

УДК 550.384:550.822.3

Попов В.В., Храмов А.Н.

НОВЫЙ МЕТОД ОРИЕНТИРОВАНИЯ КЕРНА СКВАЖИН В ПРОСТРАНСТВЕ

Геологическое изучение огромных территорий основано исключительно на результатах бурения. Актуальность таких исследований очевидна, так как очень часто месторождения полезных ископаемых обнаруживаются именно на закрытых территориях. При этом нередко возникает проблема корреляции разрезов скважин, недостаточно охарактеризованных фаунистически. Палеомагнитный (магнитостратиграфический) метод в таких случаях часто является единственным методом, позволяющим проводить такую корреляцию. Но для использования палеомагнитного метода необходимо знать ориентацию образцов в пространстве. У керн скважин обычно известна лишь ориентировка «верх-низ». Для ориентировки образцов керн по сторонам света в палеомагнетизме применяется метод, использующий направление низкотемпературной (низкокоэрцитивной) современной вязкой компоненты намагниченности. Однако возможности этого метода по ряду причин ограничены. Мы предлагаем использовать новый метод, который позволяет вычислить направления древних компонент намагниченности в тех случаях, когда традиционные методы не дают удовлетворительного результата.

Новый метод был опробован на образцах из двух разрезов позднего венда - раннего кембрия и одного разреза кайнозоя юго-восточного Беломорья. Сходимость результатов для естественных обнажений и скважин указывает на его высокую эффективность. Применение нового метода позволило вычислить палеомагнитные полюсы для верхнего венда и кайнозоя Балтики и установить возраст перемагничивания поздневендских пород. На основе полученных результатов вычислены альтернативные палеомагнитные полюсы для венда Балтики и выполнена реконструкция палеогеографического положения этой плиты в рассматриваемый временной интервал.

В 2006 г. получен государственный патент RU №2298209 C2 на изобретение нового палеомагнитного метода ориентирования керн скважин в пространстве.

Ключевые слова: *магнитостратиграфия, компонентный состав пород, Русская платформа, корреляция геологических разрезов, ориентирование керн.*

Геологическая изученность огромных территорий основана исключительно на результатах бурения. Актуальность таких исследований очевидна, так как очень часто месторождения полезных ископаемых обнаруживаются именно на закрытых территориях – это, например, вся Западная Сибирь, Тимано-Печорская провинция, шельфовые зоны морей и океанов, где имеются огромные запасы полезных ископаемых, в том числе углеводородов. При этом нередко возникает проблема корреляции разрезов скважин, недостаточно охарактеризованных фаунистически. Палеомагнитный (магнитостратиграфический) метод в таких случаях часто является единственным методом, позволяющим проводить такую корреляцию. Но для использования палеомагнитного метода необходимо знать ориентацию

образцов в пространстве. У образцов, отобранных из керна скважин известна, в лучшем случае, лишь ориентировка «верх-низ».

Для ориентировки образцов керна по сторонам света в палеомагнетизме применяются методы, использующие направление низкотемпературной (низкокоэрцитивной) современной вязкой компоненты естественной остаточной намагниченности J_n [патент США №4211974, кл. G01V 3/08, опубл. 08.07.1980; патент Россия №SU 1132273, кл. G01V 3/00, опубл. 30.12.1984]. Но очень часто использовать эту компоненту для ориентирования керна в пространстве такими методами не удастся по ряду причин:

- принципиальные ограничения для высоких широт, где наклонение современной компоненты имеет большие значения. В этом случае, из-за естественного разброса векторов намагниченности, часть их может иметь склонения, отличающиеся от склонения современного геомагнитного поля на углы до 180° . Применение традиционных способов ориентирования приведет к соответствующим ошибкам в определении направления древних компонент намагниченности;

- в ряде случаев современная вязкая компонента сильно «заражена», а иногда полностью уничтожена в процессе бурения или лабораторного перемагничивания;

- у многих образцов современная компонента имеет очень узкий спектр размагничивающих воздействий, что затрудняет надежное ее выделение;

- линейный характер восстановленного распределения современной компоненты, что приводит к сильному искажению распределений более древних компонент намагниченности.

В связи с такими ограничениями, огромное количество кернового материала не удастся использовать для палеомагнитных построений. Иногда данные, полученные по неориентированному керну, используются для решения задач магнитостратиграфии — по знаку наклонения (плюс или минус) выделенной компоненты намагниченности делается вывод о ее полярности (прямая или обратная). Но надежность таких выводов часто вызывает сомнения. Более того, в случае, когда полученные наклонения близки нулю, сделать вывод о полярности компоненты, используя только наклонение, вообще принципиально невозможно. Тем более, невозможно использовать такие данные для реконструкции палеогеографического положения блока, на котором бурилась скважина.

Палеогеография позднего неопротерозоя оказалась в центре внимания многих исследователей в связи с гипотезой суперконтинента Родиния, который начал раскалываться около 725 млн. лет назад. Представления о последующих событиях - необычно быстром дрейфе континентов, их низкоширотном положении во время эпох оледенений и, наконец,

сборке континентов в палеозойскую Пангею, основаны главным образом на палеомагнитных данных, которых на всех континентах крайне мало. Так, авторы работы [Torsvik et al., 1996] для венда Балтики использовали только 5 палеомагнитных полюсов, которые удовлетворяют современным критериям достоверности [Van der Voo, 1990]. Ясно, что этого совершенно недостаточно для того, чтобы сделать выбор между конкурирующими моделями движений Балтики, занимающей ключевую, центральную позицию в современных глобальных реконструкциях для венда. По мнению авторов, эту проблему можно решить, используя керн скважин, пробуренных на территориях, где нет выходов пород изучаемого возраста на дневную поверхность. Но для того, чтобы использовать керн скважин для палеомагнитных исследований, необходим метод его ориентирования, не имеющий указанных выше недостатков (ограничений).

Мы предлагаем использовать новый, разработанный во ВНИГРИ метод, который позволяет вычислить направления древних компонент намагниченности в тех случаях, когда традиционные методы не дают удовлетворительного результата в силу указанных выше причин.

Этот метод был опробован на образцах из двух разрезов позднего венда-раннего кембрия (естественные обнажения и скважина) и одного разреза кайнозоя (скважина) юго-восточного Беломорья. Сходимость результатов для естественных обнажений и скважин указывает на высокую эффективность разработанного метода. Его применение позволило вычислить палеомагнитные полюсы для позднего венда и кайнозоя Балтики и установить возраст перемагничивания поздневендских пород.

Согласно использованным в работе [Torsvik et al., 1996] данным, южный палеомагнитный полюс Балтики в венде располагался в высоких северных широтах. Эти данные помещают Балтику в позднем венде в район 60° южной широты. Полученные в последние годы новые палеомагнитные определения по вендским отложениям Русской платформы [Попов, 2001; Попов и Храмов, 2002; Попов и др. 2002, Iglesias et al 2004] и данные настоящей работы позволяют рассмотреть новый вариант палеогеографического положения Балтики в вендское время.

В 2006 г. во ВНИГРИ получен государственный патент RU №2298209 С2; на изобретение нового палеомагнитного метода ориентирования керна скважин в пространстве.

Геология и отбор образцов

Отложения вендского комплекса обнажаются вдоль восточного края Балтийского щита в долинах рек Онежской гряды, запада Двинского уступа и запада Беломорско-Кулойского

уступа, а также в обрывах Онежского, Летнего и Зимнего Берегов Белого моря. Вендские породы практически горизонтально залегают на кристаллическом фундаменте платформы и верхнерифейских образованиях. Разрез верхнего венда юго-восточного Беломорья является одним из лучших на Русской платформе [Станковский и др., 1985]. Уникальные по количеству, разнообразию и сохранности местонахождения ископаемой биоты эдиакарского типа, с одной стороны [Федонкин, 1981; Федонкин, 1985; Гражданкин и Бронников, 1997; Гражданкин, 2000], и выполненные в последние годы определения абсолютного возраста по цирконам [Martin et al, 1999; Shchukin et al., 2002; Iglesias et al, 2004], с другой, позволяют очень точно датировать различные части разреза, общая мощность которого превышает 500 м. Практически повсеместно эти породы перекрываются отложениями кайнозоя.

Отбор коллекций для палеомагнитных исследований проводился в двух районах юго-восточного Беломорья:

- в среднем течении р. Золотица (рис. 1), где обнажаются породы падунской и ремшинской свит;

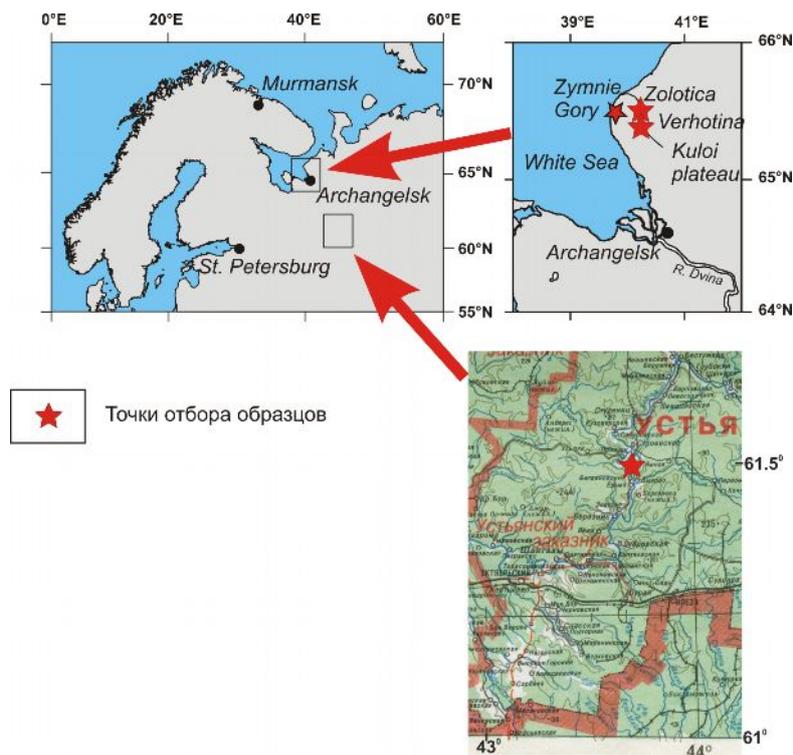


Рис. 1. Район исследований

- из разреза скважины «Верхотина», пробуренной вблизи р. Золотица (рис. 1) (коллекция предоставлена Веричевым Е.М. и Румянцевой Т.А., ЗАО «Архангельскгеолразведка»). Скважиной вскрываются указанные выше и более низкие стратиграфические горизонты до верхней части усть-пинезжской свиты;

- из разреза скважины 12А/1 в среднем течении р. Устья (рис. 1) (коллекция предоставлена Румянцевой Т.А., ЗАО «Архангельские Алмазы»). Скважиной вскрываются породы кайнозойского возраста.

Разрезы р. Золотица и скважины “Верхотина”. В верхней части разреза венда обнажаются мощные, до 30 м, пачки ровнослоистых песчаников с редкими и маломощными прослоями красноцветных и сероцветных алевролитов и глин - золотицкие слои. Эти пачки песчаников имеют протяженность от нескольких сотен метров до нескольких десятков километров. Нижняя граница этой части разреза с конгломератами в основании соответствует нижней границе золотицких слоев падунской свиты [Станковский и др., 1985]. Возраст падунской свиты не определен точно, хотя некоторые исследователи относят ее (как минимум ее часть) к раннему кембрию [Shchukin et al., 2002; Гражданкин, 2000]. Нижняя часть разреза, поздневендская (мельские, ергинские и вайзицкие слои), представлена преимущественно (75 %) красноцветными глинами и алевролитами с редкими маломощными прослоями голубых глин и алевролитов, а также красноцветных и сероцветных песчаников [Станковский и др., 1985]. Все изученные породы не метаморфизованы и слаболитифицированы. Осадконакопление протекало в солоноватоводных и опресненных условиях морской продельты и плоской равнины, удаленной от берега. В разрезе просматривается цикличность дельтовых, шлировых и молассовых формаций [Гражданкин, 2000]. В двух вулканических прослоях нижней части разреза р. Золотица обнаружены цирконы, по которым выполнено определение абсолютного возраста [Iglesias et al, 2004]. Полученный результат (550 ± 4.6 млн. лет; 550 ± 5.3 млн. лет) хорошо согласуется с имевшимися ранее определениями абсолютного возраста [Martin et al, 1999] для более древней части разреза, обнажающейся на Зимнем Берегу в районе руч. Медвежий, где был получен возраст 555.3 ± 0.3 млн. лет.

Отбор образцов позднего венда - раннего кембрия проводился из 10 частично перекрывающих друг друга обнажений в среднем течении р. Золотица (от $65^{\circ}20'N$; $40^{\circ}00'E$ до $65^{\circ}40'N$; $40^{\circ}30'E$, рис. 1) и керна скважины, ориентированного по вертикали. Всего изучено более 100 метров разреза р. Золотица с шагом отбора 5 – 100 см (350 ориентированных штуфа), и более 400 м керна скважины с шагом отбора 40 – 100 см (443 образца). В изученных разрезах породы имеют субгоризонтальное залегание, с углами падения до 10° . Лишь в нижней части разреза р. Золотица были обнаружены две антиклинальные складки с углами падения, достигающими 70° . Природа складчатости – современные гляциодислокации. Ориентированные штуфы из коллекции р. Золотица были распилены на

кубики с ребром 2 см (880 кубиков), из керна скважины образцы отбирались в виде кубиков с ребром 2 см или в виде цилиндров длиной 22 мм и диаметром 25 мм – по одному образцу из стратиграфического уровня.

Разрез скважины 12А/1. Из разреза скважины 12А/1 в долине р. Устья, вскрывающей породы кайнозойского возраста (интервал опробования 3 – 200 м) отобрано 226 образцов. Шаг опробования составлял 20 – 100 см. Породы представлены супесями, суглинками, песками, глинами, алевропесками в различных сочетаниях и различной окраски (серые, зеленые, синие, розовые, красные). Из керна скважины образцы отбирались в виде кубиков с ребром 2 см или в виде цилиндров длиной 22 мм и диаметром 25 мм – по одному образцу из стратиграфического уровня. Все изученные породы не метаморфизованы и слаболитифицированы.

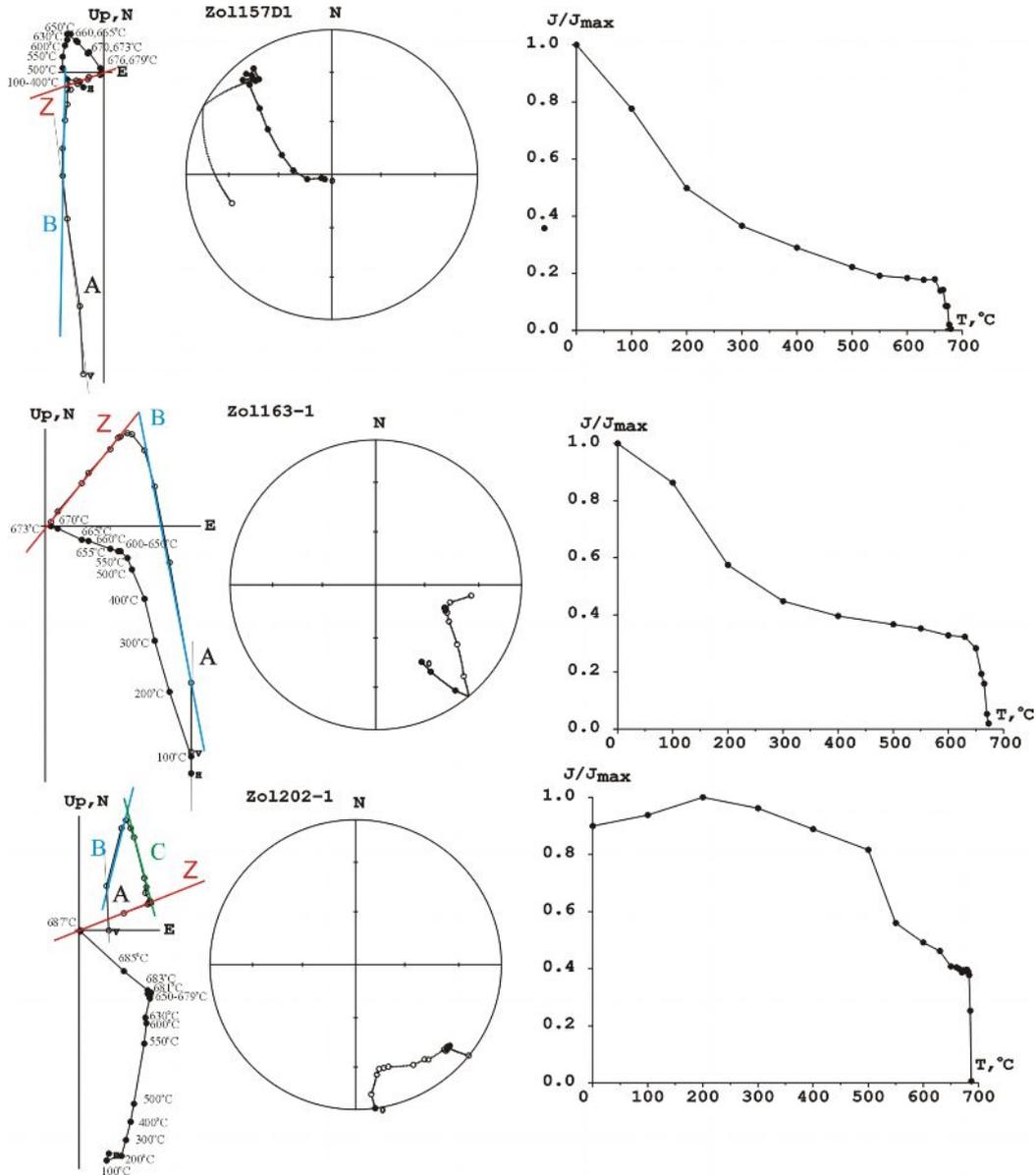
Лабораторная обработка коллекции вендских пород

Палеомагнитная и петромагнитная обработка коллекций проводилась в отделе Палеомагнитных Реконструкций ВНИГРИ (Санкт-Петербург) и Department for Earth and Environmental Sciences, Geophysics Section, Ludwig-Maximilians-University (Мюнхен, Германия). Измерение J_n образцов выполнялось на спиннер-магнитометрах JR-4 и JR-5 (Санкт-Петербург) и криогенном магнитометре 2G (Мюнхен). Образцы прошли детальную термочистку и/или чистку переменным магнитным полем. Чистка переменным полем в ряде случаев не дала удовлетворительных результатов, поэтому преобладающая часть коллекции подверглась терморазмагничиванию. Чистка выполнялась в Санкт-Петербурге в печах конструкции ВНИГРИ и TD48 (США) и в Мюнхене в печах TSD-1 производства Schonstedt и TD48 (США). Результаты магнитных чисток анализировались с помощью диаграмм Зийдervельда [Zijderveld, 1967] и стереопроекций. Выделение на кривой размагничивания линейных участков, соответствующих компонентам J_n , выполнялось в соответствии с методикой принципиального компонентного анализа [Kirschvink, 1980]. Средние направления выделенных таким способом компонент намагниченности вычислялись согласно статистике Фишера [Fisher, 1953]. В тех случаях, когда использовалось несколько образцов из одного штуфа, направления выделенных в них компонент усреднялись, то есть вся статистика в данной работе приводится на уровне штуфов - стратиграфических уровней. Компьютерная обработка результатов проводилась с использованием пакета программ [Enkin, 1994] и собственных, созданных во ВНИГРИ. Для контроля за химическими изменениями минералов-носителей J_n после каждого шага термочистки измерялась магнитная восприимчивость образцов на каппа-мосте KLY-2. Чистка образцов

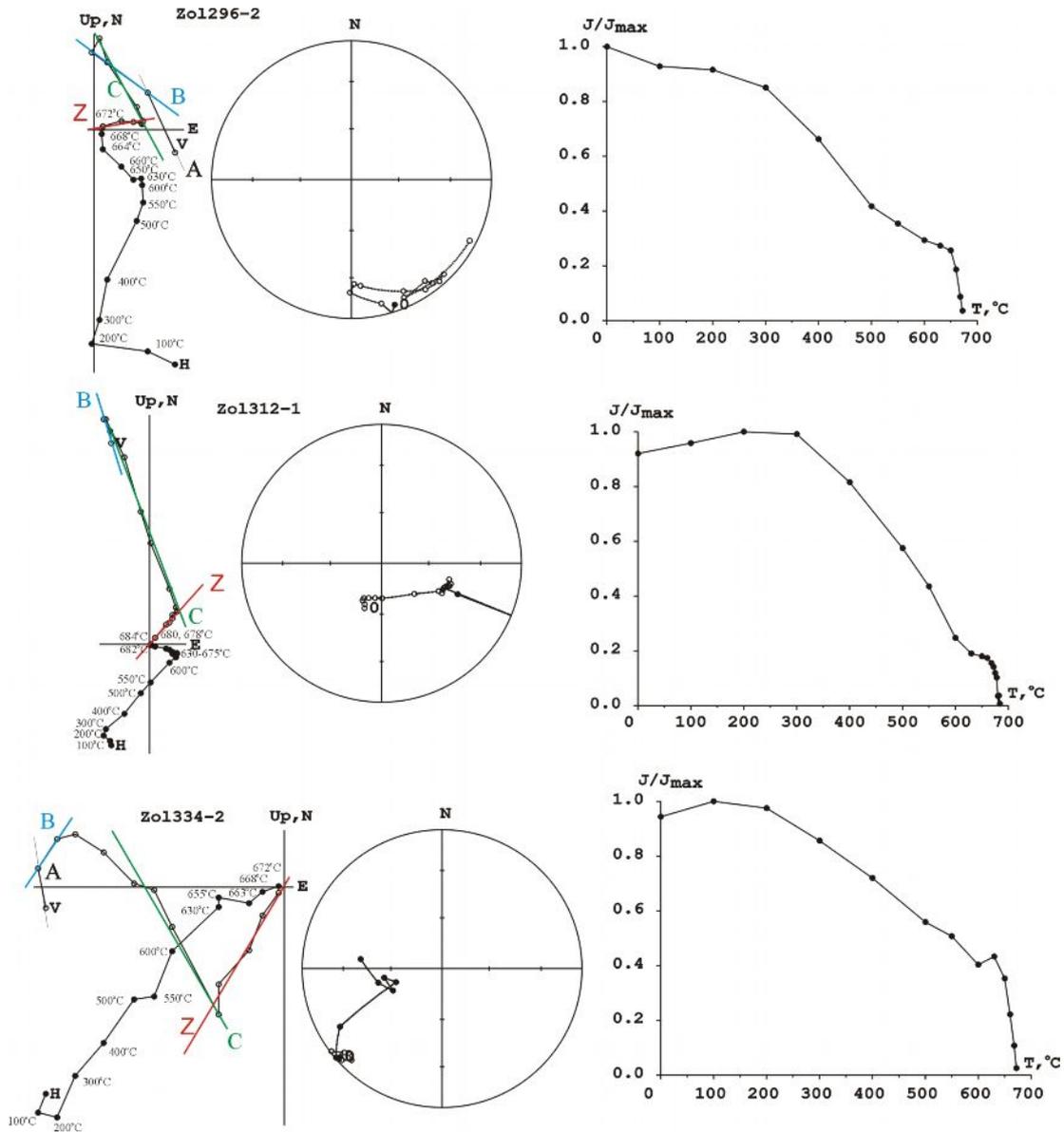
прекращалась, если величина магнитной восприимчивости после очередного нагрева увеличивалась в 5 раз и более относительно начальной или если величина и направление остаточного вектора совершали хаотические изменения на нескольких шагах чистки.

Компонентный состав J_n пород, изученных в разрезах р. Золотица и скважины «Верхотина»

Разрез р. Золотица. В результате терромагничивания в породах выделены четыре компоненты J_n - низкотемпературная компонента А; две среднетемпературных компоненты В и С, а также высокотемпературная биполярная компонента Z (рис. 2.1, 2.2, табл. 1).



(рис. 2.1)



(рис. 2.2)

Рис. 2. Результаты температурной очистки образцов из разреза р. Золотица в стратиграфической системе координат

Слева - диаграмма Зийдervельда; в центре - стереограмма; справа - кривая изменения $J_n(T)$.
Условные обозначения:

—●— - на диаграммах Зийдervельда - проекция на горизонтальную плоскость; на стереограммах - проекция на нижнюю полусферу.

—○— - на диаграммах Зийдervельда - проекция на вертикальную плоскость; на стереограммах - проекция на верхнюю полусферу.

—C—
—Z— - примеры выделения различных компонент J_n .

Компонента А разрушается в узком температурном интервале 20 – 250°C, во многих случаях – 20 – 150°C (рис. 2.1, 2.2), и выделяется практически во всех изученных образцах.

Средние направления компонент, выделенных в разрезе верхнего венда р. Золотица

Компонента	N	Dg	Ig	Kg	$\alpha_{95}g$	Тест
		$\frac{D \sin}{Ds}$	$\frac{I \sin}{Js}$	$\frac{K \sin}{Ks}$	$\frac{\alpha_{95} \sin}{\alpha_{95}s}$	
A	299	21.7 2.8 348.2	82.6 84.0 84.1	25.2 32.2 27.3	1.7 1.4 1.6	(55%)
B	286	172.5 174.4 178.3	67.4 67.4 66.5	17.8 19.9 16.4	2.0 1.8 2.1	(40%)
C	39	212.0 215.2	-32.1 -35.3	8.6 17.8	8.3 5.6	F+(98%)
Z(N)	138	301.8 298.5	39.5 40.2	8.9 18.8	4.3 2.8	F+(99%)
Z(R)	96	120.5 119.5	-35.2 -36.5	10.6 16.3	4.6 3.7	F+(99%)
Z= Z(N)+ Z(R)	234	301.2 298.9	37.7 38.8	9.5 17.6	3.1 2.3	F+(99%), R+(B)

A/B/C/Z – обозначение компонент в тексте, (N)/(R) - прямая/обратная полярность, N – количество стратиграфических уровней (итуфов), включенных в статистику, D/I - средние склонение/наклонение, K/ α_{95} - кучность векторов/угол доверия для вероятности 95% (g - в географической, sin – синклюдчатой, s – стратиграфической системах координат), F+ - положительный тест складки (с указанием процента выпрямления пластов), R+ - положительный тест обращения (в скобках – класс теста)

Эта компонента имеет лучшие статистические параметры при использовании прогрессивного теста складки (55% выпрямления) для всей совокупности векторов, а для участка, смятого в складки, наилучшие параметры получены в географической системе координат (5% выпрямления) [Watson & Enkin, 1993; McFadden & Jones, 1981]. Она дает среднее направление, практически совпадающее с направлением современного геомагнитного поля в точке отбора образцов (рис. 3А, табл. 1). По всей видимости, природа этой компоненты – современное (частично лабораторное) перемагничивание.

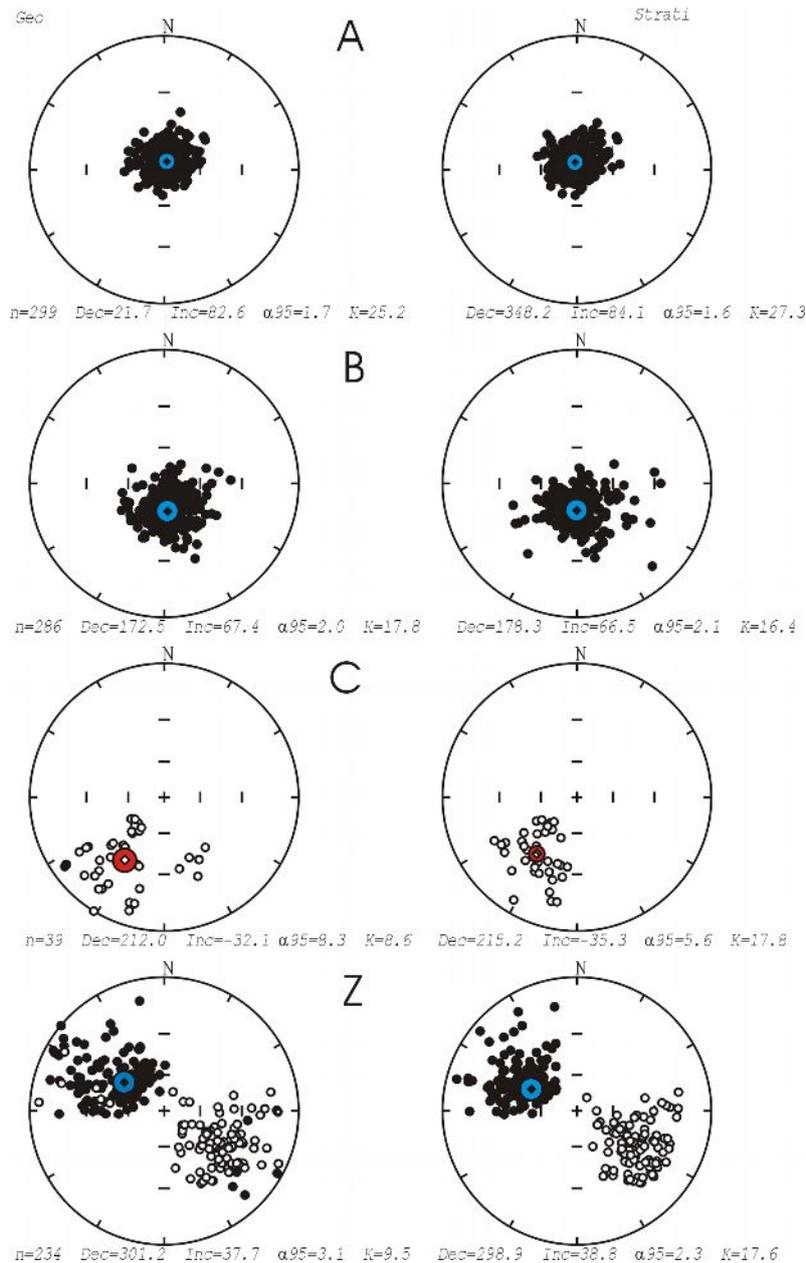


Рис. 3. Распределения выделенных компонент намагниченности А, В, С и Z

Слева - в географической, справа - в стратиграфической системах координат



- проекции векторов и средних направлений на нижнюю полусферу



- проекции векторов и средних направлений на верхнюю полусферу

Среднетемпературная компонента В имеет различные блокирующие температуры в разных образцах. В одних случаях она разрушается в температурном интервале 100 – 300°C, в других остается стабильной при прогревах до 680°C (рис. 2.1, 2.2). Эта компонента присутствует практически во всех образцах и имеет лучшие статистические параметры при применении прогрессивного теста складки как при использовании всей совокупности образцов (40% выпрямления) [Watson & Enkin, 1993; McFadden & Jones, 1981], так и только той части коллекции, где породы имеют существенно различные элементы залегания (50% выпрямления). Палеомагнитный полюс, соответствующий этой компоненте, имеет координаты $\Phi = 25.8^{\circ}\text{N}$, $\Lambda = 44.2^{\circ}\text{E}$, $dp = 2.5^{\circ}$, $dm = 3.0^{\circ}$ (рис. 3В, табл. 1).

Среднетемпературная компонента С выделена в образцах небольшой части коллекции. Так из 350 изученных штуфов эта компонента была обнаружена лишь в 39. Все эти образцы отобраны в нижней части разреза р. Золотица – в той его части, которая смята в складки и ниже этой зоны по разрезу.

Компонента С выделяется в температурном интервале 400 – 670°C и всегда имеет блокирующие температуры выше, чем компонента В (рис. 2.1, 2.2), если обе эти компоненты присутствуют в одном образце. Эта компонента дает лучшее распределение в стратиграфической системе координат и имеет положительный тест складки (98% выпрямления) [Watson & Enkin; 1993; McFadden & Jones, 1981] (рис. 3В, табл. 1).

Соответствующий ей палеомагнитный полюс $\Phi = 38.5^{\circ}\text{S}$, $\Lambda = 356.2^{\circ}\text{E}$, $dp = 3.7^{\circ}$, $dm = 6.5^{\circ}$ расположен близ пермского полюса Русской платформы [Torsvik et al., 1996; Smethurst et al., 1998; Iosifidi, Khramov, 2002].

Высокотемпературная компонента Z выделена в значительной части изученных образцов (234 штуфа). Она разрушается в узком температурном интервале 660 – 690°C, иногда 680-695°C (рис. 2.1, 2.2). В большинстве случаев, чтобы выделить эту компоненту явно, приходилось уменьшать шаг температурной чистки на последних ступенях до 5, 2 и 1°C, причем очень часто на последних десяти градусах чистки разрушалось 20 – 50% J_n (рис. 2.1, 2.2). Выделенная таким способом компонента Z имеет две полярности. Полярность ее не зависит от литологии образцов (наиболее четко и надежно эта компонента той и другой полярности выделяется в красноцветных и пестроцветных глинах) и компонентного состава конкретного образца (присутствуют ли все перечисленные компоненты, или только А, В и Z), а зависит лишь от положения образцов в разрезе. Компонента Z имеет положительный тест обращения, класс В (отличие от антипараллельности прямого и обратного средних направлений составляет 4.1° при критическом угле 6.7°) [McFadden & McElhinny, 1990]. Тест

складки также положителен (99% выпрямления) [Watson & Enkin, 1993; McFadden & Jones, 1981] для распределений компонент прямой полярности, обратной полярности и всей совокупности векторов (рис. 3Z, табл. 1). Вычисленный по среднему направлению компоненты Z палеомагнитный полюс $\Phi = 31.7^{\circ}\text{S}$, $\Lambda = 112.9^{\circ}\text{E}$, $dp = 1.6^{\circ}$, $dm = 2.7^{\circ}$ расположен далеко от траектории кажущейся миграции палеомагнитного полюса (ТКМПП) Русской платформы [Torsvik et al., 1996; Smethurst et al., 1998] и близок полюсу, полученному нами ранее на Зимнегорских обнажениях Зимнего Берега Белого моря [Попов и др., 2002]. Все сказанное позволяет считать компоненту Z древней, первичной, синхронной осадконакоплению.

Разрез скважины “Верхотина”. В изученных породах выделены четыре компоненты J_n - низкотемпературная компонента A; две среднетемпературные компоненты B и C, а также высокотемпературная биполярная компонента Z (рис. 4).

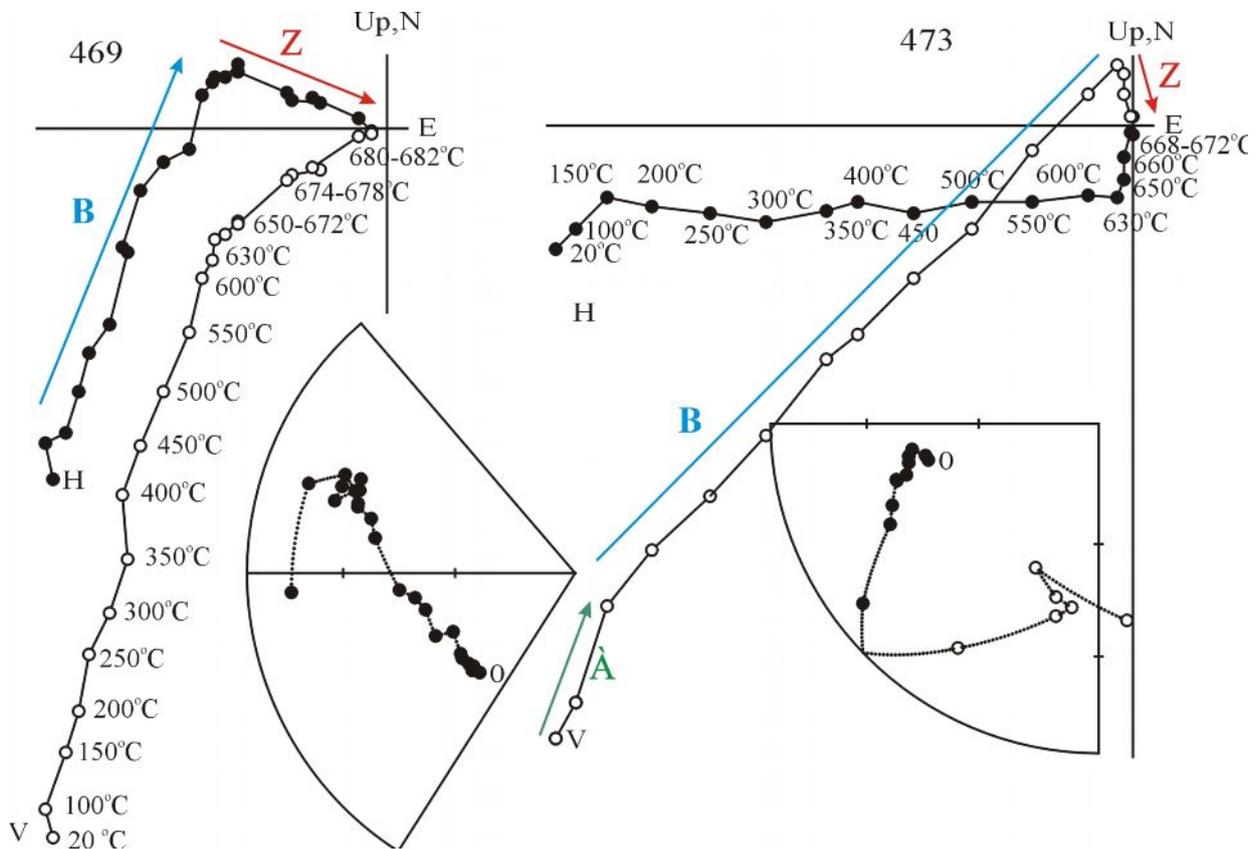


Рис. 4. Примеры диаграмм Зийдверельда для образцов из ядра скважины
Образцы не ориентированы в горизонтальной плоскости. Условные обозначения см. на рис.2.

По характеру кривых терморазмагничивания, спектрам блокирующих температур, а также по наличию идентичных магнитных минералов, выделенные компоненты J_n соответствуют аналогичным компонентам, полученным в образцах, отобранных из

естественных обнажений р. Золотица. Необходимо заметить лишь, что компоненты А и С в образцах из скважины выделяются менее надежно: компонента А, видимо, является «буровой компонентой» или суперпозицией современной и «буровой» компонент и имеет очень узкий спектр размагничивающих воздействий, а компонента С выделена только в 20 образцах и часто выглядит как зона перекрытия спектров блокирующих температур компонент В и Z. Компонента Z имеет две полярности. Как и в разрезе р. Золотица, полярность ее не зависит от литологии и компонентного состава образцов, а зависит лишь от положения образцов в разрезе.

Новый метод ориентирования керна скважин в пространстве

Использовать низкотемпературную современную компоненту намагниченности для ориентации керна скважины «Верхотина» в пространстве традиционным методом не удалось. Все ограничения, указанные во введении, присутствовали в данном случае.

Мы предлагаем использовать в такой ситуации новый метод ориентирования керна скважин в пространстве, который, при соблюдении некоторых условий, позволяет вычислить направление древних компонент намагниченности в тех случаях, когда традиционный метод не дает удовлетворительного результата в силу указанных причин. Основным условием для применения нового метода является наличие результатов магнитной чистки однотипных одновозрастных пород, отобранных из естественных обнажений и из керна скважины, а также доказательства идентичности компонентного состава J_n этих пород или наличие информации о направлении регионального перемагничивания. В этом случае для ориентации керна предлагается использовать не современную вязкую компоненту, а направления нормалей к большим кругам, проведенным через направления двух любых, в том числе древних компонент. Технология этого метода следующая:

1. среди выделенных в естественных обнажениях компонент намагниченности выбираются две наиболее представительные, присутствующие в преобладающем числе образцов - A_1 и A_2 ;
2. вычисляются средние направления этих компонент D_{A_1} , I_{A_1} и D_{A_2} , I_{A_2} ;
3. вычисляется среднее направление нормали N к большому кругу, проведенному через эти средние направления D_n , I_n ;
4. для каждого i -того образца керна вычисляется направление нормали к большому кругу D_{ni} , I_{ni} , проведенному через аналогичные компоненты A_{1i} , A_{2i} ;
5. вычисляется разница склонения $\Delta_i = D_n - D_{ni}$ между средним направлением нормали D_n , I_n и направлением нормали каждого i -того образца керна D_{ni} , I_{ni} ;

6. вычисленная Δ_i прибавляется к склонениям всех компонент, выделенных в i -том образце.

В результате описанной процедуры появляется возможность сравнения полученных (восстановленных) распределений в керне скважины и в естественных обнажениях для нескольких компонент намагниченности одновременно.

Корректность предлагаемого метода основывается на следующем предположении: если его применение к распределениям, полученным в естественных обнажениях, не изменит средних направлений выделенных компонент намагниченности в пределах погрешности, то его использование правомерно для аналогичных компонент, выделенных в образцах керна.

Для проверки правильности этого утверждения, новый метод был применен к полученным в разрезе р. Золотица распределениям компонент В и Z. Выполнялась следующая процедура:

1. вычислена нормаль D_n , J_n к большому кругу, проведенному через средние направления компонент В и Z (табл. 1);

2. из всей коллекции случайным образом выбирались 55 образцов, имеющих прямую полярность компоненты Z - группа ZN (рис. 5B), 55 образцов, имеющих обратную полярность компоненты Z - группа ZR (рис. 5C) и соответствующее этим двум выборкам распределение компоненты В (рис. 5A);

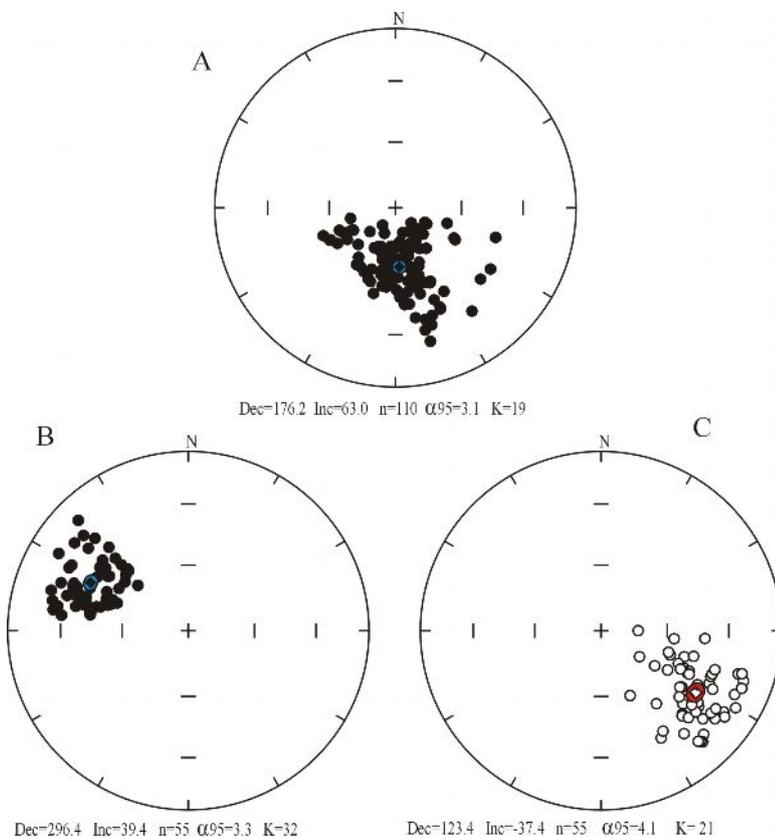


Рис. 5. Распределения средне- и высокотемпературной компонент намагниченности в случайной выборке для образцов из естественных обнажений до использования нового метода

*A - среднетемпературная компонента;
B - высокотемпературная компонента, группа ZN;
C - высокотемпературная компонента, группа ZR.*

Условные обозначения на рис. 3.

3. к полученной совокупности векторов применялась описанная выше методика, использующая компоненты В и Z – (рис. 6);

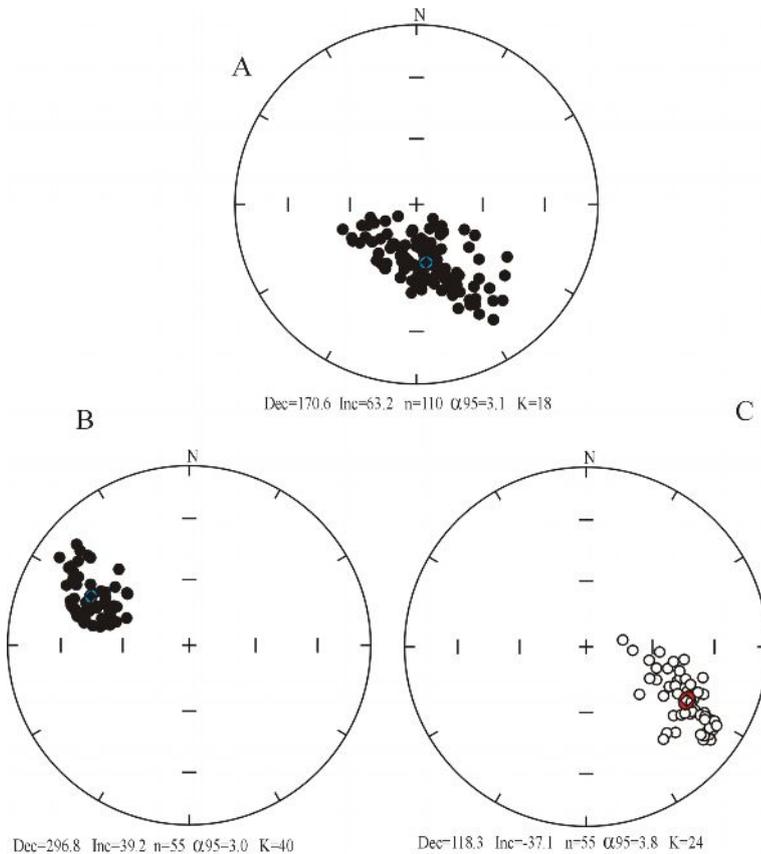


Рис. 6. Распределения средние и высокотемпературной компонент намагниченности в случайной выборке для образцов из естественных обнажений после использования нового метода

*A - среднетемпературная компонента;
B - высокотемпературная компонента, группа ZN;
C - высокотемпературная компонента, группа ZR.*

Условные обозначения см. на рис.3.

4. вычислялись средние направления и статистические параметры компонент В и Z (для групп ZN, ZR и ZN+ZR) до и после применения метода, а также угол δ между этими средними;

5. случайным образом из групп ZN и ZR выбрасывалось по 5, 10,... 50 образцов и каждый раз выполнялся пункт 4 – (рис. 7);

6. пункты 2-5 выполнялись десятки раз.

На рис. 7 приведены два примера такой операции.

Для выполнения всех описанных операций была создана компьютерная программа, использующая стандартные [Enkin, 1994] файлы результатов компонентного анализа.. Как видно из рис. 7, различие δ между средними направлениями до и после применения такого метода для образцов из естественных обнажений во всех случаях выборок, вплоть до уменьшения числа образцов до 5 в каждой группе, не превышает угла доверия α_{95} для каждого из распределений как для В, так и для ZN, ZR и ZN+ZR компонент. Таким образом, правомерность использования нового метода можно считать доказанной.

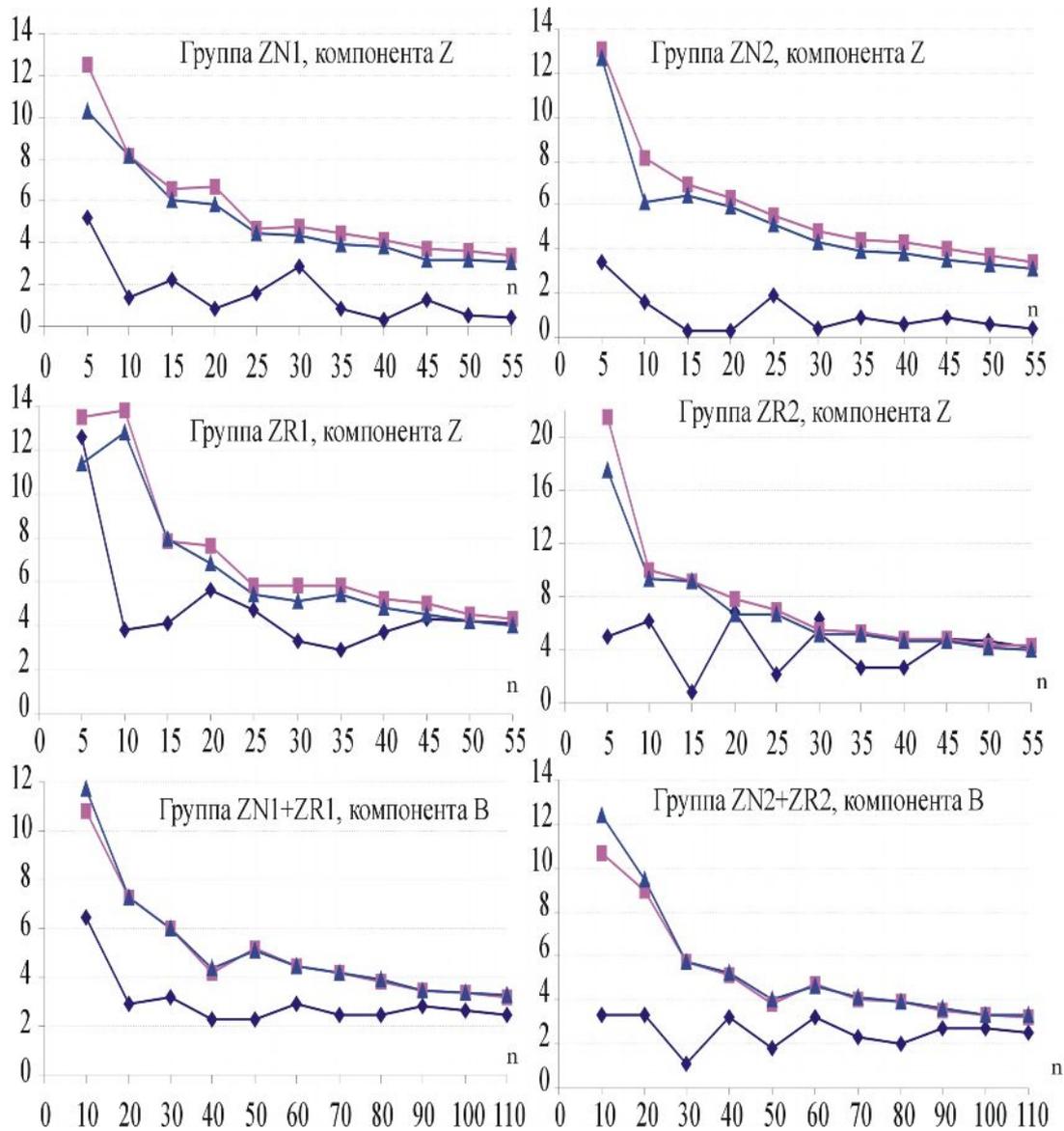


Рис. 7. Зависимость угла δ (градусы) между средними направлениями исходного и конечного распределений до и после применения нового метода ориентирования зерна и радиусов кругов доверия α_{95} для этих распределений от числа образцов n в случайных выборках (рис. 5, 6)

Условные обозначения: Группы ZN1 и ZN2 для прямой, ZR1 и ZR2 для обратной полярности. Слева и справа - две случайные выборки соответственно.

- ◆ - $\delta, ^\circ$ - угол между средними направлениями компонент до и после использования нового метода;
- - $\alpha_{95}, ^\circ$ до использования нового метода;
- ▲ - $\alpha_{95}, ^\circ$ после использования нового метода.

Этот же метод был применен к компонентам В и Z, выделенным в образцах зерна скважины «Верхотина».

Сориентированные таким методом компоненты намагниченности В и Z, выделенные в разрезе скважины, дали кучные распределения - рис. 8. Средние направления этих компонент и их статистические параметры близки соответствующим значениям,

полученным для р. Золотица (рис. 3, 8, табл. 1, 2). Биполярная компонента Z имеет положительный тест обращения, класс В [McFadden & McElhinny, 1990]. Палеомагнитные полюсы, вычисленные для этих направлений, также имеют хорошую сходимость с результатами, полученными по коллекции р. Золотица (табл. 3).

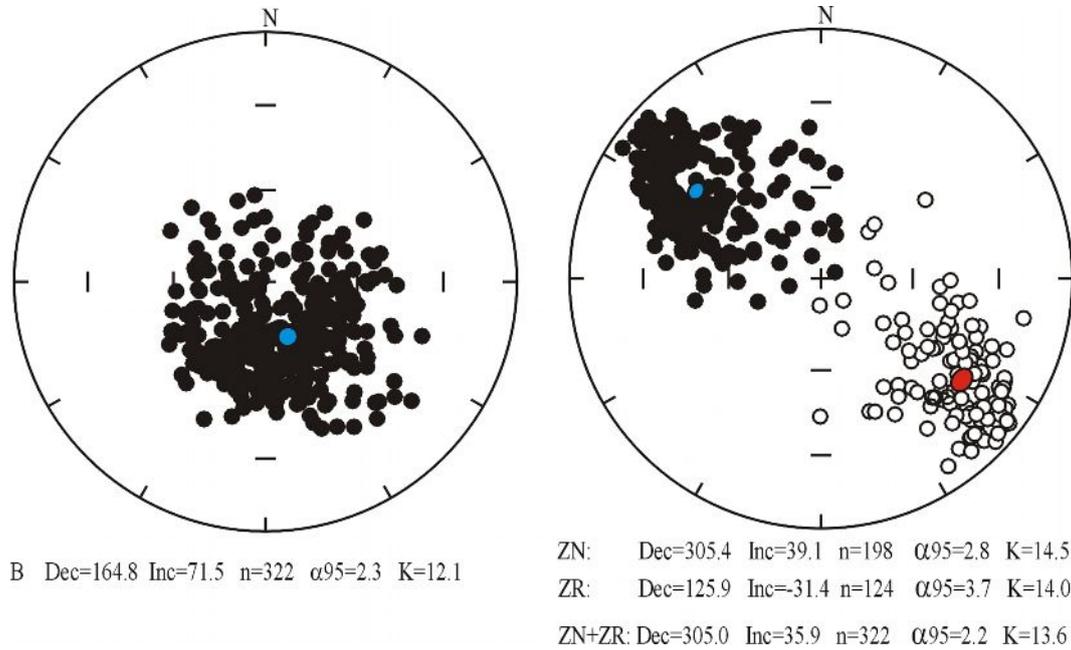


Рис. 8. Распределения среднетемпературной (слева) и высокотемпературной компонент (справа) намагниченности образцов из скважины «Верхотина» после использования нового метода

Обозначения см. на рис. 3.

Таблица 2

Средние направления компонент, выделенных в разрезе верхнего венда скважины «Верхотина»

Компонента	n	D	I	K	α_{95}	Тест
B	322	164.8	71.5	12.1	2.3	
Z(N)	198	305.4	39.1	14.5	2.8	
Z(R)	124	125.9	-31.4	14.0	3.7	
Z= Z(N)+ Z(R)	322	305.0	35.9	13.6	2.2	R+(B)

Обозначения см. табл. 1.

Палеомагнитные полюсы для позднего протерозоя-раннего палеозоя Балтики

№	Rock unit	Rock age Ma	Pos. Mag age Ma	B	N	⁰ N	Pole position ⁰ E dp ⁰ dm ⁰		References
1	Early Paleozoic (mean pole position)	475	475	4		28.3	51.3	A ₉₅ =10.5	Claesson, 1978; Torsvik, Trench, 1991; Perroud et al., 1992; Smethurst et al., 1998
2	Winter Coast seds., B	555.0±0.3	?*	232		40.0	79.0	2.0 2.3	Попов и др., 2002
3	Zolotica seds., B	550.0±5.3	?*	286		25.8	44.2	2.5 3.0	This study
4	Verhotina seds., B	550.0±5.3	?*	322		31.1	51.1	3.0 3.5	This study
5	Zolotica seds., B	550.0±5.3	?*		575	30.9	55.4	A ₉₅ =2.7	Iglesia et al., 2002
6	Zolotica seds., C	550.0±5.3	290*	39		-38.5	356.2	3.7 6.5	This study
7	Zolotica seds., Z	550.0±5.3	550.0±5.3	234		-31.7	112.9	1.6 2.7	This study
8	Zolotica seds., Z	550.0±5.3	550.0±5.3		57	-28.3	110.0	A ₉₅ =3.8	Iglesia et al., 2002
9	Verhotina seds., Z	550.0±5.3	550.0±5.3	322		-32.2	107.1	1.5 2.6	This study
10	Winter Coast seds., Z	555.0±0.3	553.0±0.3	94		-25.3	132.2	2.3 3.7	Попова и др., 2002
11	Alno Complex	553±6	553±6	21	103	-7.6	92.0	4.7 9.3	Piper, 1981
12	Fen carbonatites	583±15	208-245*	19	19	63.0	142.0	3.1 4.3	Poorter, 1972
13	Fen tinguates	583±15	208-245*	20	144	50.1	143.9	4.9 7.9	Piper, 1988
14	Fen Central Complex	583±15	208-245*	6	55	56.0	150.0	7.0 10.0	Meert et al., 1998
15	Later Proterozoic (mean pole position)	750	750	3		-28.1	17.3	A ₉₅ =7.6	Torsvik et al., 1995, Bylund, 1994 Shipunov and Chumacov, 1991,

Примечания: возраст пород дан в соответствии с автором, указанным в References, за исключением 11, исправленного с учетом новых данных (Roberts et al., 1997). B – количество сайтов или стратиграфических уровней, N – количество образцов, включенных в статистику, dp, dm – полуоси овала доверия для вероятности 95%, результаты 11, 12, 13, 14 взяты из Международной Базы Палеомагнитных Данных, 1 и 15 – средние полюсы для опубликованных данных, *- перемагничивание.

Магнитостратиграфия изученных разрезов р. Золотица и скважины «Верхотина»

Изменение склонения и наклонения компоненты Z по разрезам р. Золотица и скважины «Верхотина» и соответствующая ему магнитная зональность приведены на рис. 9 - 11. Десять обнажений, опробованных по р. Золотица условно разделены на два параллельных профиля (рис. 9).

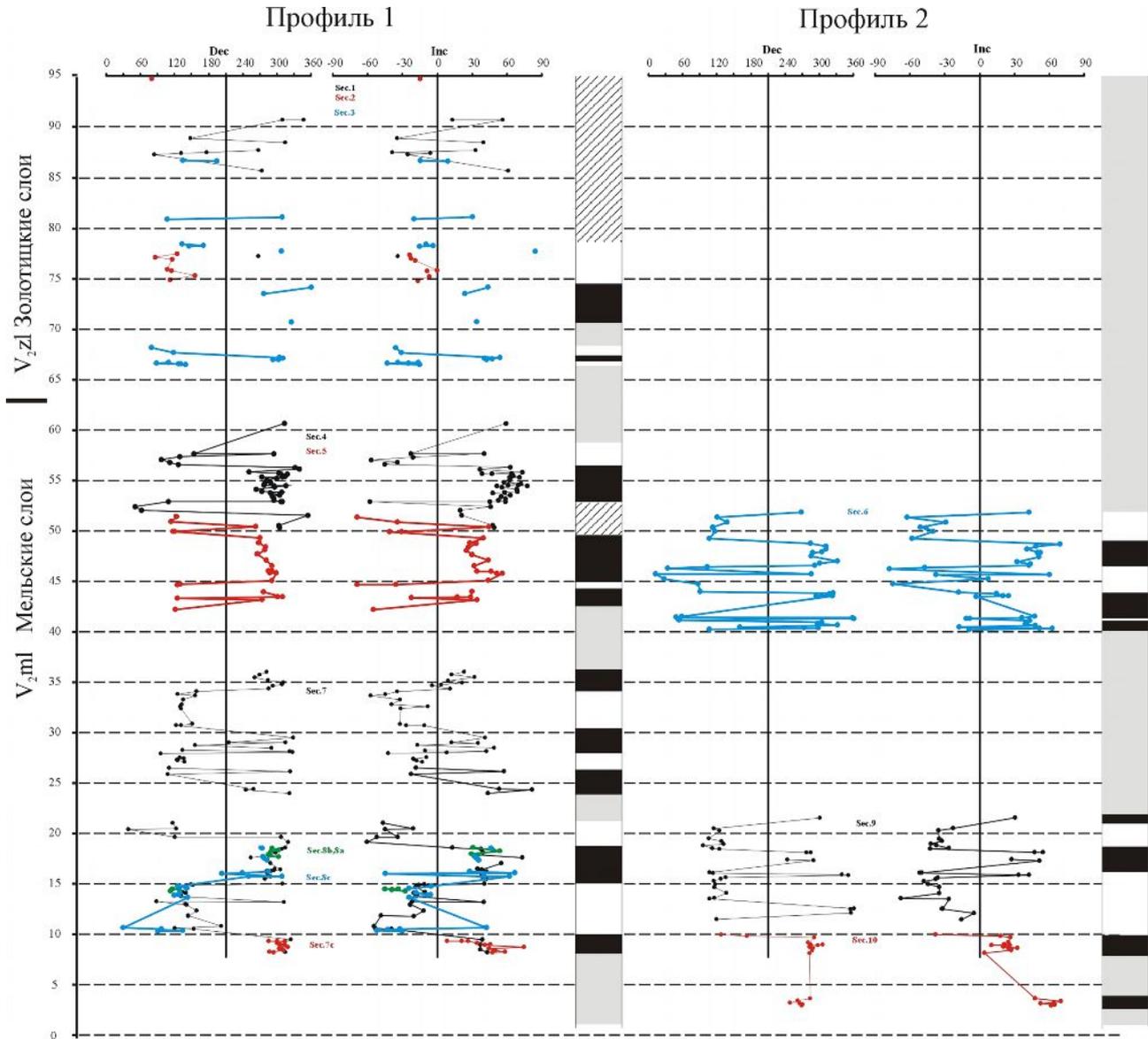


Рис. 9. Изменение склонения Dec и наклонения Inc компоненты Z в различных обнажениях по разрезу р. Золотица и соответствующая ему магнитная зональность

Условные обозначения: Зоны полярности:

- прямой;
 - переменной;
 - обратной;
 - данные отсутствуют.

Как видно из рис. 9, одинаковые магнитные зоны выделяются в различных обнажениях, расположенных на различном расстоянии друг от друга.

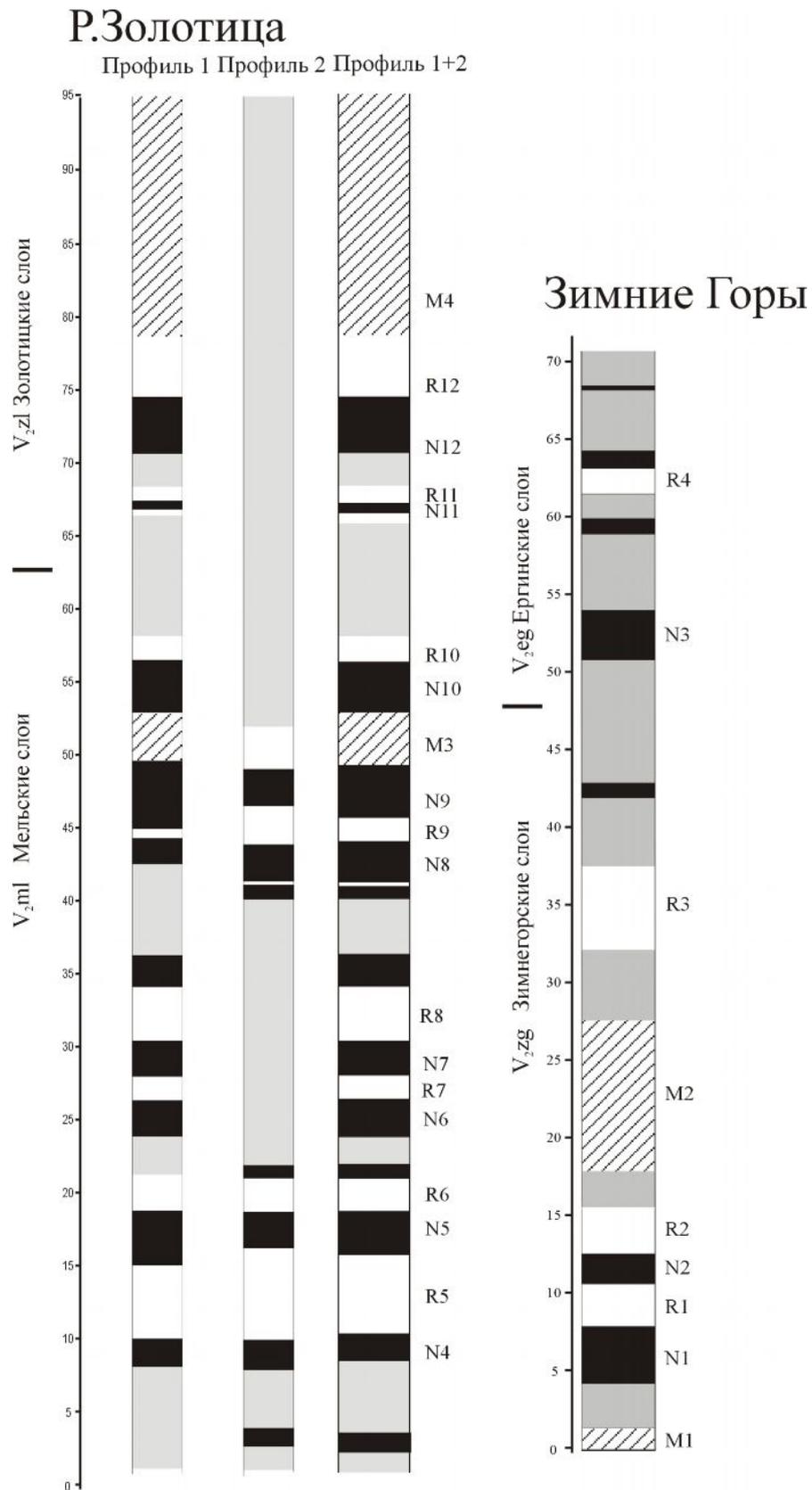
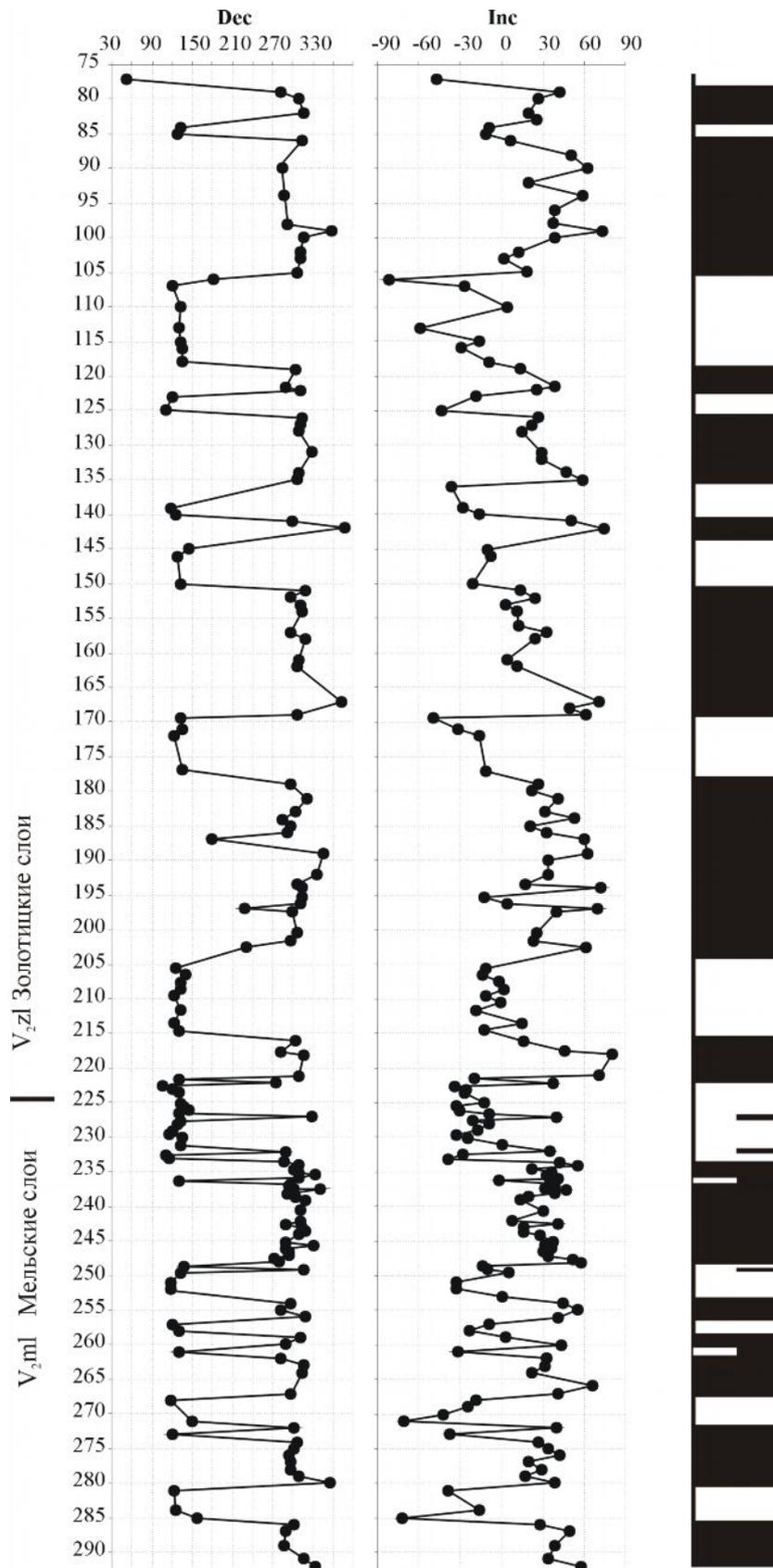


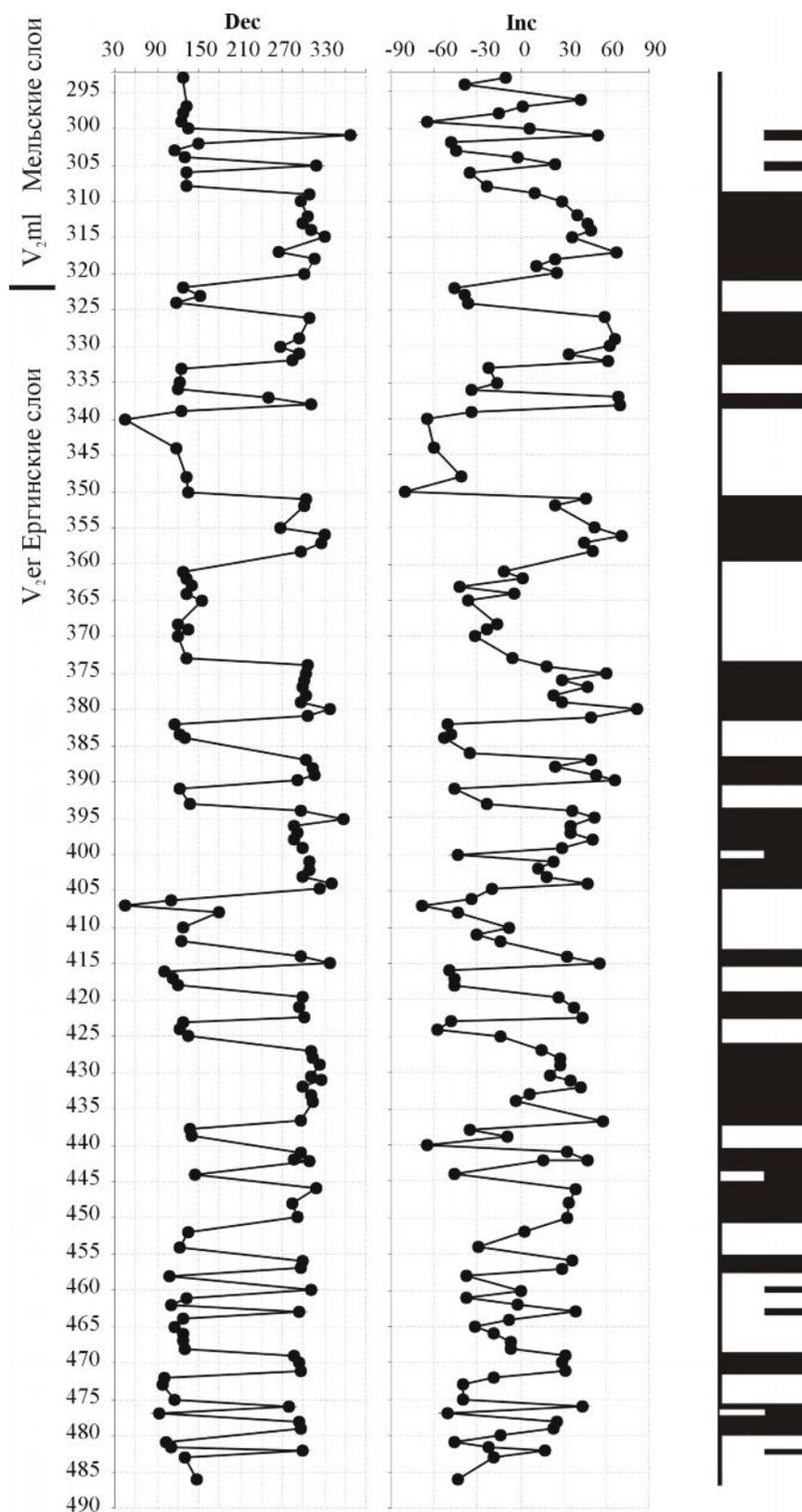
Рис. 10. Магнитная зональность в разрезах р. Золотица (рис. 9) и Зимних Гор

Условные обозначения см. рис. 9.



(рис. 11.1)

Условные обозначения см. рис. 9.



(рис. 11.2)

Рис. 11. Изменение склонения Dec и наклонения Inc компоненты Z в разрезе скважины "Верхотина" после использования нового метода и соответствующая ему магнитная зональность

Так, самая нижняя зона прямой полярности в обнажении 7 выделена в двух крыльях складки, расстояние между которыми 10 метров - Sec. 7 и Sec. 7с, рис. 9. В данном случае было очень легко установить точное стратиграфическое положение каждого образца — маркирующие слои различной окраски прослеживаются в обнажении по всему простиранию пород. Такая же зона прямой полярности выделена и в верхней части обнажения 10, удаленном от обнажения 7 на 5 км - Sec. 10, рис. 9. Расположенные выше по разрезу две зоны обратной и прямой полярности также выделены в трех обнажениях, расстояние между которыми 2.5 км - Sec. 7, Sec. 8a, 8b, 8с и Sec. 9, рис. 9. Таким образом, первичность компоненты Z подтверждается и тестом корреляции [Opdyke & Channell, 1994]. Первичность ее подтверждается и тем фактом, что на границах многих зон получены промежуточные направления (по сравнению со стабильными зонами) (рис. 9), которые указывают на плавность палеомагнитной записи. Объединение двух параллельных профилей для разреза р. Золотица показано на рис. 10. Всего по разрезу выделяется 9 зон прямой, 8 – обратной и 2 – переменной полярности. Нумерация зон приводится с учетом данных, полученных для более низких стратиграфических уровней в Зимнегорских обнажениях [Попов и др., 2002].

Аналогичная картина наблюдается и в разрезе скважины «Верхотина» (рис. 11). Таким образом, после ориентировки образцов, по разрезу котлинского горизонта верхнего венда – нижнего кембрия выделено 27 зон прямой и 28 зон обратной полярности. Одновозрастные интервалы шкалы полярности, построенные по разрезам р. Золотица и по скважине «Верхотина», показывают хорошую сходимость (рис. 12), что дает основание говорить о высокой надежности выделенных направлений, предложенного метода ориентирования керна и хорошей пригодности изученных пород для магнитостратиграфической корреляции разрезов.

Обсуждение результатов, полученных для пород из разрезов позднего венда

В итоге выполненных исследований в породах верхнего венда - нижнего кембрия Балтики установлен многокомпонентный состав J_n (табл. 1, 2), выделено три основных компоненты намагниченности. На рис. 13 показано положение палеомагнитных полюсов, полученных в последних работах, и ТКМПП Балтики [Smethurst et al., 1998]. Палеомагнитные полюсы, соответствующие среднетемпературной послескладчатой (синскладчатой) компоненте В (полюсы 2-5 - табл. 3, рис. 13), расположены в области ордовикских полюсов Балтики [Torsvik et al., 1996; Smethurst et al., 1998]. Было бы логичным предположить ордовикское перемагничивание пород, но возраст этой компоненты, с учетом возраста складкообразования и результата теста складки, кайнозойский. Более того, вторая

среднетемпературная компонента С – доскладчатая (положительный тест складки), следовательно более древняя, имеющая всегда большие блокирующие температуры, чем компонента В (полюс 6 - табл.3, рис. 13), дает палеомагнитный полюс вблизи пермского участка ТКМПП Балтики [Torsvik et al., 1996; Smethurst et al., 1998; Iosifidi, Khramov, 2002]. В данном случае связь этой компоненты с пермским перемагничиванием выглядит вполне обоснованной.

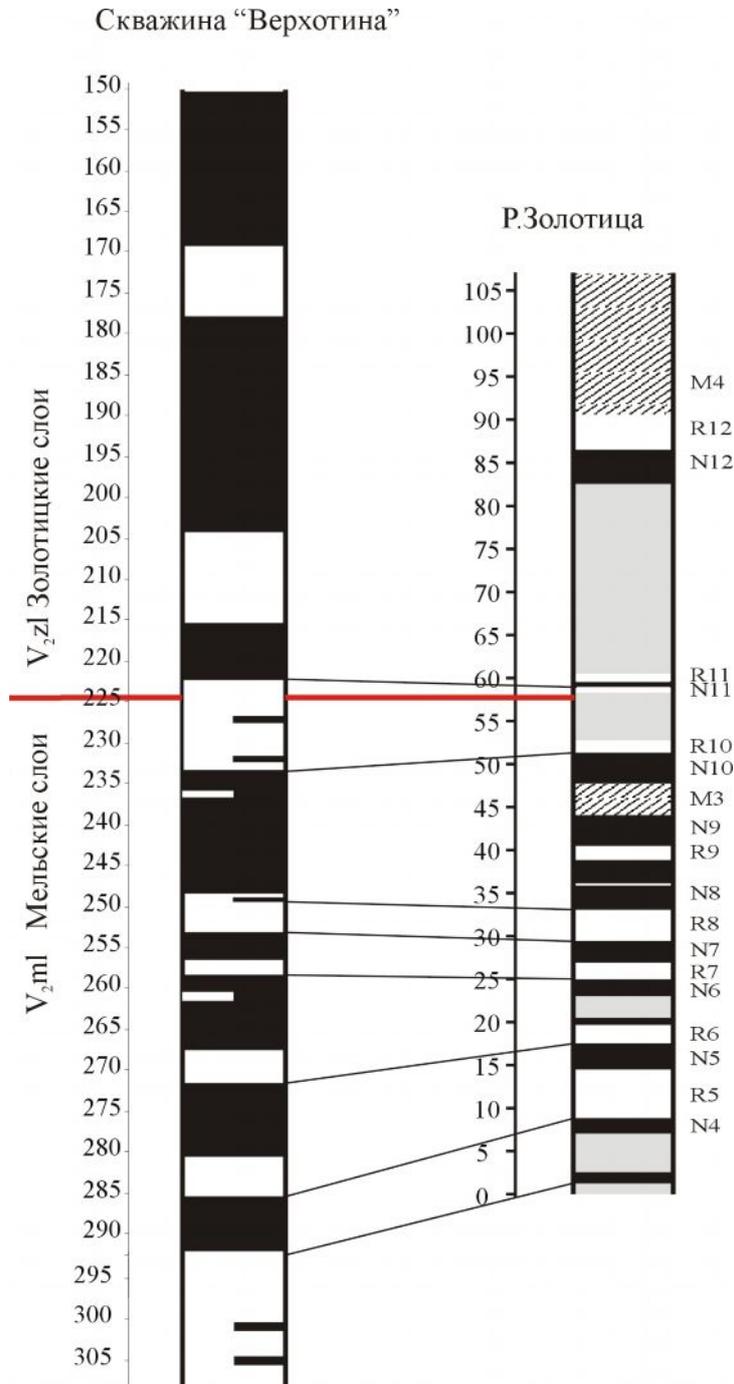


Рис. 12. Схема корреляции магнитостратиграфических разрезов скважины “Верхотина” и р. Золотица

Условные обозначения см. рис. 9.

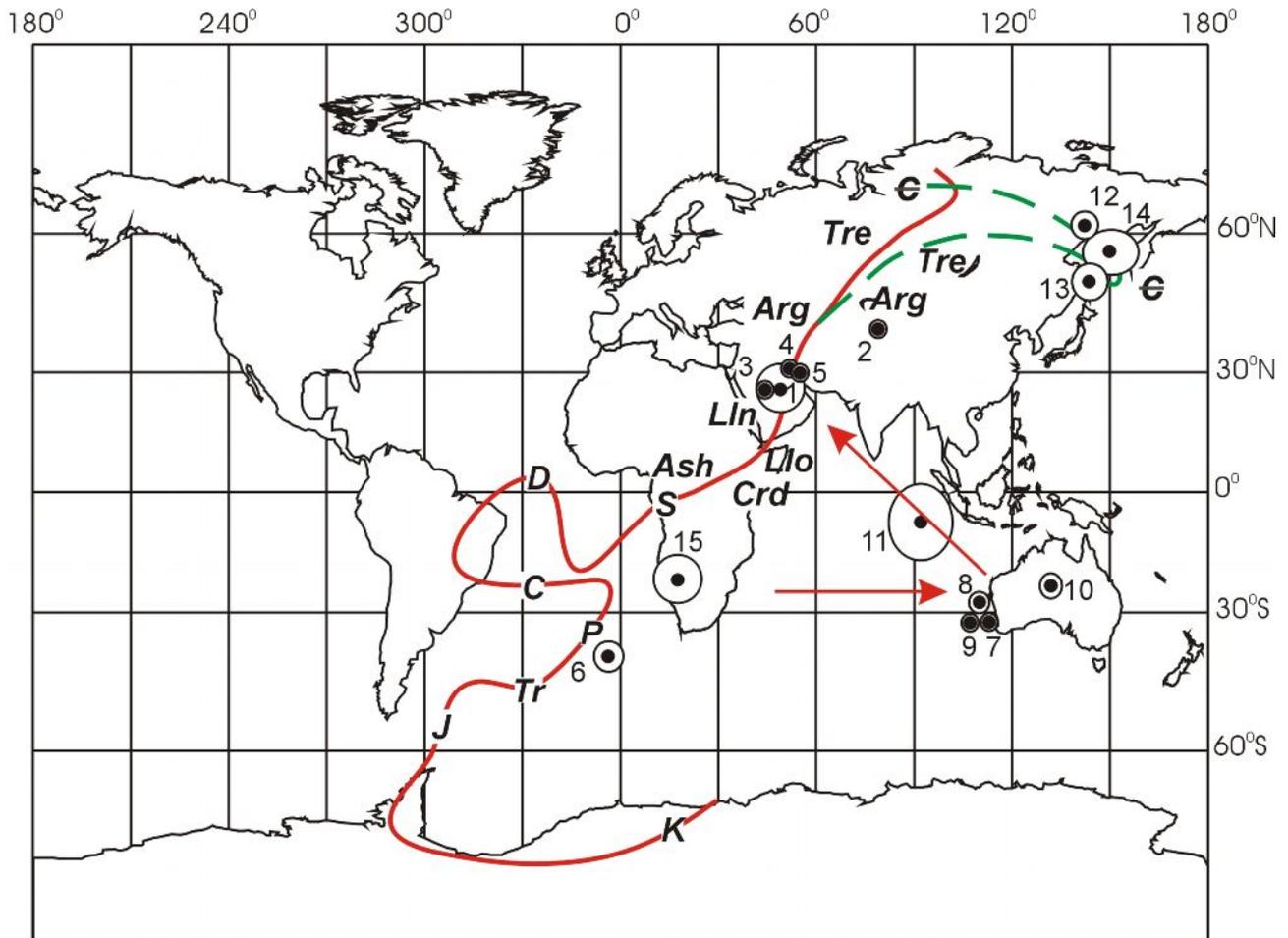


Рис. 13. Траектория кажущейся миграции южного палеомагнитного полюса Балтики согласно [Smethurst et al., 1998] и альтернативные полюсы для изучаемого временного интервала. Номера полюсов соответствуют номерам в табл. 3.

Палеомагнитные полюсы, вычисленные для высокотемпературной доскладчатой (положительный тест складки, 99% выпрямления) биполярной (тест обращения положительный, класс В) компоненты Z (полюсы 7-10 - табл. 3, рис. 13), расположены далеко от ТКМПП Балтики для фанерозоя, что в свою очередь еще раз подтверждает первичный характер этой компоненты – она не связана с каким-либо известным направлением перемагничивания пород. Вычисленные для компоненты Z полюсы помещают Балтику на низкие, до умеренных, северные широты. Эта позиция согласуется с палеонтологическими и палеоклиматическими данными о богатой и разнообразной фауне эдиакарского типа и наличием в разрезе красноцветных пород, внося тем самым существенные коррективы в недавно предложенные реконструкции для позднего венда [Torsvik et al., 1996; Torsvik et al., 2001].

Полярность новых определений (полюсы 7-10 - табл.3, рис. 13) в данном случае выбрана из принципа минимизации абсолютных движений. Но тот факт, что одновозрастные северные полюсы Лаврентии [Meert & Van der Voo, 1994; Torsvik et al., 1996; McElhinny & Lock, 1996, version 4.5] располагаются вблизи компактной группы поздневендских полюсов Балтики, полученных в настоящей работе, и в [Bylund, 1994; Iglesias et al, 2004; Iosifidi et al., 2004], позволяет предположить их другую полярность. Тогда мы можем реконструировать палеогеографическое положение Балтики для рассматриваемого временного интервала. К сожалению, результатов для всего венда, имеющихся в Мировой Базе Палеомагнитных Данных [McElhinny & Lock, 1996, version 4.5] явно недостаточно для построения обоснованного сплайна ТКМПП Балтики в венде. Поэтому мы совместили [Torsvik & Smethurst, 1999] имеющиеся палеомагнитные полюсы для позднего венда Балтики с соответствующим участком кривой Лаврентии [Meert & Van der Voo, 1994] - рис. 14.

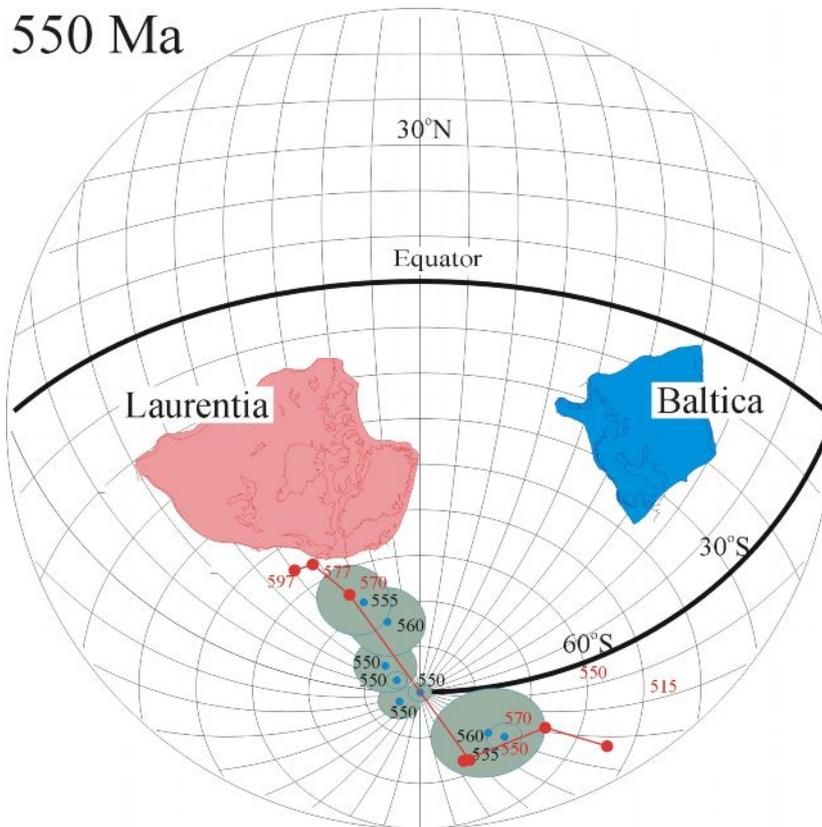


Рис. 14. Реконструкция палеогеографического положения Балтики и Лаврентии для позднего венда (550 млн. лет)

Условные обозначения:



- возраст (млн. лет), положение южного палеомагнитного полюса и траектория кажущейся миграции палеомагнитного полюса Лаврентии;



- возраст (млн. лет) и положение южного палеомагнитного полюса Балтики с овалом доверия для вероятности 95%.

На рис. 14 приведены совмещенные южные полюсы Балтики и Лаврентии для 550 млн. лет и реконструкция взаимного положения обеих плит, выполненная при предположении, что палеомагнитный полюс Балтики $\Phi = 31.7^{\circ}\text{S}$, $\Lambda = 112.9^{\circ}\text{E}$, полученный для разреза р. Золотица и близкие ему, являются северными. При такой интерпретации имеющихся данных, обе плиты располагаются в южном полушарии - Лаврентия между 10°S и 60°S , а Балтика - между экватором и 40°S (рис. 14).

Безусловно, в данной работе главной целью наших исследований было получение надежного палеомагнитного направления для венда Балтики, полюса, вычисленного по этому направлению и выполнение реконструкции палеогеографического положения Балтики в венде. Как кажется, эта задача была решена в той или иной степени. Но в процессе выполнения работы были получены и другие результаты, которые необходимо интерпретировать. Так, было установлено, что вендские породы Беломорья подвергались неоднократному перемагничиванию в различные моменты времени.

Как указано выше, один из полюсов (соответствующий доскладчатой компоненте С), попадает в область пермского участка ТКМПП Балтики. Это не вызывает удивления, так как пермское перемагничивание широко развито и часто встречается в породах среднего и раннего палеозоя. Было бы как раз удивительно, если бы мы не встретили этого направления в вендских породах.

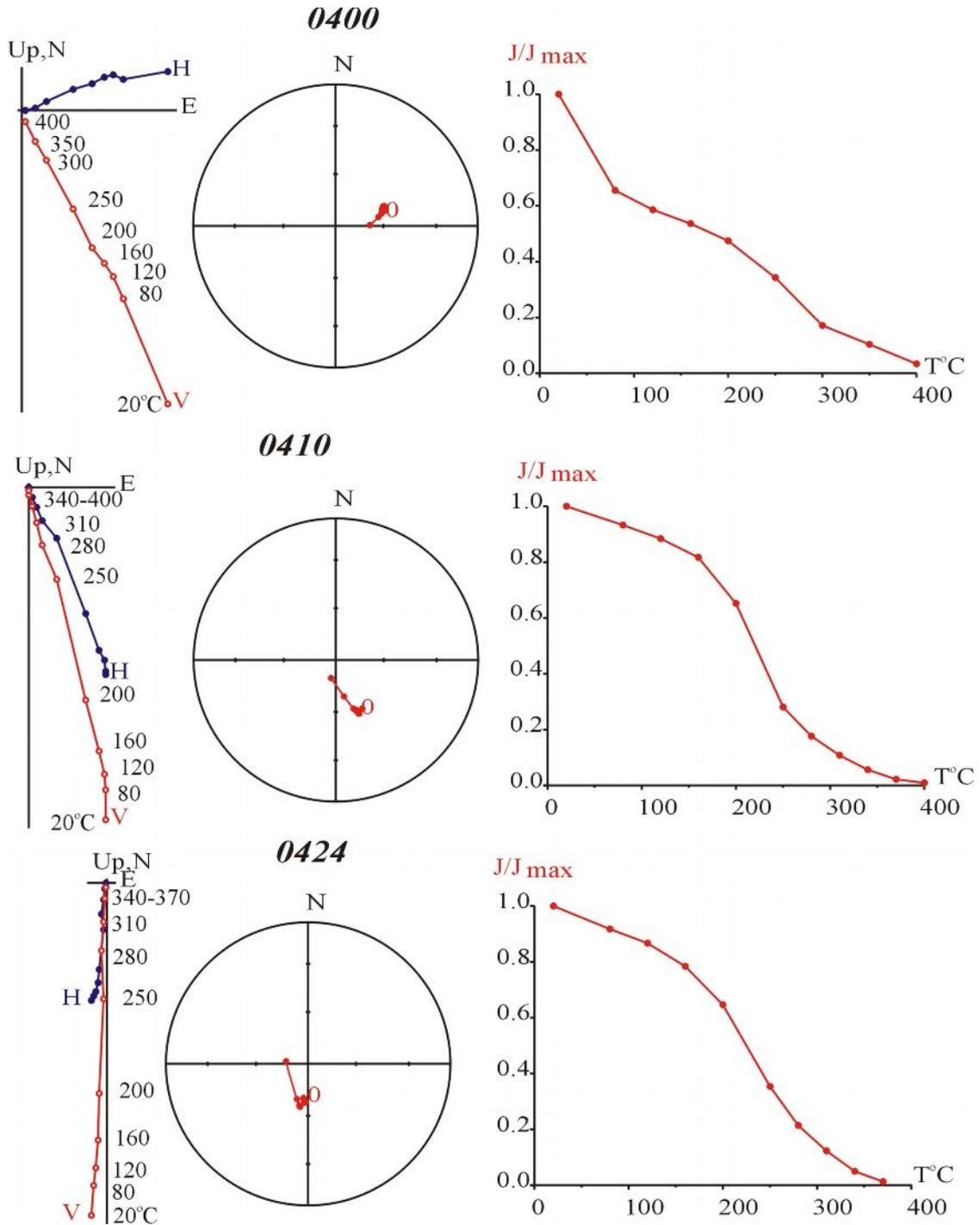
Другое направление перемагничивания (компонента В) - после- или синскладчатое, природа складок – гляциодислокации. Это направление всегда выделяется в интервале температур ниже, чем компонента С (если обе компоненты В и С присутствуют в одном образце). Очевидно, что это перемагничивание моложе пермского. Но полюсы, соответствующие этой компоненте, дают очень кучную группу в ордовикской области ТКМПП Балтики. Эта ситуация требует отдельного исследования. Такое исследование было выполнено для разреза скважины 12А/1, пробуренной также в Архангельской области и вскрывающей разрез кайнозоя.

Лабораторная обработка коллекции и компонентный состав J_n изученных пород в разрезе скважины 12А/1

Более 95% образцов, отобранных из скважины, подверглись детальному ступенчатому терморазмагничиванию. Часть дублей была размагничена переменным магнитным полем. Оба метода установили многокомпонентный состав естественной остаточной намагниченности. Методика лабораторных исследований и обработки полученных результатов была такой же, как и для вендских пород (см. выше). С целью определения

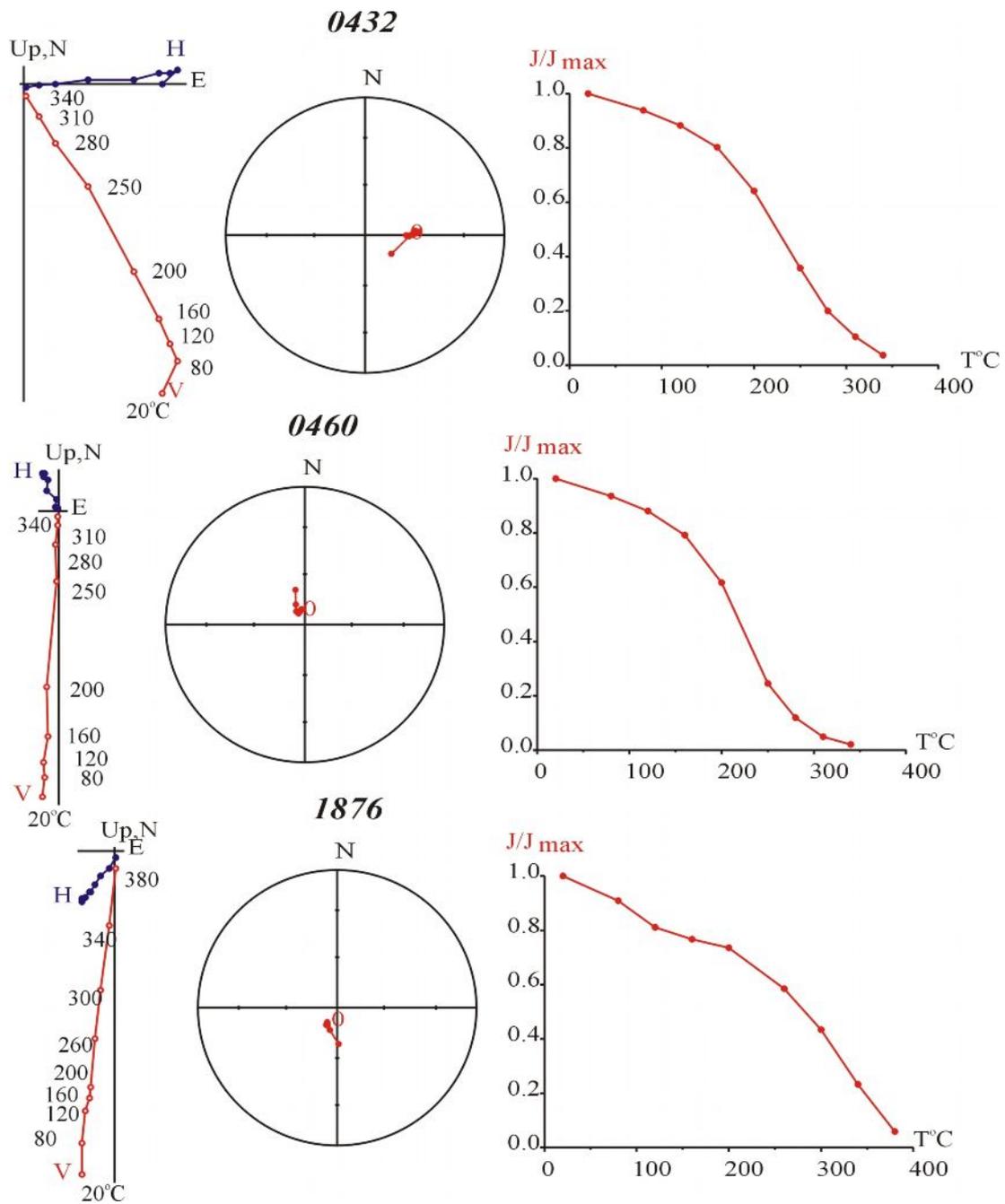
магнитных минералов-носителей намагниченности для части образцов были получены кривые изменения магнитной восприимчивости от температуры $K(T)$ в процессе нагрева на каппа-мосте KLY-3 с приставкой CS-3 (Брно, Чехия).

На рис. 15.1, 15.2 показаны характерные кривые размагничивания. Судя по этим кривым, намагниченность многих образцов полностью разрушается после прогрева до температур 370 – 400°C.



(рис. 15.1)

Образцы не ориентированы в горизонтальной плоскости. Обозначения см. на рис. 2.



(рис. 15.2)

Рис. 15. Примеры диаграмм Зийдervельда для образцов из керна скважины 12А/1

Кривая размагничивания при этом, как кажется, идет в начало координат. Но кривые изменения магнитной восприимчивости от температуры $K(T)$ в процессе нагрева указывают на содержание в изученных породах магнетита и очень часто гематита (рис. 16). У некоторых образцов кривая размагничивания при прогревах до $T = 20 - 400^\circ\text{C}$ в начало координат не идет. В связи с этим, чистка всех образцов была продолжена при больших температурах. В результате во многих образцах было установлено, что компонента, разрушаемая в температурном интервале $20 - 400^\circ\text{C}$, не идет в начало координат (проходит

близко, а иногда через него), имеет продолжение и J_n содержит еще одну высокотемпературную биполярную компоненту, связанную с гематитом (рис. 17.1 – 17.4). Гематит в кайнозойских породах мог появиться в результате размыва и переотложения пермских и/или вендских красноцветов. Часто эта компонента четко выделяется в температурном интервале 500 – 680°C при величинах, составляющих 1 – 2% начальной J_n (рис. 17.1 – 17.4).

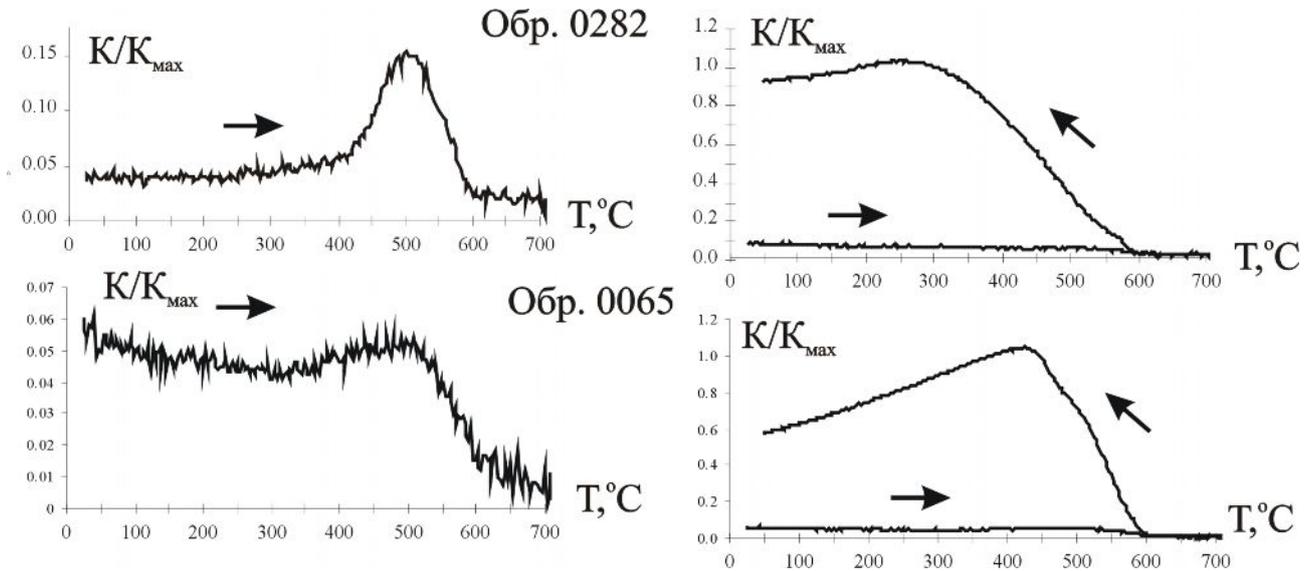


Рис. 16. Кривые изменения магнитной восприимчивости от температуры $K(T)$ в процессе нагрева

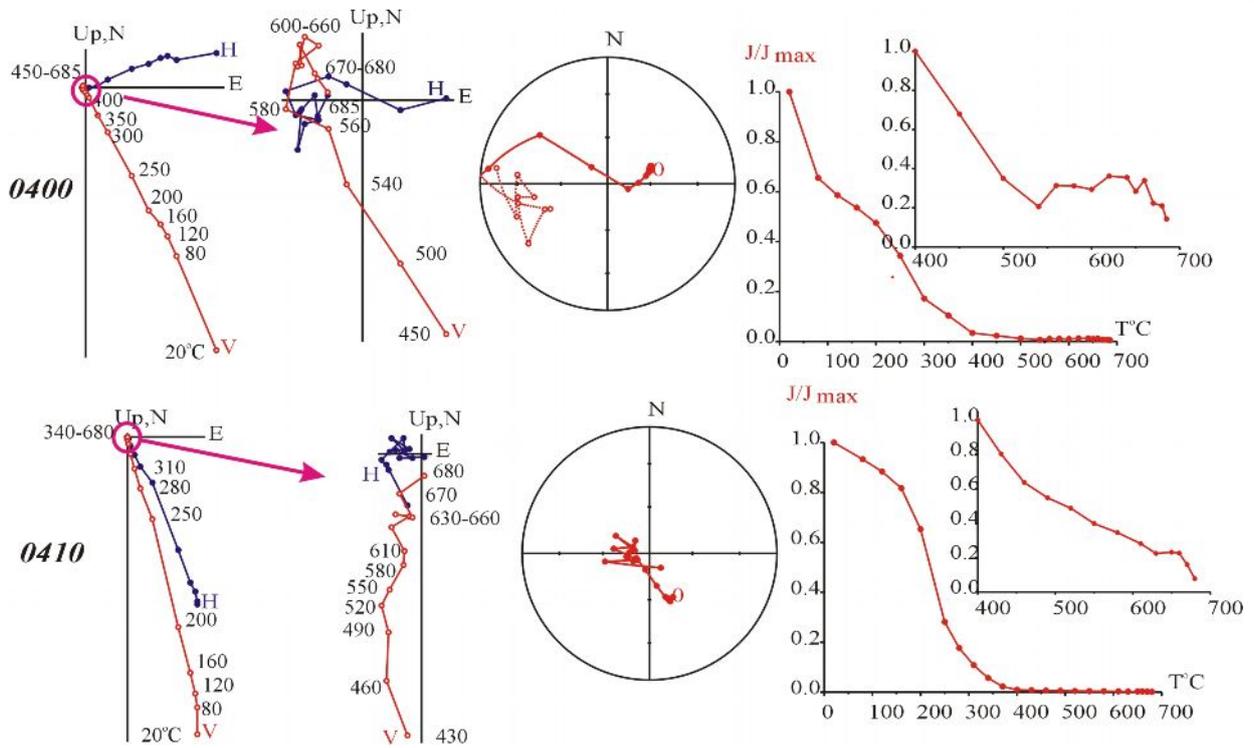
Слева - кривая нагрева, справа – кривые нагрева и охлаждения.

Таким образом, в породах кайнозоя выделены три компоненты намагниченности различной природы и возраста:

- низкотемпературная компонента - выделяется в интервале температур 20 – 200°C и носит, по всей вероятности, «буровой» и/или лабораторный характер;
- среднетемпературная компонента А - с блокирующими температурами 100 – 500°C у большинства образцов составляет до 90 % величины J_n (у некоторых образцов до 99 %) и связана с вязким перемагничиванием в современном геомагнитном поле;
- высокотемпературная биполярная компонента В - разрушается в температурном интервале 500 – 680°C. Вероятно, это древняя характеристическая компонента намагниченности.

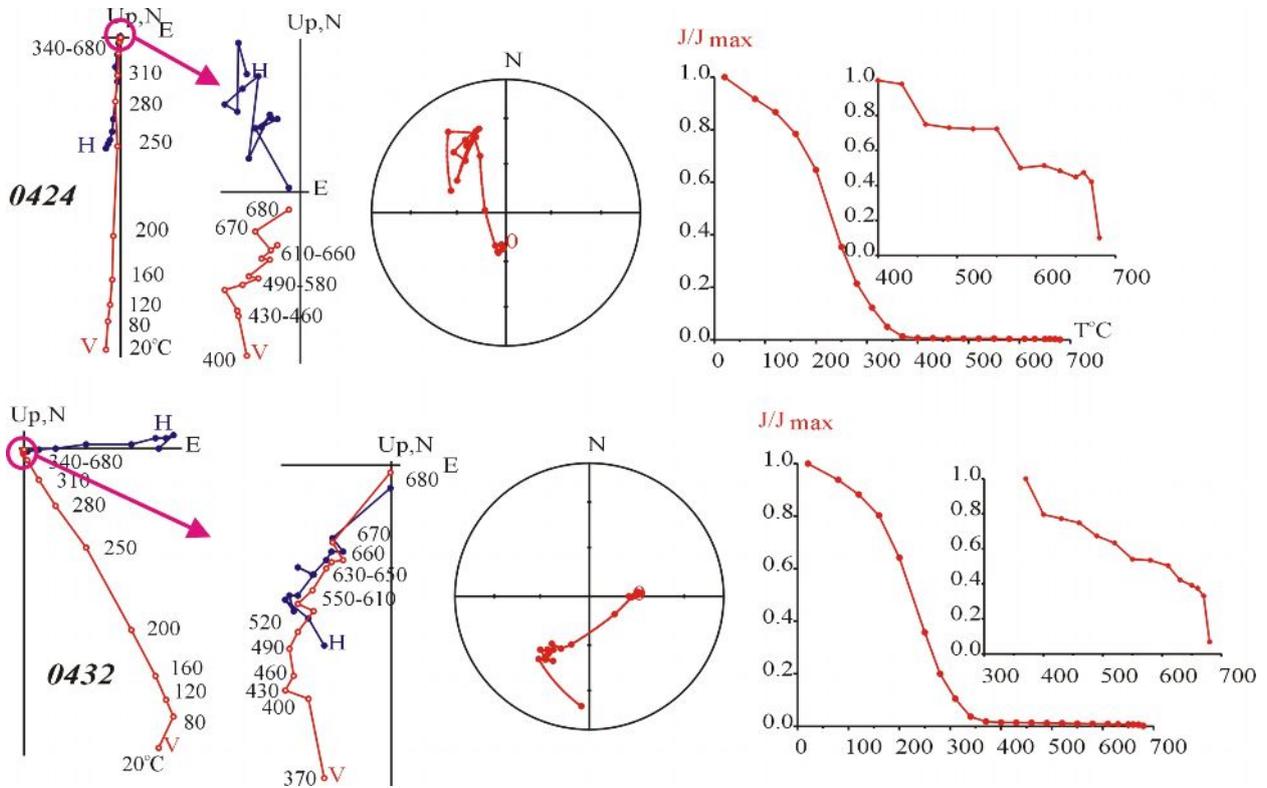
Обсуждение результатов, полученных для кайнозойских пород из разреза скважины 12А/1

Низкотемпературная компонента А, очевидно не вызывает интереса – она возникла во время либо бурения, либо лабораторного хранения, имеет очень узкий спектр размагничивающих воздействий и выделяется очень ненадежно.

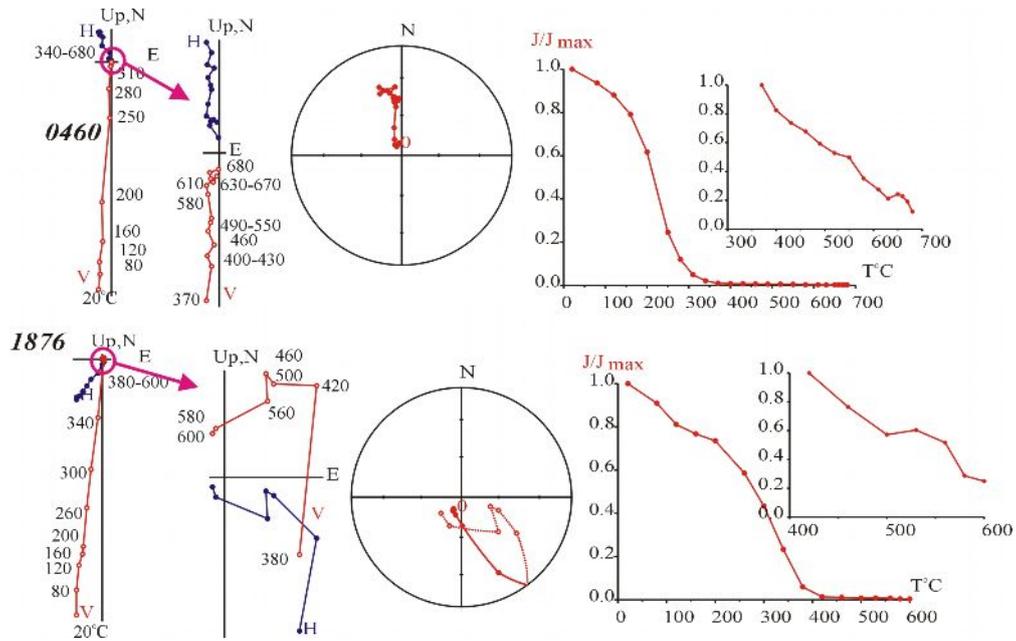


(рис. 17.1)

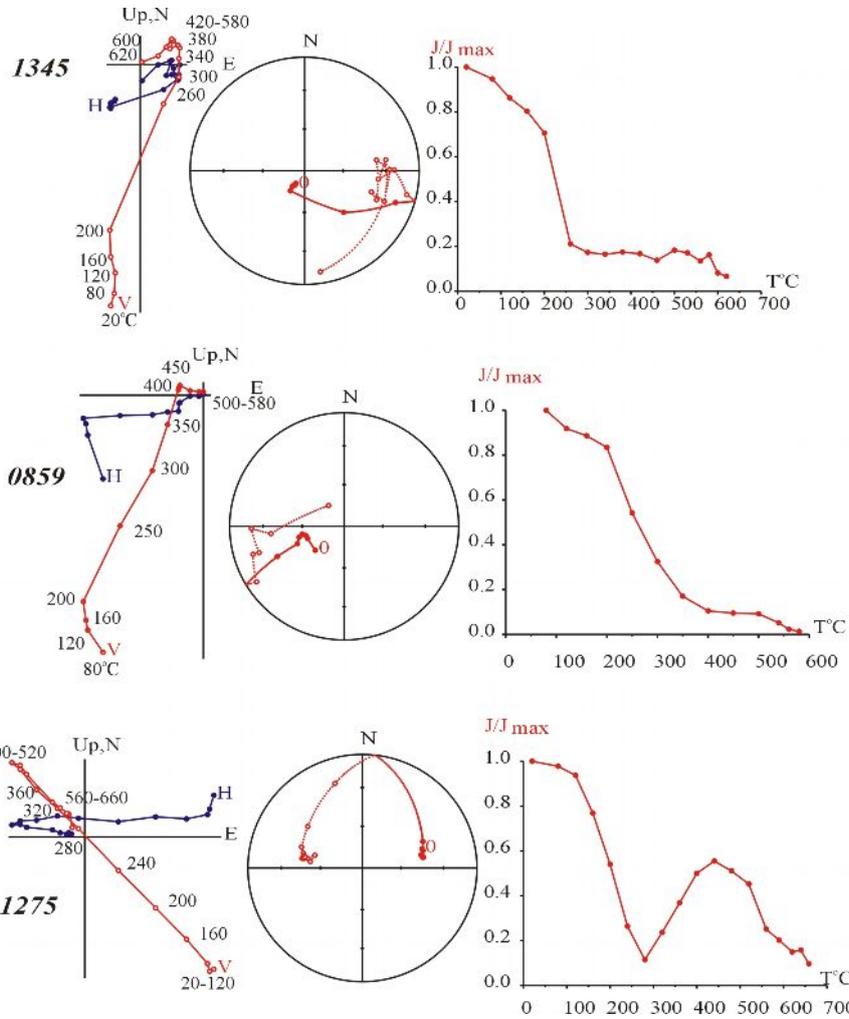
Образцы не ориентированы в горизонтальной плоскости. Обозначения см. на рис. 2.



(рис. 17.2)



(рис. 17.3)



(рис. 17.4)

Рис. 17. (1 – 4). Продолжение чистки образцов из керна скважины 12А/1



- область диаграммы Зийдервельда, увеличенная в 50 - 100 раз.

К двум другим – средне- и высокотемпературной компонентам А и В – был применен новый метод ориентирования керн в пространстве, описанный выше. Некоторое различие заключается лишь в том, что мы не знали заранее среднее направление нормали к кругу, проведенному через два полученных направления. Поэтому склонения нормалей к кругам размагничивания всех образцов были повернуты так, чтобы они совпали с произвольным, но одинаковым для всех образцов направлением (например, 180°). После этого вся полученная конфигурация компонент А и В вращалась вокруг вертикальной оси таким образом, чтобы склонение среднего направления компоненты А (предположительно, направление современного перемангничивания) оказалось равным 0.

Компонента А, сориентированная таким способом, дала кучное распределение со средним направлением $D = 0.0^\circ$, $I = 78.8^\circ$, $N = 75$, $k = 12.3$, $\alpha_{95} = 4.9^\circ$, что хорошо согласуется с предположением о ее современном возрасте – направление современного поля в точке отбора ($D = 0.0^\circ$, $I = 74.8^\circ$) лежит внутри круга доверия этой компоненты (табл. 4, рис. 18).

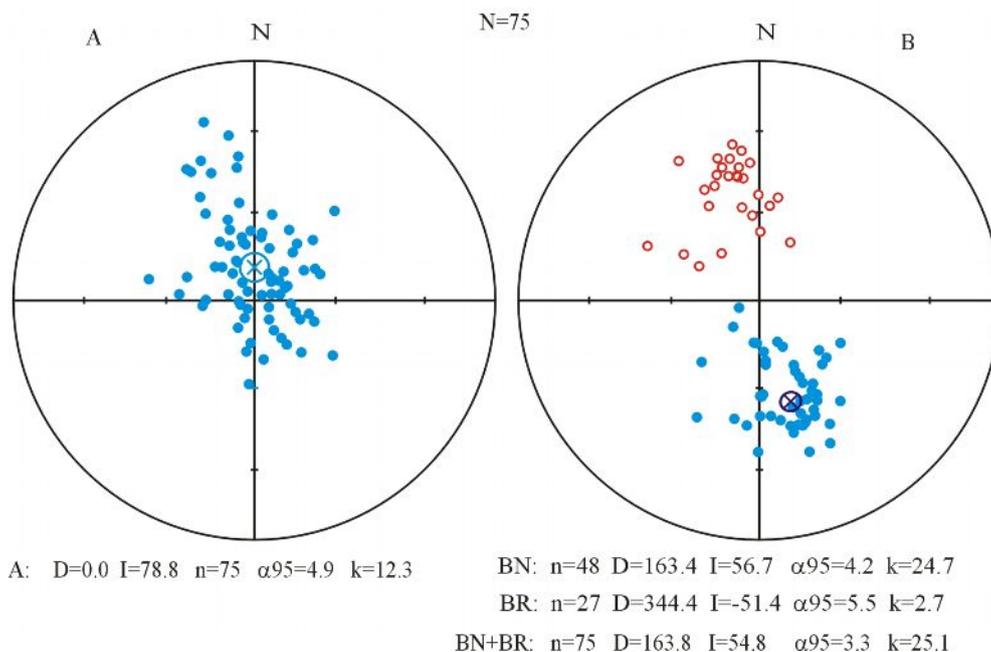


Рис. 18. Распределения среднетемпературной (слева) и высокотемпературной (справа) компонент намагниченности в кайнозойских порода скважины 12А/1

Обозначения см. на рис. 3.

Высокотемпературная компонента В после ориентирования также дала кучное биполярное распределение с положительным тестом обращения, класс В: угол между N и обращенным R направлениями составляет 5.3° , критический угол - 6.9° (табл. 4, рис. 18) Рассчитанный по этому направлению палеомагнитный полюс ($\Phi = 7.7^\circ$, $\Lambda = 56.5^\circ$, $dp = 3.3^\circ$,

$dm = 4.7^\circ$) близок полюсам, полученным для вторичной компоненты В вендских пород Беломорья (табл. 3, табл. 4, рис. 19). Небольшое их различие можно объяснить разновозрастностью полученных направлений – кайнозойское направление биполярно, тогда как направление перемагничивания вендских пород имеет лишь одну полярность, то есть оно было кратковременным – видимо, в течение одной зоны прямой полярности.

Таблица 4
Средние направления компонент, выделенных в разрезе кайнозоя скважины 12А/1

Компонента	n	D	I	K	α_{95}	Тест
A	75	0.0	78.8	12.3	4.9	
B(N)	48	163.4	56.7	24.7	4.2	
B(R)	27	344.4	-51.4	26.7	5.5	
B=B(N)+B(R)	75	163.8	54.8	25.1	3.3	R+(B)

Обозначения см. табл. 1.

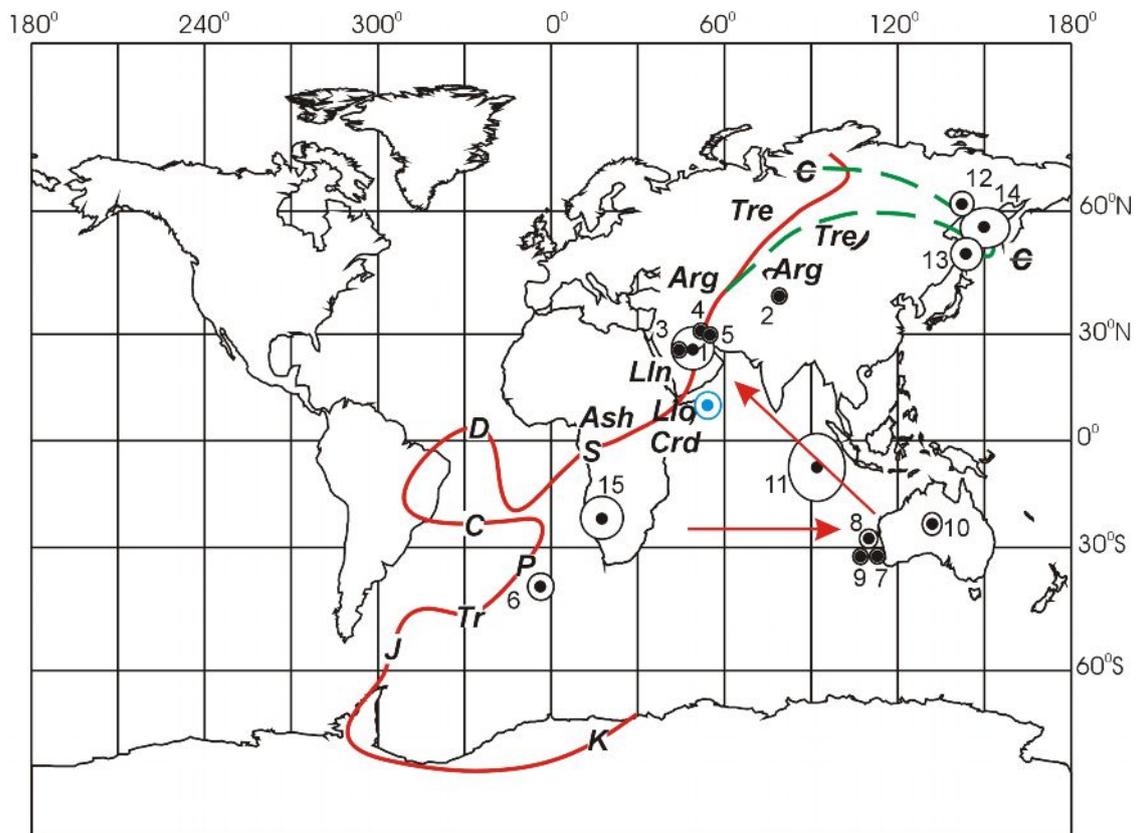


Рис. 19. Траектория кажущейся миграции южного палеомагнитного полюса Балтики согласно [Smethurst et al., 1998], альтернативные полюсы для венда (номера полюсов соответствуют номерам в табл. 3) и полюс, полученный для кайнозойских пород скважины 12А/1 (показан синим цветом)

Таким образом, факт перемагничивания вендских пород во время кайнозоя можно считать доказанным:

- получено направление среднетемпературной компоненты перемагничивания вендских пород (компонента В) - после- или синскладчатое, природа складок – гляциодислокации;
- получено направление характерной высокотемпературной биполярной компоненты В кайнозойских пород;
- эти направления и соответствующие им палеомагнитные полюсы близки.

Тогда полученные результаты вынуждают озвучить две вытекающие отсюда острые проблемы:

1. странное направление компоненты В для кайнозоя;
2. совпадение палеомагнитного полюса, соответствующего этому направлению с ордовикским участком ТКМПП Балтики.

Решение этих проблем не лежит на поверхности: трудно предположить поворот Балтики в течение кайнозоя на угол порядка 160° ; трудно предположить виртуальный характер кайнозойского направления – оно биполярное и выделяется на глубинах от 0 до 120 м, причем зоны различной полярности выделяются по всей мощности, то есть охватывают достаточный для осреднения промежуток времени; трудно предположить доордовикскую складчатость вендских пород; трудно предположить ордовикское перемагничивание венда так как выделенные в них пермские направления (компонента С) и однозначные результаты теста складки говорят в пользу более молодого, чем пермское, перемагничивания; отсутствуют другие данные, подтверждающие или однозначно опровергающие полученные нами направления; вынужденно приходится предположить хотя бы принципиальную возможность перемагничивания части ордовикских пород в более позднее (кайнозойское) время.

Выводы

Более 800 образцов поздневендских осадочных пород, отобранных из естественных обнажений и керна скважины, и более 200 образцов из керна кайнозойской скважины прошли полный цикл палеомагнитных исследований. Изучено более 400 м мощности классических разрезов позднего венда – раннего кембрия и более 100 м разреза кайнозоя севера Русской платформы. В результате исследований установлен многокомпонентный состав J_n всех изученных пород. Предложен и опробован новый способ ориентирования керна скважин в пространстве. Получен патент на его изобретение RU №2298209 С2. Применение этого способа позволило восстановить распределения компонент J_n для

образцов керна как вендской, так и кайнозойской скважин. Две среднетемпературные компоненты, выделенные в вендских породах, имеющие различные блокирующие температуры, связаны с разновозрастным перемагничиванием. Распределения направлений вторичной и первичной компонент вендской скважины практически совпали с соответствующими распределениями, полученными в естественных обнажениях. Высокотемпературная биполярная компонента характеризуется положительными тестами складки, обращения и корреляции и, по всей видимости, имеет вендский возраст. По направлению этой компоненты в разрезе котлинского горизонта верхнего венда – нижнего кембрия выделено 27 зон прямой и 28 зон обратной полярности. Корреляция разрезов скважины и естественных обнажений показала высокую сходимость результатов. В кайнозойских породах выделены две компоненты намагниченности, одна из которых близка направлению современного поля, другая – одному из направлений перемагничивания вендских разрезов. Таким образом, получена нижняя оценка времени этого перемагничивания. Высокая надежность полученных данных позволяет внести существенные коррективы в рамки возможных положений ТКМПП Балтики для интервала верхнего венда – нижнего кембрия и выполнить реконструкцию палеогеографического положения Балтики и Лаврентии для исследованного геологического времени.

Благодарности

Авторы выражают огромную благодарность Владимиру Бутикову и Елене Голубковой за помощь при проведении полевых работ на р. Золотица, Татьяне Румянцевой за предоставление коллекции образцов скважин «Верхотина» и 12А/1, Manuela Wise за выполнение VFTB–экспериментов и постоянную поддержку во время проведения лабораторных исследований, а также Александру Иосифиди за конструктивную критику и обсуждение полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке INTAS, проект 97-1204 и Программы N5 Отделения Наук о Земле РАН.

Литература

Федонкин М.А. Беломорская биота венда. Москва: Наука, 1981, 98 с.

Федонкин М.А. Систематическое описание вендских метазоа // Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. В.1. Палеонтология. Москва: Наука, 1985. С. 70 - 106.

Гражданкин Д.В., Бронников А.Д. Новое местонахождение остатков поздневендских организмов на Онежском полуострове. Доклады РАН. В. 357, №6, 1997. С. 792 - 796.

Попов В. Палеомагнетизм верхневендских осадочных пород в разрезе по р. Золотица (Зимний Берег Белого моря) // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. Материалы семинара, Борок 18 - 23, 10, 2001. Москва: Геос, 2001. С. 71 - 73.

Попов В., Храмов А. Палеомагнетизм верхневендских осадочных пород Зимнего Берега Белого Моря по результатам исследования керн скважин; Новый способ ориентирования керн скважин в пространстве // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. Материалы семинара, Борок 19-22, 10, 2002. Москва: Геос, 2002. С. 74 - 76.

Станковский А.Ф., Веричев Е.М., Добейко Л.П. Венд юго-восточного Беломорья // Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. В.2. Стратиграфия и геологические процессы. Москва: Наука, 1985. С. 67 - 76.

Bylund G. Palaeomagnetism of the Vendian-Early Cambrian sedimentary rocks from E. Finmark, Norway. Tectonophysics, 231, 1994. С. 45 - 57.

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

Fisher R. A. Dispersion on a sphere. Proceedings Royal Society London, Ser. A, No 217, 1953. P. 295 - 305.

Grazhdankin D.V. The Ediacaran genus *Inaria*: a taphonomic/morphodynamic analysis// N. Jb. Geol. Palaont. abh. V. 47, 2000, p. 279 - 308.

Iglesia M. P. L., Tait J. A., Popov, V. V., Abalmassova A. Palaeomagnetic Data from Vendian Sediments of the Arkhangelsk region, NW Russia: An Alternative Apparent Polar Wander Path of Baltica for the Late Proterozoic-Early Palaeozoic // Earth and Planetary Science Letters 240, 2005. P. 732 – 747.

Iosifidi A. G., Khramov A. N. Paleomagnetism of the Upper Carboniferous and Lower Permian Deposits of the East European Platform: A Key Paleomagnetic pole and Kinematics of Collision with Urals. Izvestiy, Physics of the Solid of Earth. Vol. 38, No.5, 2002. P. 389 - 403. Translated from *Fisika Zemli*. No. 4, 2002. P. 42 - 56.

Iosifidi A. G., Khramov A. N., Bachtadse V. Multicomponent magnetization of the Vendian sedimentary sequences of Podolia, Ukraine. Russian Journal of Earth Sciences, submitted. 2004.

Kirschvink J. L. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. Geophys. J. Roy. Astronom. Soc. v. 62, 1980. P. 699 - 718.

Martin M.W., Grazhdankin D.V., Bowring S.A., Evans D.A. D., Fedonkin M.A., Kirschvink J. L. Age of Neoproterozoic bilaterian body and trace fossils, White Sea, Russia: implications for Metazoan evolution. Science, v. 288, 5 May, 1999. P. 841 - 845.

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

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

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

Meert J.A., Torsvik T.H., Eide E.A., Dahlgren S. Tectonic significance of the Fen Province, S. Norway: Constraints from geochronology and palaeomagnetism. *Journal of Geology*, 106, 1998. P. 553 - 564.

Meert J.G., Van der Voo R. Palaeomagnetism of Catoclin volcanic province: A new Vendian-Cambrian apparent polar wander path for North America. *J. Geophys. Res.*, V. 106, NO. B3, 1994. P. 4625 - 4641.

Opdyke N. D. and Channell J.E.T. Magnetic stratigraphy. Academic Press. 1994.

Perroud H. Robardet M., Bruton D.L. Palaeomagnetic constraints upon the palaeogeographic position of the Baltic Shield in the Ordovician. *Tectonophysics*, 201, 1992. P. 97 - 120.

Piper J.D.A. Magnetic properties of the AlnØn Complex. *Geol. Foeren. Stockh. Foerh.*, 103, 1981. P. 9 - 15.

Piper J.D.A. Palaeomagnetism of late Vendian early Cambrian minor alkaline intrusions, Fen Complex, south Norway. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 90, 1988. P. 422 - 430.

Popov V., Iosifidi A., Khramov A., Tait J., Bachtadse V. Paleomagnetism of Upper Vendian sediments from the Winter Coast, white Sea Region, Russia: implications for the paleogeography of the Baltica during Neoproterozoic times. *J. Geophys. Res.*, 107, b11, 2315, doi: 10.1029/2001JB001607. 2002.

Poorter R P.E. Preliminary palaeomagnetic results from Fen Carbonatite complex, S. Norway. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 17, 1972. P. 194 - 198.

Shchukin V.S., Sablukov S.M., Sablukova L.I., Belousova E.A., Griffin W.L. Late Vendian aerial alkaline volcanism of rift type in the Zimny Bereg kimberlite area (Arkhangelsk diamondiferous province). In: *Deep-seated magmatism, magmatic sources and the problem of plumes*. 2002. P. 203 - 212.

Shipunov S.V., Chumakov N.M. Palaeomagnetism of Upper Proterozoic deposits of the Kola Peninsula, *Geotectonics* 25(5), 1991. P. 401 - 410.

Smethurst M.A., Khramov A.N., Pisarevsky S.A. Palaeomagnetism of the Lower Ordovician Orthoceras Limestone, St. Petersburg, a revised drift history for Baltica in the early Palaeozoic. *Geophys. J. Int.*, v. 133, 1998. P. 44 - 56.

Tarling D.H., Hrouda F. The magnetic anisotropy of rocks. St Edmundsbury Press Ltd, Bury St Edmunds, Suffolk. 1993.

Torsvik T.H., Rehnstrom E.F. Cambrian palaeomagnetic data for Baltica: implications for true polar wander and Cambrian palaeogeography. *J. Geol. Soc. London*, 158, 2001. P. 321 - 329.

Torsvik T. H., Roberts D., Siedlecka A. Palaeomagnetic data from sedimentary rocks and dolerite dykes, Kildin Island, Rybachi, Sredni and NE Norway: A review. *Nor. geol. unders, Spec. Publ.*, 7, 1995. P. 315 - 326.

Torsvik T.H., Smethurst M.A. Plate tectonic modeling: virtual reality with GMAP. *Computers and Geosciences*, v25, 1999. P. 395 - 402.

Torsvik T.H., Smethurst M.A., Meert J. G., Van der Voo R., McKerrow W. S., Brasier M. D., Sturt B. A., Walderhaug H. J. Continental break-up and collision in the Neoproterozoic and Palaeozoic—a tale of Baltica and Laurentia. *Earth-Science Review*, v. 40, 1996. P. 229-258.

Torsvik T.H., Trench A. Ordovician magnetostratigraphy: Llanvirn-Caradoc Limestones of the Baltic platform. *Geophys. J. Int.*, 107, 1991a. P. 171 - 184.

Torsvik T.H., Trench A. The Lower-Middle Ordovician palaeofield of Scandinavia: southern Sweden “revisited”. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 65, 1991b. P. 283 - 291.

Torsvik T.H., Van der Voo R., Meert J. G., Mosar J., Walderhaug H. J. Reconstructions of the continents around the North Atlantic at about the 60th parallel. *Earth Planet. Sci. Lett.* 187, 2001. P. 55 - 69.

Van der Voo R. The reliability of palaeomagnetic data. *Tectonophysics*, v. 184, N1, 1990. P. 1 - 9.

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

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

Рецензент: Шашканов Владимир Александрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор.