты, волховской, силлаоурской, обуховской, синявинской и симанковской свит. Леэтсеская и волховская свиты по палеонтологическим данным [Решения..., 1987] образуют одноименные горизонты аренигского яруса. Выше лежащие свиты относятся к кундаскому горизонту лланвирнского яруса. Всего более 300 образцов-кернов диаметром 24 мм были отобраны равномерно по разрезу с помощью переносного мотобура. В карьере Подолье из метровой толщи шоколадного цвета диктионемовых сланцев копорской свиты были отобраны 17 образцов-кубиков. Согласно [Решения..., 1987] свита относится к верхней части пакерортского горизонта тремадокского яруса нижнего ордовика.

Верхнедевонские отложения изучались в разрезе у деревень Гверстовка и Яхново Волховского района Ленинградской области (59.9°N, 32.7°E; 60.0°N, 32.6°E). У д. Гверстовка на правом берегу р. Сясь из толщи преимущественно красных, реже голубых глин и алевролитов воронежского горизонта франского яруса было отобрано 100 образцов-кубиков с ребром 20 мм. Общая мощность изученной толщи составила 6.5 м. У д. Яхново из красных глин, образующих тонкие прослои в почти белых слаболитифицированных песчаниках сарагаевского горизонта, было отобрано 9 образцов-кубиков.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Лабораторные исследования были проведены в палеомагнитных лабораториях ВНИГРИ (С.-Петербург) и Утрехтского университета (Утрехт, Нидерланды). Для определения компонентного состава NRM все образцы были подвергнуты термочистке с шагом 50°C в интервале 20–550°C и 10°C выше 550°C. Терморазмагничивание проводилось в экранированных (остаточное поле не выше 5нТл) печах TSD48. Измерения намагниченности велись на рок-генераторе JR-4 (С.-Петербург) и криогенном магнитометре 2G (Утрехт). Минералогические изменения во время

термочистки контролировались измерением магнитной восприимчивости на каппа-мосте KLY-3. Компонентный анализ проводился по методике Кишвинка [Kirschvink, 1980], а его результаты изображались на ортогональных проекциях [Zijderveld, 1967]. Погрешность выделенных направлений NRM-компонент вычислялась по алгоритму Кента [Kent et al., 1983]. Все расчеты проводились с использованием компьютерных программ Энкина [Enkin, 1994].

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЧИСТКИ

Средний и верхний кембрий. Величина NRM средне- и верхнекембрийских песчаников варьирует в диапазоне $(0.5–80.0) \times 10^{-2}$ А/м. Терморазмагничивание показало, что естественная остаточная намагниченность является однокомпонентной и характеризуется узким диапазоном основных деблокирующих температур $T_{ub} = (640–675)^\circ\text{C}$ (рис. 2, обр. 194). Направление среднего вектора для нее составило $D = 12.1^\circ$, $I = 67.8^\circ$, $K = 45$, $\alpha_{05} = 2.6^\circ$, что ненамного отличается от направления современного геомагнитного поля (рис. 3, А)

Тремадокский ярус. Намагниченность образцов сланцеватых глин копорской свиты оказалась сравнительно высокой и варьирует в диапазоне $(3.5–32.0) \times 10^{-2}$ А/м. Компонентный анализ результатов терморазмагничивания 17 образцов показал, что 12 образцов (5 образцов были отбракованы из-за резкого увеличения магнитной восприимчивости уже при температуре 300°C) характеризуется двухкомпонентной намагниченностью. Обе компоненты показывают близкие направления, соответствующие вторичной (+S) намагниченности. Первая компонента, которая составляет 20–30% NRM, постепенно разрушается до 600°C. Вторая – высокотемпературная компонента – имеет узкий спектр деблокирующих температур $T_{ub} = 600–655^\circ\text{C}$. (рис. 2, обр. 282) Распределение векторов для высокотемпературной компоненты показано на стереограмме (рис. 3В). Среднее направление для нее и соответствующий ему палеомагнитный полюс приведены в табл. 1 строка 1.

Арениг-Лланвирн. Светлосерые известняки, в основном слагающие разрез ниже- и среднеордовикских отложений карьера Путилово, оказались слабомагнитными. Естественная остаточная намагниченность для них находится в пределах $(0.4–5.0) \times 10^{-4}$ А/м. Несколько большей намагниченностью характеризуются красноватые известняки $(5–10.0) \times 10^{-4}$ А/м. Терморазмагничивание образцов показало, что NRM имеет двухкомпонентный состав. При нагреве до 200–300°C разрушается либо современная, либо лабораторная вязкая намагниченность. В интервале 300–600°C выделяются компонента намагниченности, имеющая либо северо-восточное вниз, либо юго-восточное вниз направление (рис. 2, обр. 6, 262). При этом

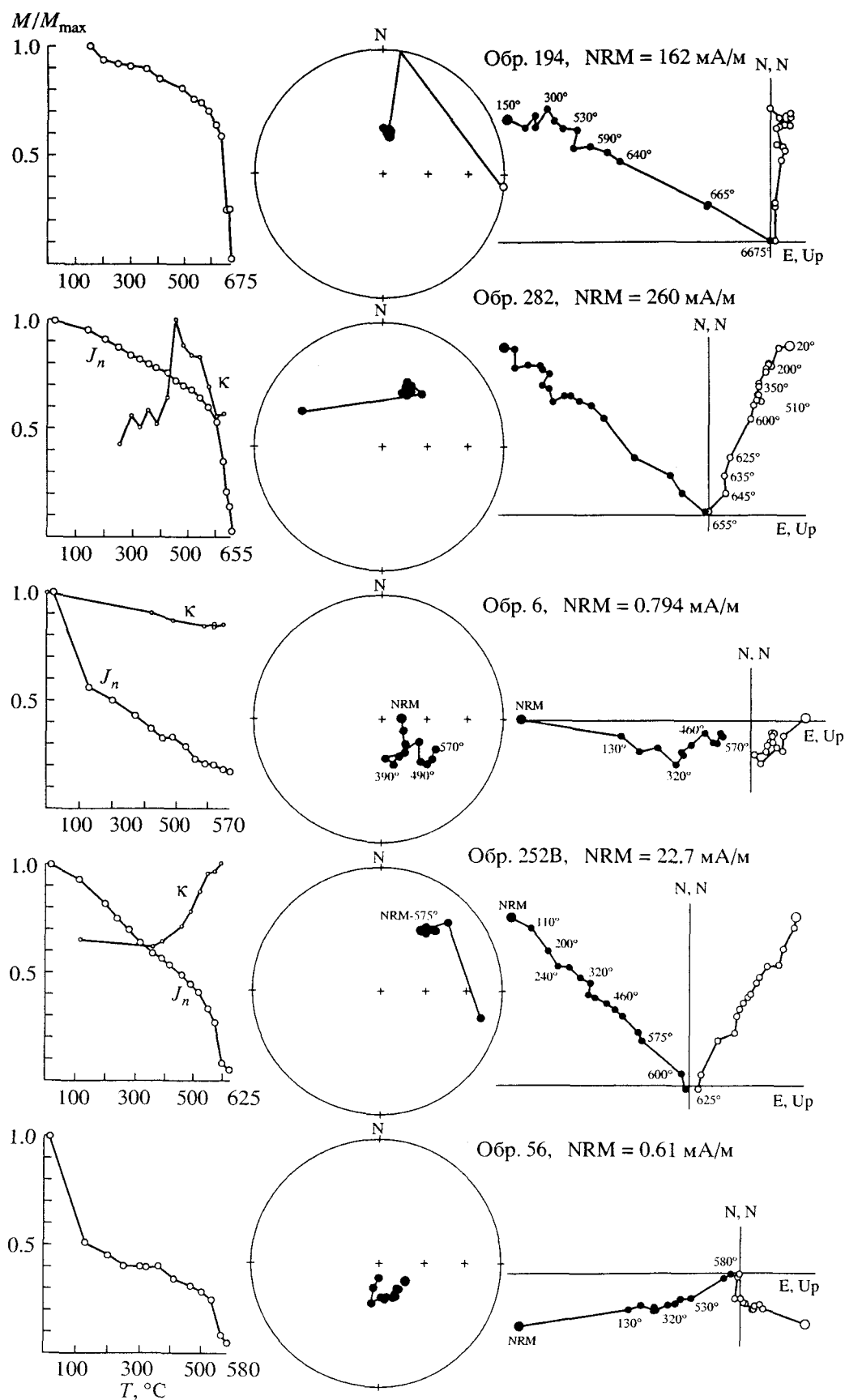


Рис. 2. Результаты терморазмагничивания образцов пород верхнего девона, среднего-нижнего ордовика, верхнего – среднего кембрия.

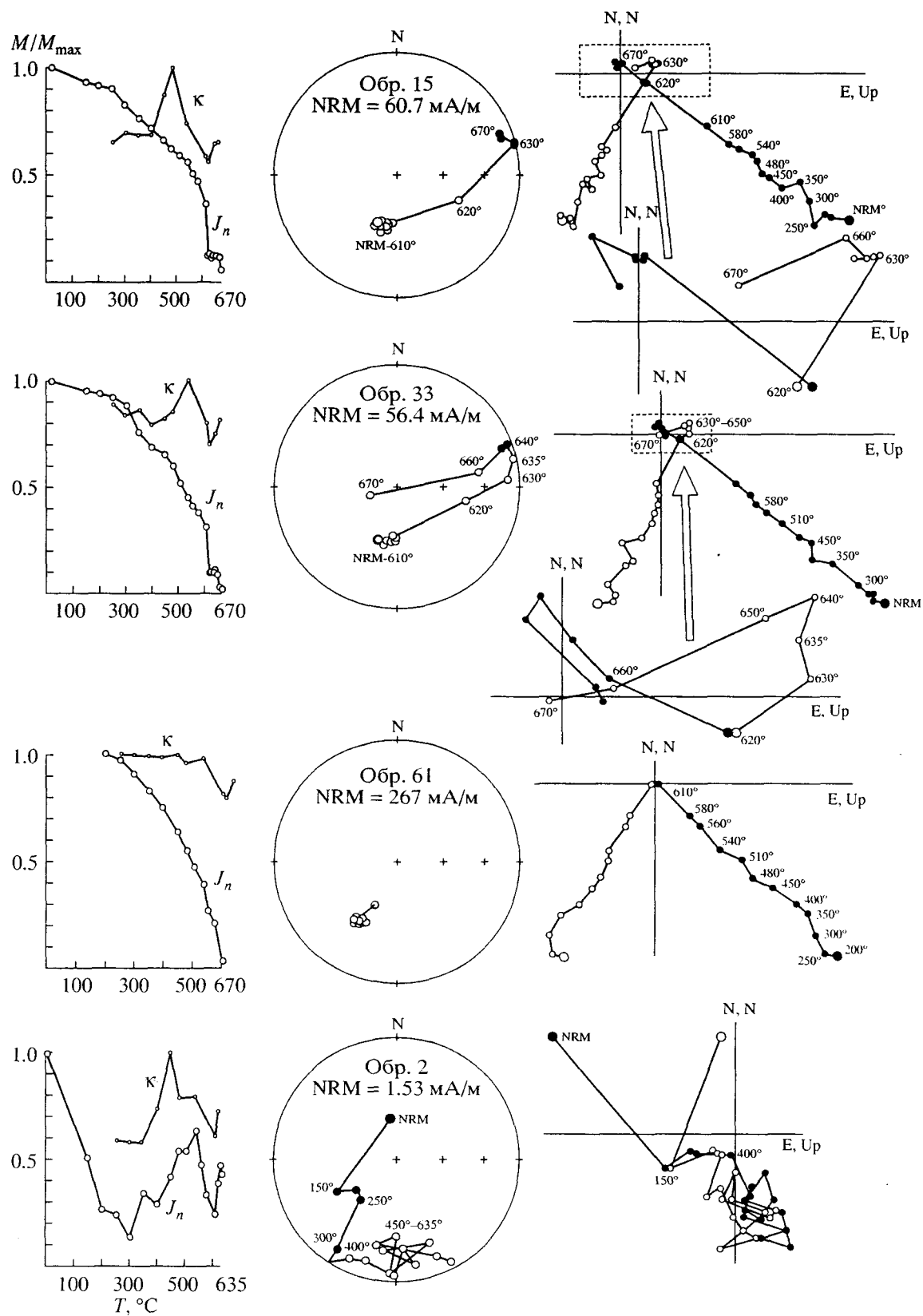


Рис. 2. Окончание.

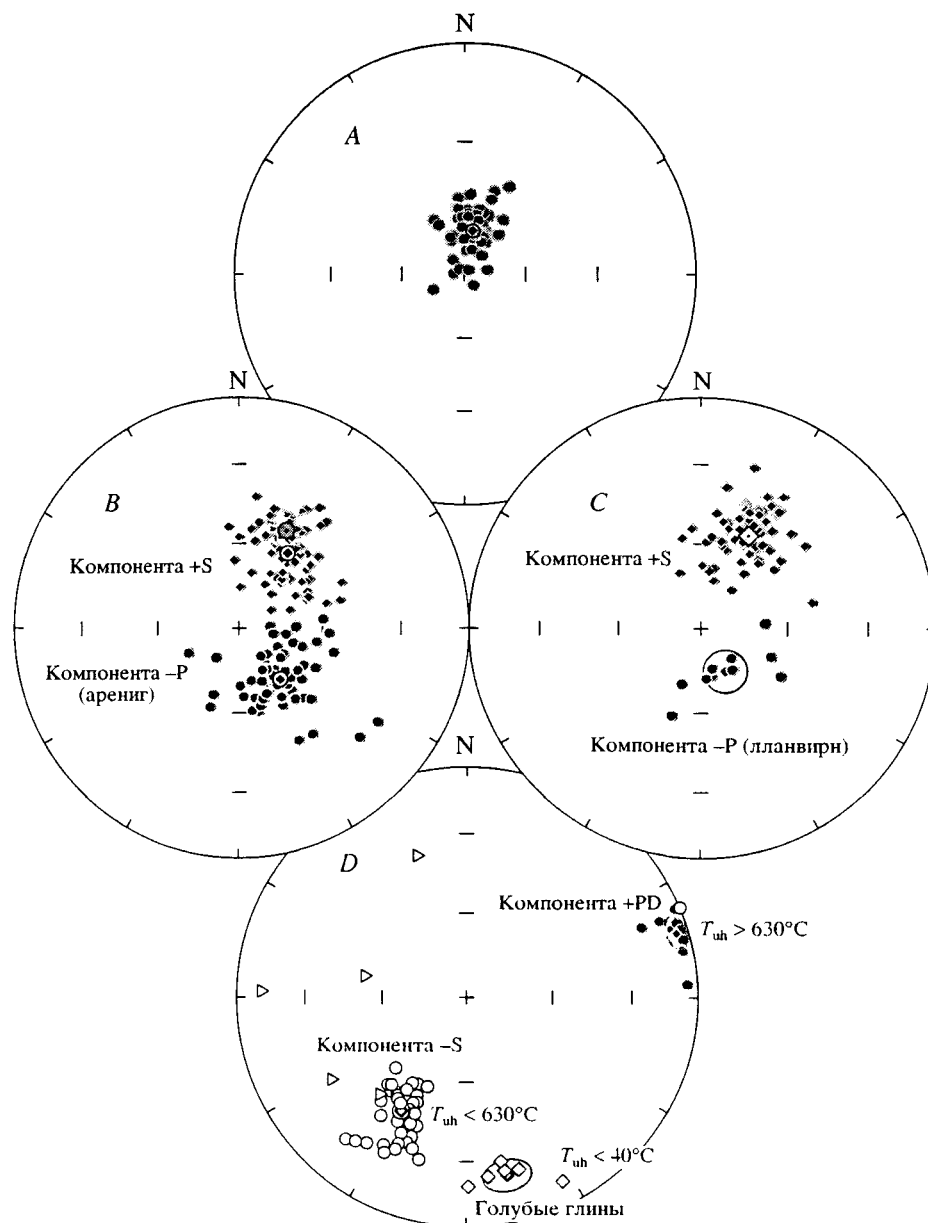


Рис. 3. Стереограмма распределения компонент NRM. Залитые значки – проекции векторов на нижнюю полусферу, полые – на верхнюю. А – средний-верхний кембрий; В – нижний ордовик, компонента + S: треугольники – копорская свита (тремадок), ромбы – арениг, компонента P – кружки; С – средний ордовик (лланвирн). Обозн. см. рис. 3В; D – верхний девон, кружки P- и -S-компоненты, ромбы – неразделенные компоненты, треугольники – ChRM с большим разбросом векторов.

северо-восточная компонента чаще разрушается при более высоких температурах и в более узком диапазоне деблокирующих температур ($T_{ub} = 450\text{--}600^\circ\text{C}$) по сравнению с юго-восточной компонентой ($T_{ub} = 250\text{--}550^\circ\text{C}$).

Образцы, имеющие двухкомпонентный состав оставшейся после нагрева до 300°C части намагниченности, встречаются значительно реже (рис. 2, обр. 56). Выделяемые при этом компоненты также имеют юго-восточное или северо-восточное направление. Следует отметить, что высокотем-

пературную компоненту (из-за возрастания магнитной восприимчивости при $T > 500^\circ\text{C}$ и малой величины остатка NRM) часто выделить не удается.

На стереограмме векторы характеристической намагниченности ChRM образуют два частично перекрывающихся кластера северо-восточного и юго-восточного вниз направлений (рис. 3В, 3С). Вслед за Сметарстом [Smethurst et al., 1998] мы назвали северо-восточную компоненту +S, а юго-восточную –P-компонентами. Средние направления для них и соответствующие им координаты

Таблица 1. Палеомагнитные направления и соответствующие им палеомагнитные полюсы ордовикских пород карьера Путилово и верхнедевонских пород р. Сясь

п/п	Возраст пород	Компонента	Возраст компоненты	<i>N</i>	<i>D</i> , °	<i>I</i> , °	<i>K</i>	α_{95} , °	Φ , °N	Λ , °E	<i>dp</i> , °/ <i>dm</i> , °
1	O ₁ tr	+S	P-T	11	26.1	50.9	228	2.8	56.8	167.8	2.6/3.8
2	O ₁ ar	+S	P-T	76	34.0	58.5	41	2.5	60.3	150.0	2.8/3.7
3	O ₁ ar	-P	O	70	140.6	67.4	32	2.9	24.7	57.6	4.1/4.9
4	O ₁ ln	+S	P-T	109	27.3	53.4	64	1.7	58.4	164.3	1.6/2.3
5	O ₁ ln	-P	O	11	151.4	72.0	32	7.4	29.1	48.4	11.5/13.1
6	D ₃ fr	-S	P ₂	39	209.7	-42.2	65	2.8	-48.8	346.7	2.1/3.4
7	D ₃ fr	+PD	D ₃ fr	11	72.9	5.3	90	4.4	10.8	133.6	2.2/4.5

Обозначения: *N* – число образцов, *D*, *I* – склонение и наклонение среднего вектора компоненты, *K* – кучность векторов, α_{95} – радиус круга доверия для среднего вектора при $p = 0.95$, Φ , Λ – широта и долгота палеомагнитного полюса, *dp*, *dm* – полюсы овала доверия.

наты палеомагнитных полюсов приведены в табл. 1, строки 2–5. Анализ распределения образцов в разрезе показал, что $-P$ и $+S$ -компоненты приурочены к определенным стратиграфическим уровням (рис. 4). $-P$ -компонента намагниченности преобладает в глауконитовых известняках низов аренигского яруса (леэссеская свита, ниже- и средневолховская подсвиты). Значительно меньше охарактеризованы $-P$ -компонентой известняки лланвирнского яруса. Лишь в 11 образцах, представляющих верхи обуховской свиты, сиявинскую и низы симанковской свит, выделяется $-P$ -компонента. Остальная часть разреза карьера Путилово характеризуется преобладанием $+S$ -компоненты. Хотя средние направления для $+S$ -компоненты, выделенной в известняках аренигского и лланвирнского ярусов, значительно не различаются, следует отметить, что среднее направление для $+S$ -компоненты, выделенной в аренигской части разреза, смещено относительно этой же компоненты, выделенной в лланвирнской части, приблизительно на 5° по большому кругу в направлении $-P$ -компоненты. По-видимому, это связано с тем, что в подсчет средних векторов попали образцы, у которых не удалось полностью разделить $-P$ - и $+S$ -компоненты.

Девон, франский ярус. Естественная остаточная намагниченность и магнитная восприимчивость образцов верхнедевонских красных, реже голубых глин и алевролитов, слагающих франские отложения в разрезе Гверстовка и Яхново, варьирует в широких пределах и коррелирует с цветом пород. Для красных глин величина NRM составила $(1-10.2) \times 10^{-2}$ А/м, для голубых глин меньше 0.2×10^{-2} А/м.

Терморазмагничивание позволило выделить три группы образцов. Первую группу составили образцы голубых глин, в NRM которых преобладает компонента, характеризующаяся низкими блокирующими температурами $T_{ub} < 350^\circ\text{C}$ (рис. 2,

обр. 2). Векторы этой компоненты имеют либо направления, близкие современному геомагнитному полю, либо случайные, что указывает на ее вязкую природу. При нагревании образцов из этой группы до более высоких температур в интервале $350^\circ-500^\circ\text{C}$ происходит рост намагниченности и магнитной восприимчивости с последующим спадом при температурах, больших 550°C (рис. 2, обр. 2). Из-за малой величины намагниченности уверенно выделить компоненты в этом интервале температур не удастся. Однако следует отметить, что, несмотря на значительный разброс, остаточные векторы образуют кластер, показывающий юго-восточные с небольшими отрицательными наклонениями направления (рис. 3, *D*). Средний вектор для кластера характеризуется значениями: $D = 167.5^\circ$, $I = -21.9^\circ$, $\alpha_{95} = 7.2^\circ$, $K = 62$. Это направление мы интерпретируем как направление суммы неразделенных S - и P -компонент.

Вторую группу составляют образцы красных глин и алевролитов, NRM которых сложена одной или двумя высокотемпературными компонентами. Диаграммы Зийдервельда показали, что первая компонента разрушается постепенно до максимальной блокирующей температуры 620°C , при этом наиболее быстрый спад намагниченности наблюдается в интервале температур $540-620^\circ\text{C}$ (рис. 2, обр. 15, 33, 61). Такое поведение при размагничивании указывает на то, что основным носителем этой компоненты является разнорасперсный гематит с размытым спектром деблокирующих температур, далеких от точки Кюри гематита. Для большинства образцов (30 образцов из разреза Гверстовка и 9 образцов из разреза Яхново) эта компонента оказалась единственной ChRM-компонентой. Векторы этой компоненты имеют юго-западные вверх направления (рис. 3*D*). Среднее направление для кластера, образованного этой компонентой и соответствующий палео-

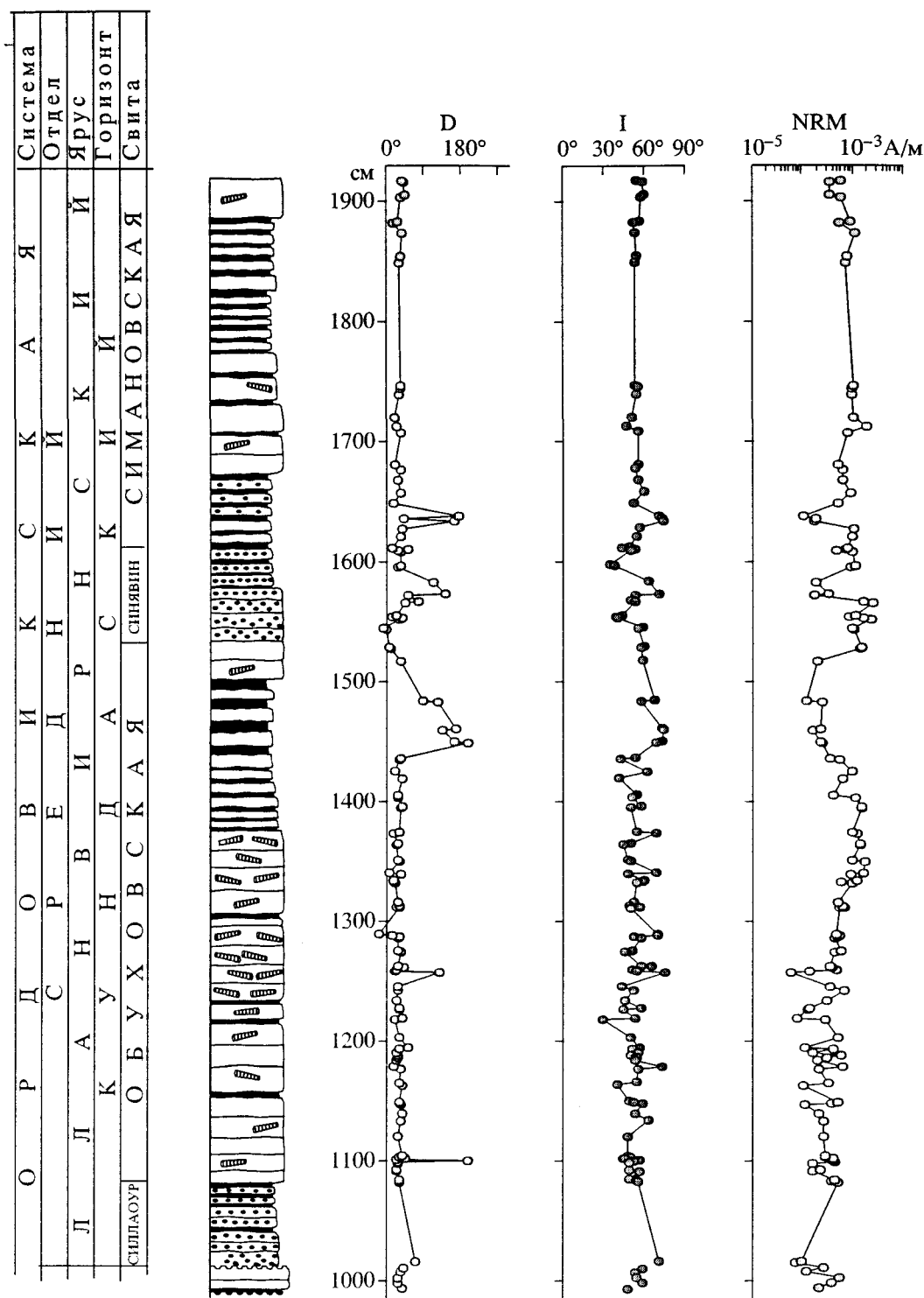
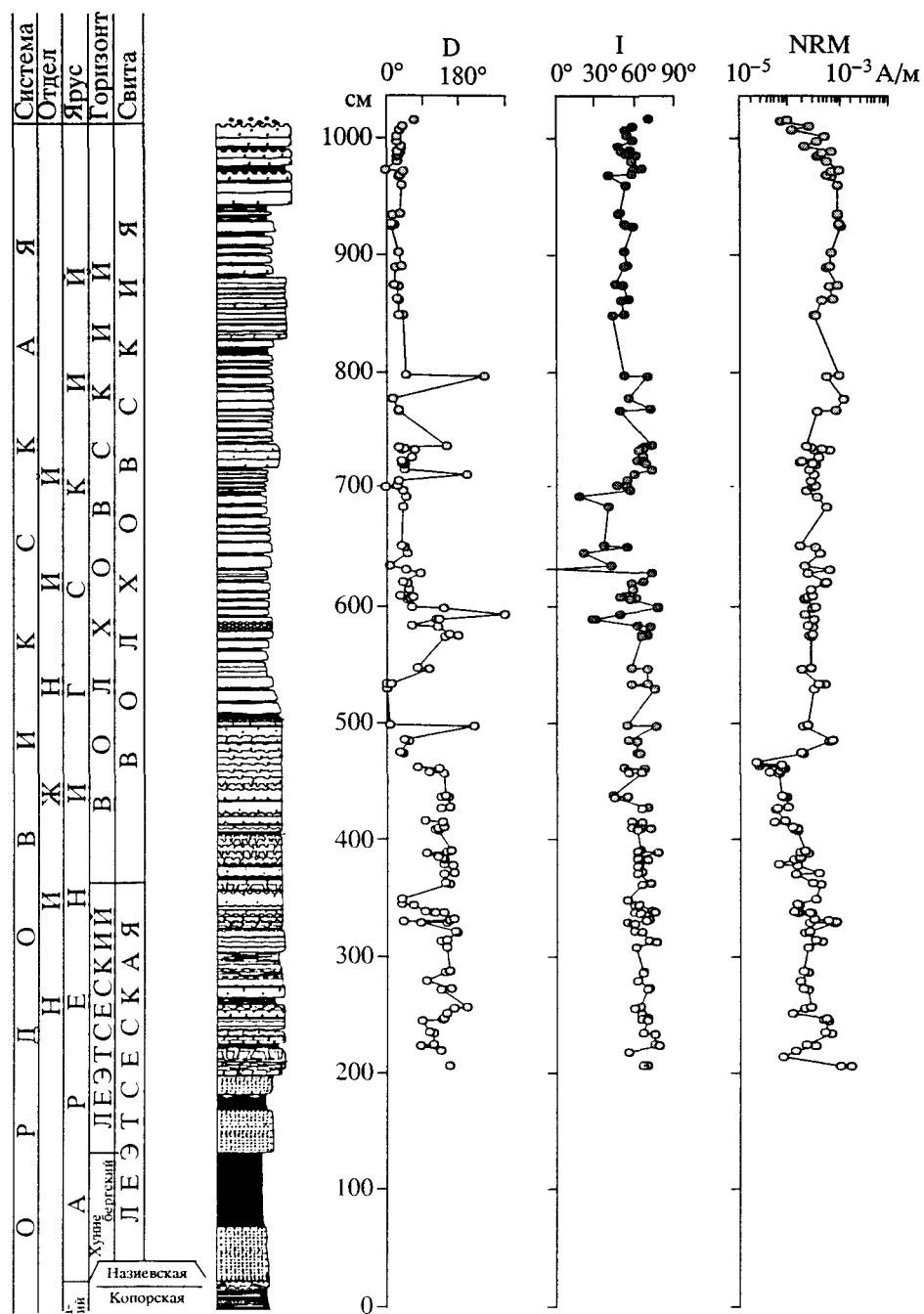


Рис. 4. Палеомагнитные характеристики разреза Путилово.

магнитный полюс приведены в табл. 1, строка 6. Вторая, высокотемпературная компонента, которая составляет не более 5% от величины NRM, выделяется в очень узком диапазоне температур 640–675°C (рис. 2, обр. 15, 33). Носителем этой компоненты, по-видимому, является обломочный

гематит (спекулярит). Эту компоненту удалось выделить в 11 образцах, отобранных в нижней части разреза Гверстовка. Следует отметить, что эти образцы содержат больше алевритистого материала по сравнению с однокомпонентными, в большей степени глинистыми, образцами. Рас-



Условные обозначения к стратиграфическим колонкам обнажений

-  Пески кварцевые мелко-среднезернистые с плоскопараллельной косой слоистостью
 Пески кварцевые мелко-среднезернистые с желобообразной косой слоистостью
 Пески кварцевые крупно-грубозернистые
 Галька и валуны кварцевых песчаников
 Битуминозные сланцы
 Известняки
 Глины
 Заметная примесь глауконита
 Скопления железистых оолитов
 Скопления раковин наutilusоидей
 Поверхности твёрдого дна в известняках:
 -  лишённые специфической окраски
 -  подчеркнутые жёлтыми полосами железистой инфильтрации

Рис. 4. Окончание.

Таблица 2. S-полюсы для осадочных пород нижнего и среднего палеозоя северо-запада Русской платформы

Объекты изучения	Полярность	ϕ , °N	λ , °E	Φ , °N	Λ , °E	dp/dm	Ссылка
Франский ярус, р. Пээтри	R	57.5	21.5	53.0	168.0	3.1/5.0	5
Франский ярус, р. Сясь	R	60.0	33.0	48.8	166.7	2.1/3.4	1
Франский ярус, р. Оредеж	R	58.0	30.5	45.0	167.0	4.0/6.9	2
Арениг – лланвирн, р. Лава	N	59.9	31.5	62.3	165.3	2.4/3.3	3
То же, р.р. Поповка, Тосна	R	59.8	30.8	57.8	150.5	3.5/4.9	3
Арениг, р. Нарва	R	59.6	28.2	38.2	144.2	3.2/5.4	4
Лланвирн, Путилово	N	59.9	31.5	58.4	164.3	1.6/2.3	1
Арениг, Путилово	N	59.9	31.5	60.3	150.0	2.8/3.7	1
Тремадок, Подолье	N	59.9	31.5	56.8	167.8	2.6/3.8	1
N-полюсы ($n = 4$)				59.7	162.0	$A_{95} = 4.3$	
R-полюсы ($n = 5$)				49.0	159.0	$A_{95} = 8.3$	

1 – данная работа, 2 – Погарская, 1984; 3 – Smethurst et al., 1998; 4 – Храмов, Иосифиди, 2002; 5 – Моотсе, 1986.

Обозначения: ϕ , λ – широта и долгота места, A_{95} – радиус круга доверия для полюса.

Остальные обозначения – см. табл. 1

пределение векторов для этой компоненты показаны на рис. 3D, среднее направление и соответствующий ему палеомагнитный полюс приведены в табл. 1, строка 7.

К третьей группе мы отнесли 14 образцов красных глин и желтовато-красных алевролитов из верхней части разреза Гверстовка. Главной отличительной чертой этих образцов является то, что выделенные в результате терморазмагничивания высокотемпературные компоненты дают большой разброс в направлениях ChRM.

О ВОЗРАСТЕ NRM-КОМПОНЕНТ

Кембрий. Близость направлений характеристической намагниченности кембрийских песчаников к направлению современного геомагнитного поля может указывать на ее очень молодой возраст. Однако спектр деблокирующих температур этой компоненты имеет максимум в области, близкой к точке Кюри (“колениобразные” кривые NRM – T), что характерно для крупных частиц, в том числе и детритовой природы. Отметим, что сходные по литологии, возрасту и свойствам ChRM с изученными здесь, песчаники Норвегии дают полюсы, близкие к нашему, но там ChRM считается кембрийской [Torsvik and Rehnstrom, 2001]. Действительно, механизм возникновения таких ChRM в процессе недавнего перемагничивания – неясен и близость их направлений к современному геомагнитному полю можно было бы считать случайной. Однако осторожнее будет соответствующие палеомагнитные полюсы пока не рассматривать при построении APWP для Балтики.

Ордовик. Прямых данных о первичности P-компоненты ордовикских пород нет: горизонтальное

залегание пород, отсутствие галечников (конгломератов) и монополярность P-компоненты не дают возможности применить тесты складок, галек и обращения. Однако достаточно много косвенных свидетельств в пользу первичности P-компоненты, которые можно рассматривать как положительные ответы на такие полевые тесты, как тесты согласия – стратиграфический и петрографический. Так, P-компонента во всей последовательности слоев аренига и нижней части лланвирна имеет обратную полярность, что характерно для всех разрезов мира в этом стратиграфическом интервале [Torsvik, Trench, 1991; Opdyke, Channell, 1996; Gallet, Pavlov, 1996; Родионов и др., 2001]. Далее, P-компонента преобладает в известняках, сохранивших неизменный глауконит; в слоях же, где глауконит окислен и отмечается пигментация окислами и гидроокислами железа (главным образом, в верхней части разреза), выделяется только S-компонента. Наконец, аргументом в пользу первичности P-компоненты, в соответствии с одним из критериев достоверности [Van der Voo, 1990], является значимое отличие соответствующих ей палеомагнитных полюсов от полюсов для более молодых эпох. Этот критерий, напротив, не выполняется для S-компонент, которым соответствуют полюсы, лежащие близ раннемезозойского участка APWP для Балтики (табл. 2, строки 1–9 и рис. 5).

Верхний девон. Глины верхов франского яруса, по составу и окраске подобные глинам нижней части разреза, несущим P-компоненту, представляют собой “глиняный конгломерат”, состоящий из угловатых частиц (до 1 см в поперечнике) глины, слабо сцементированных таким же материалом. Высокотемпературные компоненты этих образцов малы, распределение их направлений

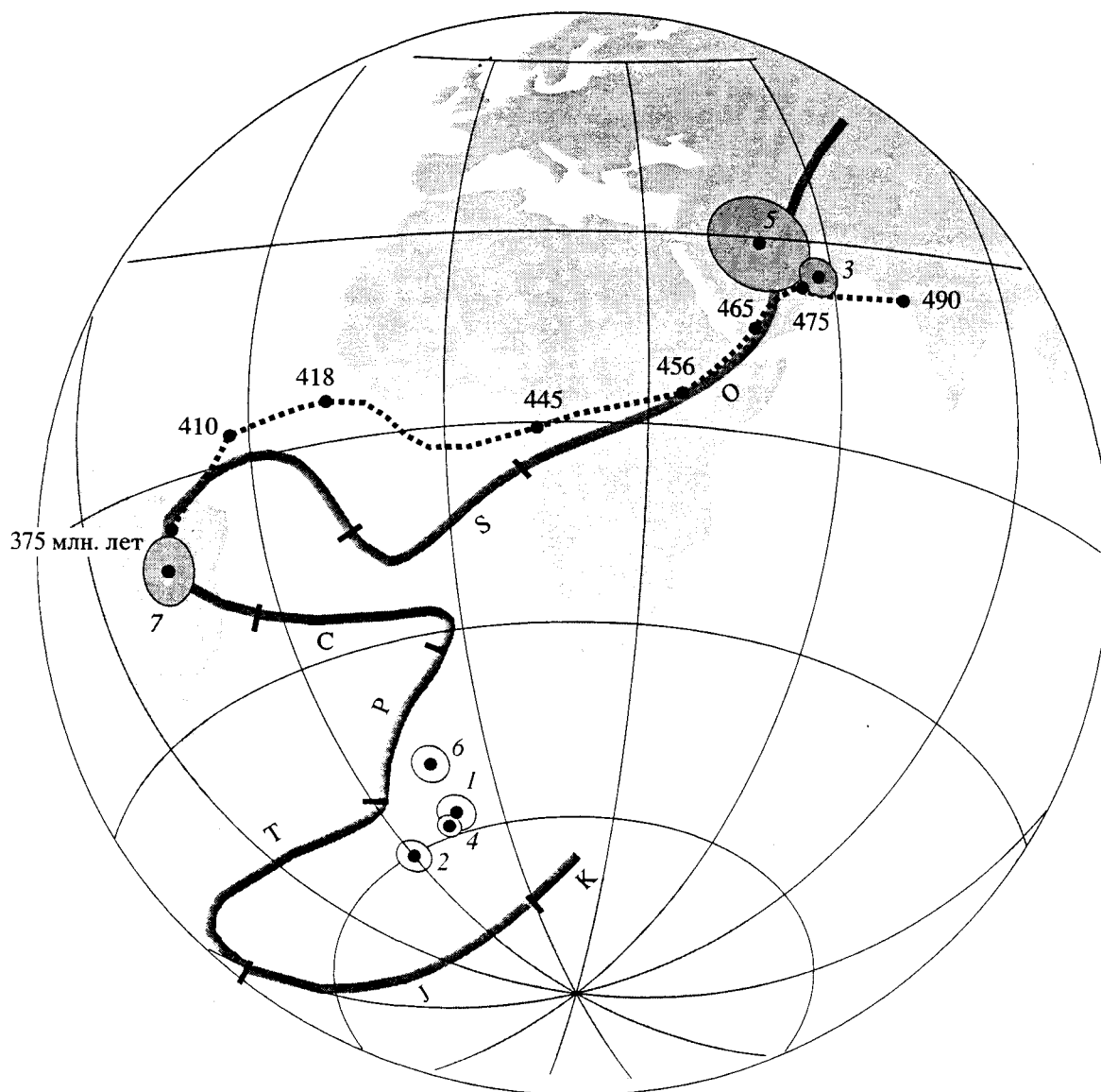


Рис. 5. Траектории миграции палеомагнитного полюса. Сплошная линия по [Torsvik et al., 1996], пунктир – настоящая работа; 1–7 – положения палеомагнитных полюсов, определенные в данной работе (см. табл. 1).

хаотично ($K < 3$), поэтому можно заключить, с некоторой долей осторожности, что для P -компоненты пород франского яруса тест конгломератов положителен, т.е. P -компонента практически синхронна процессу осадконакопления. Это подтверждается вероятной детритовой природой ее носителей. S -компоненты NRM пород франского яруса в изученных разрезах Гверстовка и Яхново имеют обратную полярность и дают полюс с координатами, близкими к таковым для позднекаменноугольного – раннепермского интервала APWP для Балтики. Эти компоненты, как прямой, так и обратной полярности, повсеместно присутствуют в породах ордовика и девона Балтики, в том числе и на Северо-Западе Русской платформы (табл. 2). Значимые различия средних координат полюсов

для N - и R -полярностей указывают на разновозрастность $-S$ и $+S$ -компонент: если $-S$ -компонента – позднекаменноугольная – раннепермская (гиперхрон Киамы), то $+S$ -компонента, судя по положению ее полюса – раннемезозойская, скорее всего триасовая.

НОВАЯ ВЕРСИЯ APW ТРАЕКТОРИИ ДЛЯ БАЛТИКИ

Полученные нами три положения палеомагнитного полюса для позднего девона, лланвирна и аренига хорошо ложатся на траекторию APW для Балтики [Torsvik et al., 1996; Torsvik, Smethurst, 1999], уточненную в работе [Smethurst et al., 1998], где для калибровки APWP использована новая гео-

Таблица 3. Палеомагнитные полюсы и координаты APWP для Балтики в интервале ордовик-девон

Объект изучения	Возр, млн. лет	α_{95}	Координаты полюса		Траектория APWP		Ссылка
			Φ , °N	Λ , °E	Φ_s° N	Λ_s° N	
Франский ярус, р. Сясь	375	4.4	-11	314	-5.9	315.7	1
Базальты, андезит-базальты, Приазовье	376	5.4	3	316	-4.1	318.0	6854
Песчаники, туфы, Приазовье	377	4.2	-5	323	-2.5	320.1	6855
Базальты, туфы, спилиты, Приазовье	379	5.0	1	325	0.4	323.8	6856
Пражский ярус, р. Днестр, Украина	410	7.1	3	325	3.9	326.9	23T
Комплекс Хоннингвен, Норвегия	418	8.4	7	344	6.1	342.1	26T
Известняки, Осло, Норвегия	445	5.4	-5	7	-0.7	13.7	32T
Известняки Комстад I, Ю. Швеция	446*	4.5	-4	12	0.3	16.7	2
Известняки Комстад, Борнхольм	447*	6.0	11	32	1.3	19.7	3
Известняки, Швеция	456	13.4	3	35	5.1	35.0	33T
Вестерготланд N3, Швеция	458	4.8	5	34	6.9	37.5	34T
Известняки Кукрузе, Россия	460	4.9	12	42	9.5	40.3	4
Вестерготланд N1,2; R1,2, Швеция	465	4.4	14	49	15.9	46.4	35T
Известняки, Путилово, Россия	468	7.4	24	48	19.3	48.7	1
Известняки Комстад I, Ю. Швеция	470	4.4	18	44	20.9	50.5	2
Гуллхоген, Швеция	471	6.8	19	54	21.5	51.5	36T
Известняки, Борнхольм и Скания	472	9.2	19	51	22.2	52.6	2
Глауконитовый известняк, Путилово	473	2.9	25	58	22.7	53.6	1
Известняки, С-Петербург, Россия	474	3.6	35	59	22.9	54.2	5
Глауконитовый известняк, Нарва	475	4.9	18	59	22.5	54.8	6
Известняки I(R), Швеция	476	5.1	18	46	22.9	55.7	38T
Оболовый песчаник, Нарва	490	5.9	23	72	22.9	71.6	6

Φ , °N и Λ , °E – исходные координаты палеомагнитных полюсов; Φ_s° N, Λ_s° N координаты соответствующих точек на сплайновой траектории APWP. Возраст дан по шкале [Tucker, McKerrow, 1995]; * – авторские оценки возраста вторичных NRM-компонент. 1 – эта работа; 2 – [Torsvik, Rehnstrom, 2003]; 3 – [Lewandowski, Abrahamsen, 2003]; 4 – [Родионов и др., 2002]; 5 – [Smethurst et al., 1998]; 6 – [Храмов, Иосифиди, 2002]; 23T, 26T и др. – полюсы из табл. 1 статьи [Torsvik et al., 1996], 6854... – индексы полюсов из [McElhinny, Lock, 1996].

хронологическая шкала раннего палеозоя [Tucker, McKerrow, 1995]. Тем не менее, учитывая то, что за последние годы получен ряд новых определений по западным и южным окраинам Балтики, имеет смысл попытаться предложить новую версию APWP для этой литосферной плиты в интервале ордовик – девон. Из Мировой базы палеомагнитных данных мы выбрали полюсы, имеющие индекс достоверности $Q > 4$ [Van der Voo, 1990] и “код размагничивания” [McElhinny, Lock, 1996] $C \geq 3$, дополнив их новыми полюсами (табл. 3). Из прежних определений, использованных для построения APWP в работах [Torsvik et al., 1996; Smethurst et al., 1998] были исключены полюсы для Шпицбергена, когерентность которого с Балтикой неочевидна, а также полюсы по Готланду с

$Q \leq 4$ и лежащие, в пределах погрешностей, на каменноугольном участке APWP. Там же расположен и полюс по песчаникам Ringerike Норвегии, в целом имеющий высокий индекс достоверности. Опасность использования подобных данных для построения APWP иллюстрируется результатами изучения силурийских отложений Приднестровья [Бахмутов и др., 2001], где “силурийские” полюсы, вычисленные по среднекоэрцитивной компоненте, лежат на одном меридиане с полюсами по высококоэрцитивной компоненте той же, обратной полярности – полюсами, принадлежащими позднепалеозойскому интервалу APWP. Такое расположение полюсов недвусмысленно указывает на большую вероятность того, что “силурийская”, среднекоэрцитивная компонента в действительности

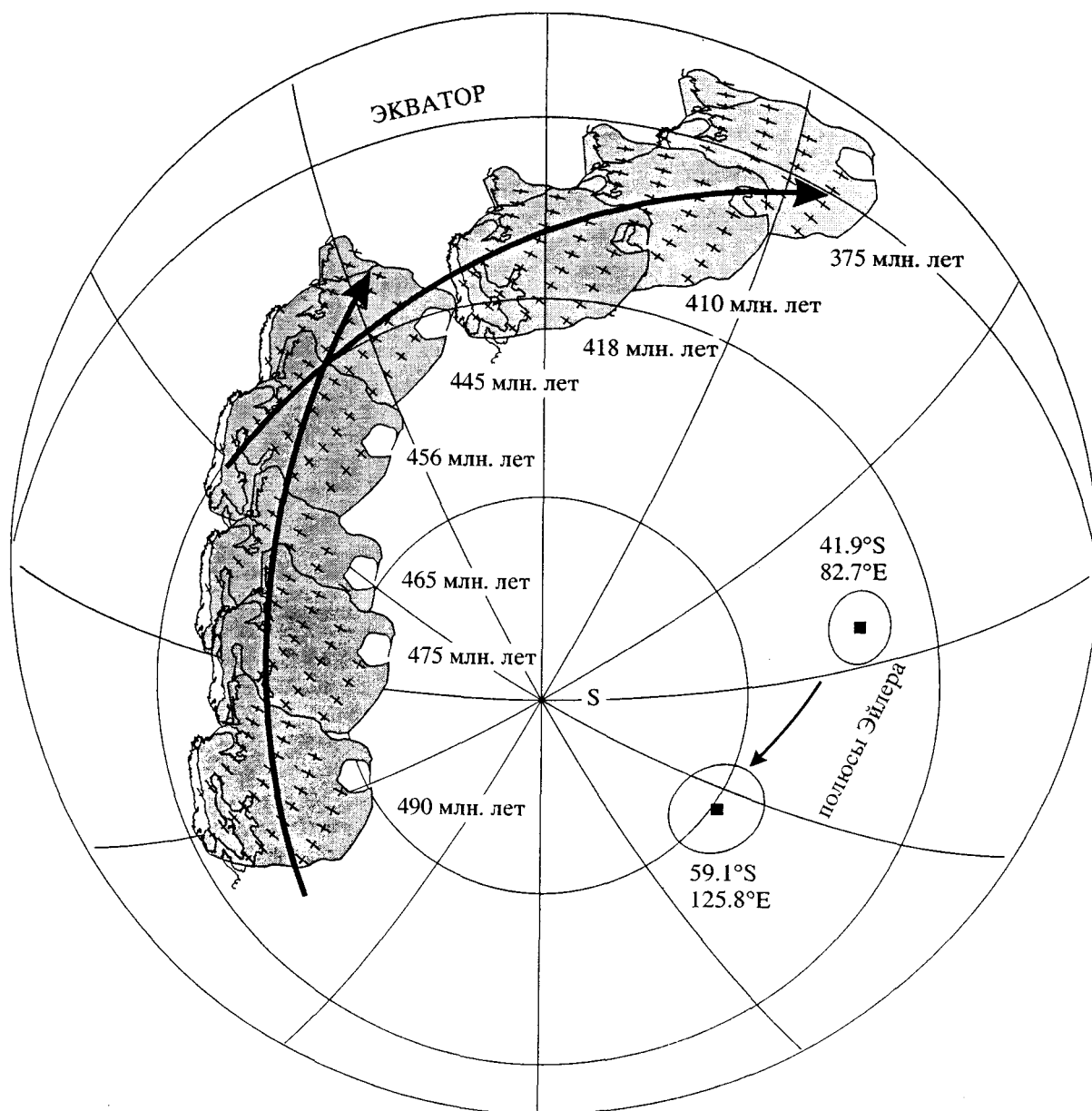


Рис. 6. Дрейф Балтики в интервале ордовик – девон. Модель, соответствующая минимальным поворотам плиты вокруг ее центра.

ти является неразделенной суммой высококоэрцитивной, позднепалеозойской и низкокоэрцитивной, современной компонент NRM.

Отобранные указанным способом положения палеомагнитного полюса в интервале ордовик – девон, а также координаты соответствующих им точек на сглаженной, путем применения метода сферических сплайнов, [Jurr and Kent, 1987] кривой, представлены в таблице 3. Новая версия ранне-среднепалеозойского трека APWP для Балтики не может еще считаться сколько-нибудь окончательной. Ее главным недостатком является плохая обоснованность в интервале поздний ордовик – силур, где APWP проводится практически

путем интерполяции. Бесспорно, новые палеомагнитные определения по силуру Балтики смогут изменить предложенную здесь версию APWP в ее силурийском участке. Однако, какими бы ни были эти определения, они не смогут изменить главную черту кинематики Балтики в раннем и среднем палеозое. Как и отмечалось ранее неоднократно, этой главной чертой является дрейф Балтики из высоких и умеренных широт южного полушария в начале ордовика в тропические и приэкваториальные широты в девоне. Кинематика этого процесса традиционно представляется в виде двух составляющих – перемещения по меридиану (изменение палеоширот) и поворотов (см.,

напр., [Torsvik et al., 1996; Smethurst et al., 1998]). Однако этот способ оставляет значительный провал в долготном положении литосферных плит, что легко можно видеть, сравнив палеогеографические реконструкции разных авторов (см., напр., [Диденко и др., 1994; Диденко, Руженцев, 2001; Dalziel, 1997; McNiocail et al., 1997; McElhinny and McFadden, 2000; Torsvik and Rehnstrom, 2003]). Очевидно также, что разделение движения на палеоширотную и вращательную составляющие имеет ясный тектонический смысл скорее для малых плит, блоков и надвиговых комплексов, позволяя выявить их первоначальную принадлежность, проследить историю их перемещений и деформаций на коллизионной стадии. Смысл такого разделения теряется, когда изучают кинематику крупных литосферных плит, таких как Балтика - особенно при их движении в высоких широтах, где "повороты" оказываются просто следствием системы географических координат [Khramov, 1987]. Представленная на рис. 6 схема возможного дрейфа Балтики, отвечающая нашей версии траектории APW, иллюстрирует эту ситуацию. Обращаясь к другому принятому в тектонике плит представлению их кинематики [Кокс, Харт, 1989], можно заключить, что дрейф Балтики в течение ордовика - девона в первом приближении соответствует поворотам этой плиты вокруг удаленных полюсов Эйлера. Как видно из рис. 6, этот дрейф хорошо аппроксимируется (стандартное отклонение меньше 6°) движением по двум большим кругам, соответствующим повороту Балтики по часовой стрелке сначала вокруг полюса 41.9°S , 82.7°E на 62 градуса (490 - 445 млн. лет), а затем вокруг полюса 59.1°S , 125.8°E на 64 градуса (445 - 375 млн. лет), оставляя повороты Балтики вокруг своего центра на уровне погрешности определений. Такое представление кинематики Балтики является одной из рамочных моделей дрейфа; традиционное же его выражение через смещение по меридиану на север с поворотом вокруг своего центра против часовой стрелки, очевидно можно рассматривать как вторую рамочную модель, с другой стороны ограничивающую набор возможных палеогеографических положений Балтики. Сближение этих рамок будет возможным лишь с получением новых палеомагнитных данных по Балтике, Лаврентии и Гондване, особенно для кембрия и силура, равно как и путем анализа палеогеографической и тектонической ситуации формирования Пангеи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты детального палеомагнитного изучения разрезов осадочных толщ ордовика и девона Северо-запада Русской платформы подтвердили широкое развитие явлений древнего перемещения

пород региона. Синтез всех палеомагнитных данных по региону показал, что это перемещение происходило в два этапа - в позднем карбоне-ранней перми и в раннем мезозое. Высокотемпературные компоненты NRM, первичность которых подтверждена полевыми тестами, свидетельствуют об обратной полярности геомагнитного поля во всем интервале арениг - ранний лланвирн и прямой - в конце франского века позднего девона. Тем самым нашли сильное подтверждение концепция ордовикского монополярного гиперхрона и данные о переменной полярности геомагнитного поля в девоне.

Селекция, в соответствии с современными критериями достоверности, определений, имеющихся в Мировой базе палеомагнитных данных, дополненных нашими результатами и результатами, содержащимися в публикациях последних лет, позволили предложить новую версию траектории кажущейся миграции палеомагнитного полюса Балтики для интервала ордовик - девон. Эта траектория определила положение Балтики в начале ордовика и его эволюцию в течение раннего и среднего палеозоя. Кинематика процесса дрейфа Балтики из высоких и средних широт южного полушария в низкие и приэкваториальные широты может быть описана ее поворотами вокруг удаленных полюсов Эйлера.

Дальнейшие исследования, имеющие целью обоснование предложенной модели и детализацию кинематики Балтики в раннем и среднем палеозое, должны быть направлены на получение новых палеомагнитных данных по силуру и кембрию этой плиты.

Авторы глубоко благодарны А.В. Дронову (С-ПбГУ) за помощь в выборе объектов исследования и консультации по ходу работ и Д.М. Печерскому (ИФЗРАН) за доброжелательный отзыв рукописи и конструктивные замечания.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №01-05-64315.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бахмутов В.Г., Еленьска М., Константиненко Л.И. Новые результаты палеомагнитных исследований силурийских отложений бассейна р. Днестр, Украина // Геофизический журнал. 2001. Т. 32. № 2. С. 3-18.
- Геккер Р.Ф. Сопоставление разрезов восточной и западной половин Главного девонского поля и основные черты экологии его фауны и флоры // Изв. АН СССР, сер. геол. 1954. № 4. С. 75-100.
- Диденко А.Н., Моссаковский А.А., Печерский Д.М. и др. Геодинамика палеозойских океанов Центральной Азии // Геология и геофизика. 1994. Т. 64. № 7/8. С. 59-75.
- Диденко А.Н., Руженцев С.В. Геодинамическая модель формирования Полярного Урала. Тектоническая ис-

- тория Полярного Урала / Под ред. Короновского Н.В. М.: Наука. 2001. С. 137-169.
- Кокс А., Харп Р. Тектоника плит. М.: Мир. 1989. 427 с.
- Линькова Т.И. Палеомагнитные исследования осадочных толщ девона северо-запада Русской платформы // Изв. АН СССР, сер. геофиз. 1960. № 6. С. 868-870.
- Моотсе Р.Х. О палеомагнетизме верхнедевонских осадочных пород в юго-восточной Эстонии // Уч. зап. Тартуского гос. ун-та. 1986. Вып. 759. С. 68-78.
- Обут А.М., Сенников Н.В., Дмитровская Ю.Е. Комплексы граптолитов в ордовике Ленинградской области // Изв. АН СССР, сер. геология. 1991. № 4. С. 14-20.
- Палеомагнитные направления и положения палеомагнитных полюсов. Данные по СССР. Сводный каталог 1 / Под ред. Храмова А.Н. Материалы Мирового центра данных Б. М. 1984. 94 с.
- Погарская И.А. Палеомагнетизм девона Русской платформы. Палеомагнитные методы в стратиграфии / Под ред. Храмова А.Н. Л.: Изд. ВНИГРИ. 1984. С. 42-55.
- Решения Межведомственного стратиграфического совещания по ордовика и силуру Восточно-Европейской платформы, 1984 г. с региональными стратиграфическими схемами / Под ред. Кальо Д. Л.: ВСЕГЕИ. 1987. 15 с. +5 карт.
- Родионов В.П., Гуревич Е.Л., Павлов В.Э. Магнитостратиграфия ордовика Алексеевского карьера (Ленинградская область): новые данные для построения шкалы магнитной полярности раннего палеозоя. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент / Под ред. Танеева А.К. ГЕОС. 2002. С. 78-80.
- Родионов В.П., Павлов В.Э., Галле И. Магнитополлярная структура разреза стратотипа киренско-кудринского и чертовского горизонтов среднего ордовика (верхнее течение р. Лены, выше г. Киренска) - к проблеме ордовикского геомагнитного суперхрона // Физика Земли. 2001. № 6. С. 67-71.
- Саммет Э.Ю. Восточная часть Главного девонского поля. Стратиграфия СССР. Девонская система. Книга 1 / Под ред. Наливкина Д.В. М.: Недра. 1973. С. 90-106.
- Селиванова В.А., Кофман В.С. Геология СССР. Т. 1. М.: Недра. 1971. 504 с.
- Храмов А.Н. Рекогносцировочное палеомагнитное изучение некоторых разрезов нижнего карбона северной окраины Подмосковского бассейна. Палеомагнитные стратиграфические исследования / Под ред. Храмова А.Н. Л.: Недра. 1963. С. 264-301.
- Храмов А.Н. Палеомагнитная корреляция осадочных толщ. Л.: Гостоптехиздат. 1958. 218 с.
- Храмов А.Н., Иосифиди А.Г. Палеомагнетизм нижнего ордовика Балтийского региона; новые данные. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент / Под ред. Танеева А.К. М.: ГЕОС. 2002. С. 94-95.
- Храмов А.Н., Родионов В.П. Проблема Лавразии в раннем и среднем палеозое в свете палеомагнитных данных. Палеомагнетизм и вопросы тектоники плит / Под ред. Храмова А.Н. Л.: Тр. ВНИГРИ. Вып. 394. 1977. С. 108-140.
- Dalziel I.W.D. Neoproterozoic-Paleozoic paleogeography and tectonics: review, hypothesis, environmental speculation // Geol. Soc. Amer. Bull. 1997. V. 109. P. 16-42.
- Dronov A.V., Fedorov P.V., Popov L.T. et al. Middle Cambrian to Middle Ordovician in Lava river canyon and Putilovo quarry. WOGOGOB Excursion Guide St. Petersburg, Russia / Ed. Popov L.E. Upsala. 1997. P. 13-19.
- Enkin R.J. Computer program package for analysis and presentation of palaeomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geol Survey Canada. Sydney. 1994. 16 p.
- Gallet Y., Pavlov V. Magnetostratigraphy of the Moyero river section (north-western Siberia): constraints on geomagnetic reversal frequency during the early Palaeozoic // Geophys. Jour. Int. 1996. V. 125. P. 95-105.
- Jupp P.E., Kent J.T. Fitting smooth paths to spherical data // Appl. Stat. 1987. V. 36. P. 34-36.
- Kent J.T., Briden J.C., Mardia K.W. Linear and planar structure in ordered multivariate data as applied to progressive demagnetization of palaeomagnetic remanence // Geophys. J. Roy. Astro. Soc. 1983. V. 75. P. 593-624.
- Khramov A.N. Palaeomagnetology. Berlin, Heidelberg, N.Y. Springer-Verlag. 1987. 308 pp + I-XIII.
- Kirschvink J.L. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1980. V. 62. P. 699-718.
- Lewandowski M., Abrahamsen N. Paleomagnetic results from the Cambrian and Ordovician sediments of Bornholm (Denmark) and Southern Sweden and paleogeographical implications for Baltica // J. Geophys. Res. 2003. V. 108. N. B1 1.2516. doi: 1029/2002JB002281.
- MacNiocaill C., Van der Pluijm B.A., Van der Voo R. Ordovician palaeogeography and the evolution of the lapetus ocean // Geology. 1997. V. 25. № 2. P. 159-162.
- McElhinny M.W., Lock J. IAGA palaeomagnetic data bases with Access // Surv. Geophys. 1996. V. 17. P. 575-591.
- McElhinny M.W., McFadden P.L. Paleomagnetism. Continents and oceans. Academic Press, San Diego, San Francisco, London. 2000. 386 p.
- Opdyke N.D., Channell J.E.T. Magnetic stratigraphy. N.Y.: Acad. Press. 1996. 346 p.
- Schat: M., Zwing A., Belka 7... Soffel H.C., Bachtadse V. Palaeomagnetism of Ordovician carbonate rocks from Malopolska, SE Poland-no evidence for rotations // Geophys. Res. Abstr. 2002. V. 4. EGS02-A-03280.
- Smethurst M.A., Khramov A.N., Pisarevsky S. Palaeomagnetism of the Lower Ordovician Orthoceras Limestone, St. Petersburg, and a revised drift history for Baltica in the early Palaeozoic // Geophys. J. Int. 1998. V. 133. P. 44-56.
- Torsvik T.H., Rehnstrom E.F. Cambrian palaeomagnetic data from Baltica: implications for true polar wander and Cambrian palaeogeography // J. Geol. Soc. London. 2001. V. 158. P. 321-329.
- Torsvik T.H., Rehnstrom E.F. The Tornquist Sea and Baltica-Avalonia docking // Tectonophysics. 2003. V. 362. P. 67-82.