

УДК 550.858.5

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ НИЖНЕГО КЕМБРИЯ ДОЛИНЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ЛЕНА – НОВЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НА КРИВУЮ КАЖУЩЕЙСЯ МИГРАЦИИ ПОЛЮСА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В НАЧАЛЕ ФАНЕРОЗОЯ

© 2004 г. В. Э. Павлов¹, И. Галле², А. В. Шацилло¹, В. Ю. Водовозов¹

¹Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

²Парижский институт физики Земли, Национальный центр научных исследований

Поступила в редакцию 25.06.2002 г.

Выполнены детальные палеомагнитные исследования опорных разрезов нижнего кембрия Сибирской платформы, расположенных в пределах Чекуровской и Булкурской антиклиналей на крайнем северо-востоке Сибирской платформы. Показано, что основная масса пород, слагающих изученные разрезы (включая вулканические потоки основного состава) полностью перемагничена мезозойским геомагнитным полем. Время перемагничивания (уверенно для Чекуровского разреза и, с большой долей вероятности, для Булкурского разреза) отвечает периоду складчато-надвиговых деформаций, имевших место на исследуемой территории в конце мелового периода в связи с формированием Хараулахского сегмента Верхоянской складчатой области. Рассмотрены две возможные интерпретации полученных палеомагнитных направлений. Показано, что какой бы вариант интерпретации не был выбран, соответствующие палеомагнитные полюсы хорошо согласуются с кривой кажущейся миграции полюса, предложенной Бессом и Куртийо [Besse, Courtillot, 2002] для “стабильной Европы”. Также непосредственной близости от одновозрастных участков этой кривой лежат позднеюрский полюс Кондерского массива (впервые опубликованные данные) и средний пермотриасовый полюс Сибирской платформы [Веселовский и др., в печати]. Полученный результат означает, что, по крайней мере, с конца палеозоя Северо-Евразийская плита представляет собой жесткое (в пределах точности палеомагнитного метода) образование и европейская кривая кажущейся миграции полюса может использоваться в качестве референтной для Сибирской платформы.

В породах верхевендской-нижнекембрийской части Чекуровского разреза, расположенной стратиграфически ниже вулканического покрова, в ходе палеомагнитных исследований выделены древние компоненты, отвечающие “храмовскому” и “киршвинковскому” палеомагнитным направлениям. Существование последнего рядом исследователей ранее ставилось под сомнение, и полученный результат является независимым подтверждением его реального существования. Полученный результат имеет большое значение, поскольку “киршвинковское” направление и соответствующий полюс являются одним из “краеугольных камней” гипотезы ИТРВ [Inertial Interchange True Polar Wander, Kirschvink et al., 1997], предполагающей значительное (порядка 90°) и быстрое (за время 20–25 млн. лет) истинное смещение оси вращения Земли относительно поверхности нашей планеты в начале кембрия.

Показано, что ни одна из этих компонент в настоящее время не может с уверенностью рассматриваться как вторичная. Предложена гипотеза, согласно которой наблюдаемое распределение палеомагнитных направлений в нижнекембрийских разрезах может являться отражением особого поведения геомагнитного поля начала фанерозоя.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на неоднократные попытки определить положение раннекембрийского палеомагнитного полюса Сибирской платформы, этот вопрос до настоящего времени остается открытым. После того, как к началу 1980-х годов был получен ряд палеомагнитных определений, более или менее хорошо согласующихся друг с другом и недалеко отстоящих от средне-позднекембрийских полюсов Сибирской платформы [Храмов и др., 1982], в 1984 г. Киршвинком и Розановым [Kirsch-

vink, Rozanov, 1984] был опубликован парадоксальный результат, указывающий на возможность значительного (более 65°) смещения палеомагнитного полюса в течение относительно короткого интервала времени, захватывающего ботомский, тойонский и, возможно, частично амгинский века кембрийского периода. Наряду с некоторыми палеомагнитными данными по Австралии и Северной Америке, полученное Киршвинком и Розановым определение послужило основанием для выдвигания Киршвинком с соавторами [Kirschvink

et al., 1997] гипотезы ИТРВ (Inertial Interchange True Polar Wander). Согласно этой гипотезе, в результате перераспределения масс в литосфере и в мантии в раннем кембрии произошла смена осей инерции Земли – ось, соответствующая максимальному моменту инерции стала осью с промежуточным моментом и наоборот. Смена осей явилась причиной быстрого (в течение времени порядка 15–20 млн. лет) смещения литосферы и мантии относительно оси вращения Земли, т.е. привела к значительному истинному смещению полюса относительно поверхности планеты. В дальнейшем эта гипотеза и палеомагнитные результаты, лежащие в ее основе, неоднократно критиковались, само существование “киршвинковского” направления ставилось под сомнение [Smethurst et al., 1998; Meert, 1999]. Более того, в 1997 г. Писаревским с соавторами [Pisarevsky et al., 1997] были опубликованы данные, полученные с использованием современных аппаратурных и методических возможностей, которые подтверждали традиционное “храмовское” [Храмов и др., 1982] положение раннекембрийского палеомагнитного полюса Сибири.

Однако к концу 2001 г. были получены новые независимые результаты [Pavlov et al., 2001], косвенно подтверждавшие реальность “киршвинковского” направления.

Таким образом, вопрос о положении раннекембрийского полюса Сибирской платформы является остродискуссионным. Помимо тестирования гипотезы ИТРВ нахождение этого полюса имеет большое значение для выполнения позднекембрийских – раннефанерозойских тектонических реконструкций, для стыковки трендов палеомагнитных полюсов, уже полученных для фанерозоя и для части рифея Сибирской платформы, для тестирования гипотезы позднепротерозойского суперконтинента Родиния и проч.

Важно отметить, что в ходе проведенных палеомагнитных исследований выявилось и другое противоречие, касающееся характера изменения полярности геомагнитного поля в раннем кембрии. В тех работах, где получены “храмовские” палеомагнитные направления, определяется преимущественно обратная полярность геомагнитного поля, прерываемая редкими интервалами прямой полярности. Данные Киршвинка и Розанова, напротив, указывают на достаточно высокую частоту геомагнитных инверсий в раннем кембрии и на сопоставимую суммарную длительность периодов прямой и обратной полярности. Очевидно, что разрешение этого противоречия имеет большое значение для построения шкалы магнитной полярности нижнего палеозоя, для понимания характера эволюции магнитного поля Земли в фанерозое.

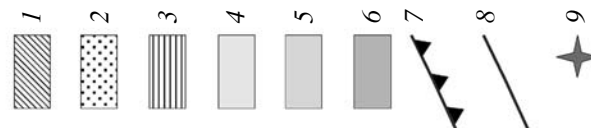
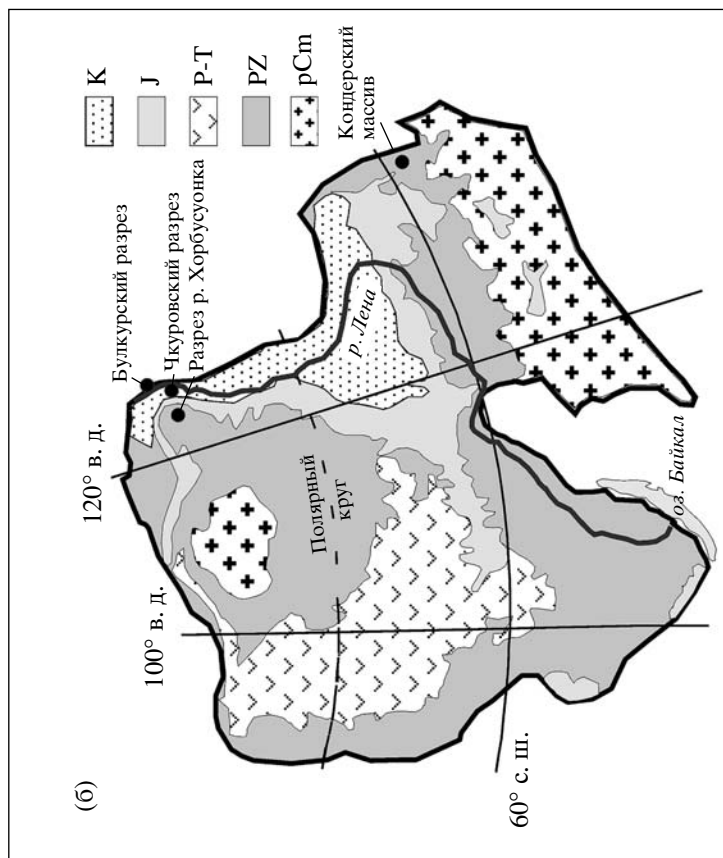
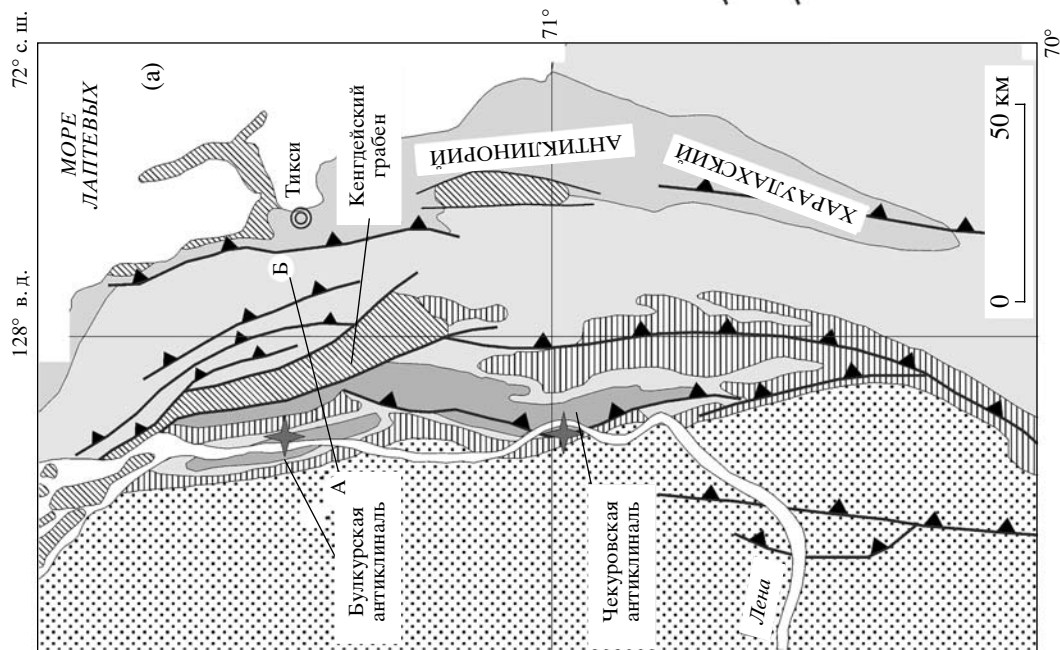
В 1995–2001 гг. нами были выполнены палеомагнитное исследование нижнекембрийских опорных разрезов, вскрытых в долине нижнего течения р. Лена (рис. 1). Целью этих работ являлось получение информации о положении Сибирского кратона в начале кембрийского периода и определение перспективности опробованных пород для постановки детальных магнитостратиграфических исследований.

Лабораторные исследования образцов из Булкурской и Чекуровской антиклиналей показали, что кембрийские части этих разрезов в значительной степени перемагничены мезозойским полем, причем (по крайней мере, в случае Чекуровской антиклинали), это перемагничивание произошло во время складчато-надвиговых деформаций, имевших место в конце мелового периода. Полюсы, соответствующие выделенным мезозойским компонентам намагниченности, наряду с двумя другими ранее полученными мезозойскими полюсами Сибирской платформы были использованы при рассмотрении вопроса о жесткости Северо-Евразийской плиты в послепалеозойское время и о возможности использования европейской кривой кажущейся миграции полюса (КМП) в качестве референтной по отношению к Сибирской платформе.

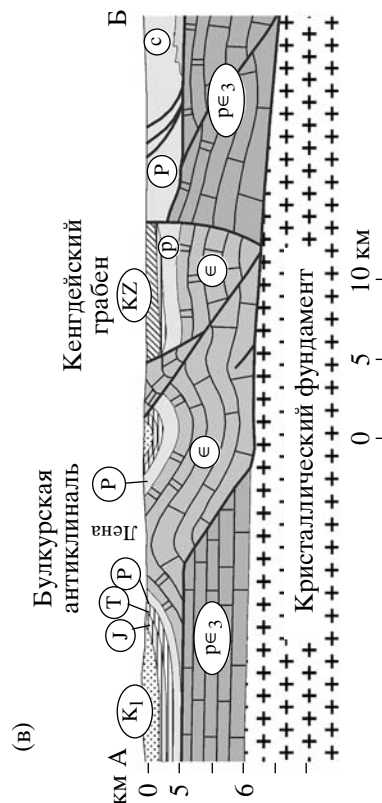
При изучении верхневендской-нижнекембрийской части Чекуровского разреза нами были получены новые данные, имеющие непосредственное отношение к решению вопроса о положении раннекембрийского палеомагнитного полюса Сибирской платформы. Результаты выполненных работ представлены в настоящей статье.

ГЕОЛОГИЯ

В ходе полевых работ 1995 и 2000 гг. нами было детально изучены два разреза. Один из них обнажается в пределах Чекуровской антиклинали на левом берегу р. Лена в районе пос. Чекуровка, другой – вскрыт в нескольких десятках километров севернее, на правом берегу р. Лена выше устья ручья Улахан-Алдьярхай в ядре Булкурской антиклинали (рис. 1). Изученные разрезы [Розанов и др., 1992; Репина и др., 1974; Bowring et al., 1993] представляют вендкембрийскую последовательность осадочных пород, участвующих в строении Хараулахских гор, расположенных на крайнем северо-востоке Сибирской платформы в зоне сочленения ее с Верхоянской складчатой областью. Породы нижнего кембрия налегают со стратиграфическим несогласием на разные уровни поздневендской харауттехской свиты, представленной (в своей верхней части) в Чекуровском обнажении известняками и доломитами светло-серыми, темными, изредка красноватыми, а в пределах Булкурской антиклинали – доломитами, черными известковыми сланцами, известняками.



Геологический разрез по профилю А-Б



Далее вверх изученный нами в районе пос. Чекуровка разрез включает породы кембрийских тюсерской, сэктэнской и маяктахской свит (рис. 2). Средне-верхнекембрийская огоньорская свита, согласно залегающая на маяктахской свите, и выше лежащие породы этого разреза нами изучены не были.

Тюсерская свита Чекуровской антиклинали в своей нижней части представлена песчаниками и алевролитами серыми и зеленовато-бурыми, выше по разрезу переходящими в красно-бурые конгломераты с хорошо окатанной галькой кислых кварц-полевошпатных порфиров, гранит-порфиров, ортофиров вулканического или гипабиссального происхождения. Цементом служат кварцевые песчаники. Конгломераты перекрыты диабазовым лавовым покровом мощностью до 30 м. Далее идут известняки и глинистые известняки с прослоями карбонатных песчаников. Цвет пород – коричневатый, зеленовато-серый, иногда красновато-бурый. Согласно [Розанов и др., 1992], формирование тюсерской свиты происходило в течение томмотского, атдабанского и начала ботомского веков раннего кембрия. Мощность свиты около 200 м.

Сэктэнская свита согласно сменяет тюсерскую. Она состоит из известняков массивных, детритовых с желваками битумов, глинистых. Встречаются прослой мергелей и аргиллитов. Цвет пород преимущественно серовато-зеленый, иногда светлорозовый. Мощность свиты около 60 м, время формирования – с ботомского века по вторую половину амгинского.

Последняя изученная нами в чекуровском разрезе свита – маяктахская. Эта свита образована главным образом плитчатыми глинистыми известняками серовато-зеленого и красного цвета, мощность свиты – около 60 м, временной интервал – конец амгинского – конец майского веков.

В обнажении, расположенном в районе устья ручья Улахан-Алдьархай (Булкурская антиклиналь), образцы для палеомагнитных исследований были отобраны из нижней трети тюсерской свиты (рис. 2). В этом разрезе нижняя часть опробованного интервала представлена кварц-полевошпатными песчаниками светлыми, зеленовато-серыми, желтоватыми с включением двух согласно залегающих тел долеритов.

Характер контактов долеритов с выше- и ниже лежащими породами, наличие на поверхности пластовых тел остатков коры выветривания [Би-

джиев и др., 1976], эрозионных карманов, а также присутствие непосредственно над долеритами конгломератов, содержащих их гальку, уверенно указывает на то, что рассматриваемые магматические тела представляют собой вулканические потоки, а не силлы и, следовательно, имеют нижнетюсерский (томмотский) возраст.

Далее по разрезу терригенные породы сменяются глинистыми массивными и комковатыми известняками и известковистыми алевролитами зеленовато-серого и кирпично-бурого цвета. Породы опробованной толщи отвечают нижним 2/3 томмотского яруса. Общая мощность изученного интервала разреза составляет (включая потоки) около 50 м.

Залегание пород в изученных нами обнажениях Чекуровской и Булкурской антиклиналей в первом приближении может быть охарактеризовано как моноклиналиное. При этом для Чекуровского разреза азимуты падения опробованных осадочных слоев меняются в пределах 250–310°, а углы падения – в пределах 20–40°. Соответствующие значения для Булкурского разреза составляют 50–90° и 15–35°

В тектоническом отношении изученные объекты принадлежат к пограничной зоне между Сибирской платформой и Хараулахским сегментом Западно-Верхоянского сектора Верхоянского складчатого пояса (рис. 1). Чекуровская и Булкурская антиклинали расположены практически на границе платформы, трассируемой в данном регионе вдоль субмеридионально вытянутой системы складчато-надвиговых структур.

По крайней мере, с позднего докембрия рассматриваемая территория представляла собой краевую часть Сибирской платформы и развивалась в режиме пассивной континентальной окраины. Коллизия Сибирского континента с Колымо-Омолонским супертеррейном, начавшаяся в конце поздней юры, привела к формированию складчатой структуры Западно-Верхоянского сектора. Складчатость началась на востоке, затем продвигалась к западу и завершилась в конце мелового периода образованием системы фронтальных складчато-надвиговых структур на границе с платформой. Чекуровская и Булкурская складки являются составными элементами этой системы и интерпретируются как рамповые антиклинали, образование которых связано со смещением по базальному надвигу осадочных толщ к западу на расстояние порядка 6 км

Рис. 1. Геологическое строение района работ (а, в) и географическое положение изученных объектов (б).

а, в: Отложения: 1 – кайнозойские, 2 – меловые, 3 – триасовые и юрские, 4 – пермские, 5 – каменноугольные, 6 – поздне-кембрийские и кембрийские; разрывные нарушения: 7 – надвиги, 8 – разломы; 9 – изученные разрезы нижнего течения р. Лена. б: К – меловые отложения; J – юрские отложения; P–T – пермо-триасовые траппы; PZ – палеозойский чехол; pCm – докембрийские образования (кристаллическое основание и рифейский чехол). а, б – по материалам [Тектоника..., 2001].

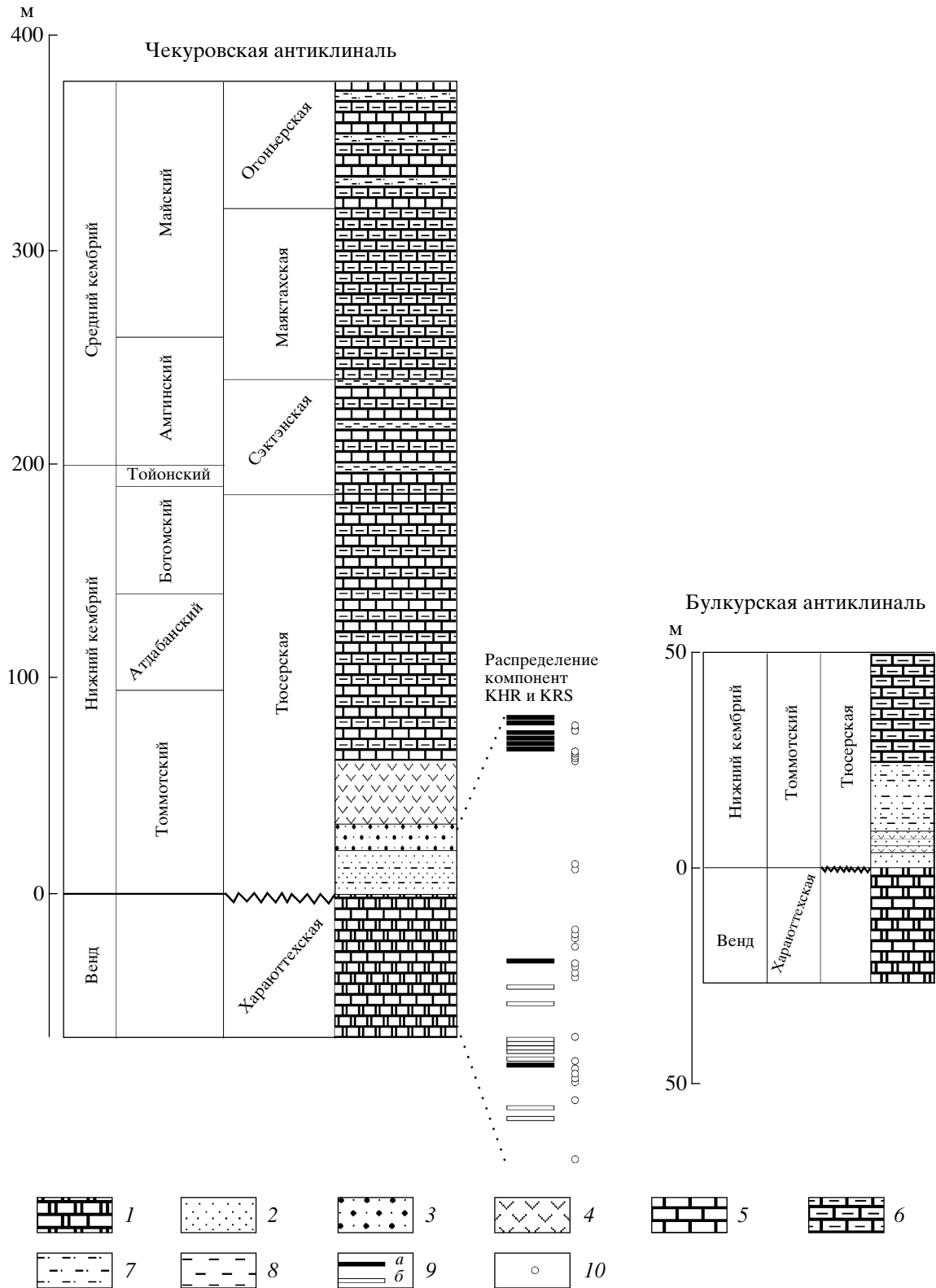


Рис. 2. Стратиграфия, литология изученных разрезов и характер распределения компонент KHR и KRS. 1- доломиты; 2 – песчаники; 3 – гальки в матриксе из песчаника; 4 – диабазы; 5 – известняки; 6 – глинистые известняки; 7 – алевролиты; 8 – аргиллиты; 9 – положение образцов с компонентой KRS: *a* – прямой полярности, *б* – обратной полярности; 10 – положение образцов с KHR-компонентой.

[Parfenov et al., 1995]. Базальный срыв предполагается между верхнекембрийскими отложениями и кристаллическим фундаментом на основании сейсмических данных и структурных соотношений [Тектоника..., 2001].

Важно отметить, что Чекуровская и Булкурская антиклинали фактически являются частями единой крупной линейной складки, протягивающейся с севера на восток на расстояние более ста километров. Эта складка имеет пологий шарнир, ось складки в южной части Чекуровской антиклинали имеет северо-северо-западное простирание, затем несколько отгибается к северо-северо-востоку, затем (в пределах Булкурской антиклинали) снова приобретает северо-северо-западное отклонение.

Временной интервал, внутри которого происходили складчато-надвиговые деформации можно оценить исходя из следующих данных. С одной стороны, самыми молодыми среди подвергнутых складчатости пород в рассматриваемом районе являются аптские отложения, с другой стороны, к востоку от надвигового фронта расположена серия впадин-грабен (Кенгдейская, Согинская, Кунгинская), заполненных палеоценовыми отложениями [Тектоника..., 2001]. Это означает, что на рассматриваемой территории на границе раннего и позднего мела и, возможно, в течение позднего мела существовал режим сжатия, который сменился к палеоцену на режим растяжения. Таким образом, формирование рассматриваемых структур происходило на границе раннего и позднего мела и/или на протяжении значительной части позднего мела.

Для правильной интерпретации палеомагнитных данных, которые могут быть получены по породам, слагающим Булкурскую и Чекуровскую антиклинали, важно иметь информацию о возможности вращений этих структур относительно Сибирской платформы и друг относительно друга. (Речь идет о вращении структур или их элементов относительно вертикальных осей). Западное крыло Булкурской антиклинали представляет собой фронтальную выполаживающуюся моноклиаль, сменяющуюся к западу практически недеформированными отложениями Сибирской платформы. В пределах этой моноклинали не найдены наложенные деформации, простирание пород здесь практически параллельно оси складки, сама ось не искривлена. Венд-кембрийское ядро складки выходит на поверхность в виде сплошной практически линейной полосы, не разбитой на части поперечными разломами, что следовало бы ожидать в случае вращения отдельных частей антиклинали при надвигании слагающих ее пород на Сибирскую платформу. Таким образом, данные картирования достаточно определенно указывают на отсутствие сколько-нибудь значительных латеральных (т.е. вокруг вер-

тикальных осей) вращений Булкурской антиклинали и ее частей.

Вышеприведенные соображения могут быть перенесены и на южную часть Чекуровской структуры (именно здесь выполнялось палеомагнитное опробование), ось которой почти параллельна оси Булкурской антиклинали. При этом можно допустить, что северная часть Чекуровской структуры, имеющая другое простирание (см. рис. 1), могла быть несколько развернута относительно Сибирской платформы во время надвигания, однако нельзя также исключить, что искривление этой части Чекуровской структуры было обусловлено не вращением, а наличием каких-то неоднородностей перед ее фронтом.

Ниже нами будут приведены некоторые палеомагнитные доводы, которые, по нашему мнению, также свидетельствуют в пользу отсутствия заметных относительных вращений Булкурской и Чекуровской структур.

ПАЛЕОМАГНИТНЫЙ АНАЛИЗ

Методика лабораторных исследований

Лабораторные палеомагнитные исследования и первичная обработка результатов выполнялись в Палеомагнитных лабораториях Института физики Земли РАН (г. Москва) и Парижского института физики Земли в соответствии со стандартной методикой с учетом методических разработок последних лет [Zijderveld, 1967; Храмов, 1982; Collinson, 1980; Kirschvink, 1980; McFadden, 1988; McFadden and McElhinny, 1990; Watson and Enkin, 1993; Enkin, 1994; Шипунов, 1999].

Все образцы были подвергнуты детальной температурной очистке, которая выполнялась до полного размагничивания образцов, или до того момента, когда величина намагниченности становилась соизмеримой с уровнем чувствительности измерительного прибора, или в ряде случаев до того момента, когда становилось очевидно, что вектор намагниченности в процессе очистки изменяется хаотически. Число шагов очистки составляло обычно не менее 10–12, в ряде случаев детальность очистки еще более увеличивалась. Для размагничивания образцов использовались специальные немагнитные печи с величиной нескомпенсированного поля не более 5–10 нТ. Измерения остаточной намагниченности производились на криогенных магнитометрах фирм 2G Enterprises и STF. Все лабораторные процедуры выполнялись в помещении, экранированном от внешнего магнитного поля. Обработка измерений выполнялась при помощи пакета программ Энкина [Enkin, 1994], использующего при выделении компонент намагниченности метод PCA [Kirschvink, 1980]. Для расчета точек пересечения малых кругов на стереограмме использовалась программа sc100 Шипунова С.В.

Компонентный состав намагниченности и распределение векторов

Чекуровский разрез

Осадочные породы

В целом породы Чекуровского разреза характеризуются сложной палеомагнитной записью. По характеру поведения вектора естественной остаточной намагниченности (ЕОН) в процессе термомагнитной чистки вся совокупность изученных образцов (305 штук) может быть разделена на следующие группы.

Первая группа объединяет образцы с хаотическим поведением вектора ЕОН, а также образцы, диаграммы Зийдервельда которых при наличии каких-то признаков регулярного поведения тем не менее не дают возможности выделить по ним сколько-нибудь уверенно компоненты намагниченности. Обычно образцы из этой группы обладают слабой величиной ЕОН $\sim 0.2\text{--}0.6$ мА/м.

Вторая группа включает образцы, где помимо низкотемпературной компоненты (современной или лабораторной вязкой) выделяется единственная компонента (рис. 3е–рис. 3з), векторы которой имеют в стратиграфической системе координат высокое ($\sim 70^\circ$) положительное наклонение и лежат преимущественно в I и в IV четвертях стереограммы (рис. 7а). Эта компонента (в дальнейшем мы ее будем называть MZ1 компонента) обычно разрушается в среднетемпературном интервале ($250\text{--}520^\circ\text{C}$), однако в некотором относительно небольшом количестве образцов эта компонента может проследиваться в область более высоких температур. Для простоты классификации в эту группу мы включили образцы, где компонента MZ1 является либо наиболее стабильной, либо после своего разрушения оставляет вектор ЕОН, меняющийся в процессе дальнейшей чистки хаотично. Таким образом, во вторую группу включены образцы, у которых компонента MZ1 является единственной (помимо малостабильной низкотемпературной) идентифицируемой.

Интересно отметить, что к этой группе относится большинство образцов из той части разреза, которая лежит стратиграфически выше потока долеритов и только небольшая часть образцов из нижележащей толщи. Намагниченность образцов этой группы меняется от нескольких десятых до первых единиц миллиамперов на метр.

Третья группа объединяет в себе образцы, в которых помимо низкотемпературной малостабильной компоненты и/или MZ1 компоненты уверенно фиксируется наличие более стабильных компонент, разрушающихся обычно при $500\text{--}600^\circ$ и выше (рис. 4а–рис. 4з). Присутствие этих компонент проявляется либо в виде прямолинейных сегментов диаграмм Зийдервельда, идущих в начало координат диаграммы, либо в виде в той или иной

мере “шумных” кругов перемагничивания, часто идущих на стереограммах из области, соответствующей MZ1 компоненте (рис. 5а–рис. 5г).

Рассмотрение распределения “конечных точек”, т.е. векторов, рассчитанных по прямолинейным конечным сегментам диаграмм Зийдервельда, идущим в начало координат диаграмм, указывает с очевидностью (рис. 6а, рис. 6б) на присутствие кластеров, отвечающих двум компонентам намагниченности. Вектор, отвечающий центру первого кластера (соответствующую компоненту будем в дальнейшем называть KHR-компонента) имеет север-северо-западное склонение и умеренно крутое наклонение. Второй кластер (соответствующую компоненту будем в дальнейшем называть KRS компонента) образуется из векторов разной полярности, имеющих северо-восточное (юго-западное) склонение и пологое наклонение (см. рис. 6а, рис. 6б). Притом, что кластеры на стереограммах четко отличаются друг от друга, между ними имеется несколько промежуточных точек. Поскольку с уверенностью определить принадлежность этих точек к тому или иному кластеру представляется затруднительным, при расчете средних направлений кластеров (табл. 1) эти точки не учитывались.

Заметное число образцов третьей группы дает в ходе чистки круги перемагничивания (рис. 5), не завершающиеся “конечными точками”, что можно объяснить либо начинающимися при прогреве магнитоминералогическими изменениями, либо слабостью палеомагнитного сигнала, становящегося сравнимым по величине с уровнем чувствительности магнитометра. Эти круги и соответствующие им нормали (рассчитаны по правосторонней конвенции) вынесены на рис. 6в, рис. 6г. Видно, что большая часть кругов (прямой и обратной полярности) проходит через область кластера KRS, при этом имеется некоторое количество кругов, идущих в область, антиподальную KHR компоненте.

Область пересечения кругов (как в стратиграфической, так и в географической системе координат) соответствует MZ1 компоненте. Образцы третьей группы присутствуют (за редким исключением) только в нижней части толщи, ниже потока долеритов, и являются наиболее магнитными по сравнению со всеми другими образцами. Величина их ЕОН составляет единицы–первые десятки миллиамперов на метр.

Поток долеритов и его экзоконтакт

Контакт долеритового потока с нижележащими песчаниками горячий, зона экзоконтакта четкая, определяется по изменению окраски пород, ее видимая мощность составляет 30–50 см. Из зоны экзоконтакта было отобрано 15 ориентиро-

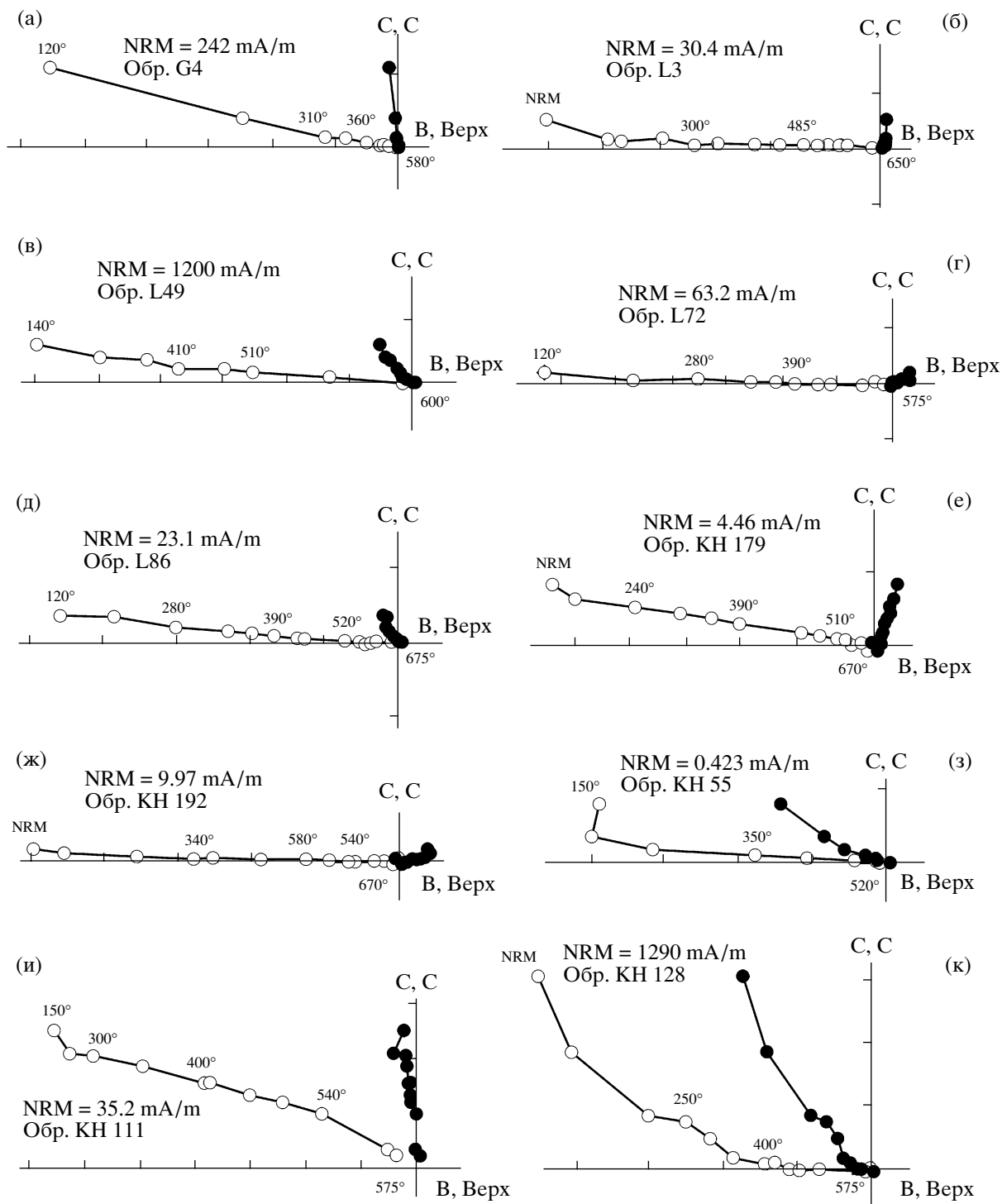


Рис. 3. Диаграммы Зийдверельда образцов: содержащих MZ2- компоненту (Булкур): (а), (б), (в) – галька, экзоконтакт, поток соответственно; (г), (д) – осадочные породы; MZ1 компоненту (Чекуровка): (е), (ж), (з).
 Диаграммы Зийдверельда образцов Чекуровского потока (к) и его экзоконтакта (и). Залитые кружки обозначают проекции векторов на горизонтальную плоскость, открытые кружки – проекции векторов на вертикальную плоскость. Диаграммы даны в географической (а)–(д) и стратиграфической (е)–(к) системах координат.

ванных образцов. Результаты температурной очистки (рис. 3и) указывают на двухкомпонентный состав намагниченности образцов экзоконтактной зоны. Менее стабильная компонента (темпера-

турный интервал разрушения 200–540°C) близка по направлению к MZ1 компоненте ранее рассмотренных пород, тогда как характеристическая компонента (в смысле наиболее стабильная, идущая

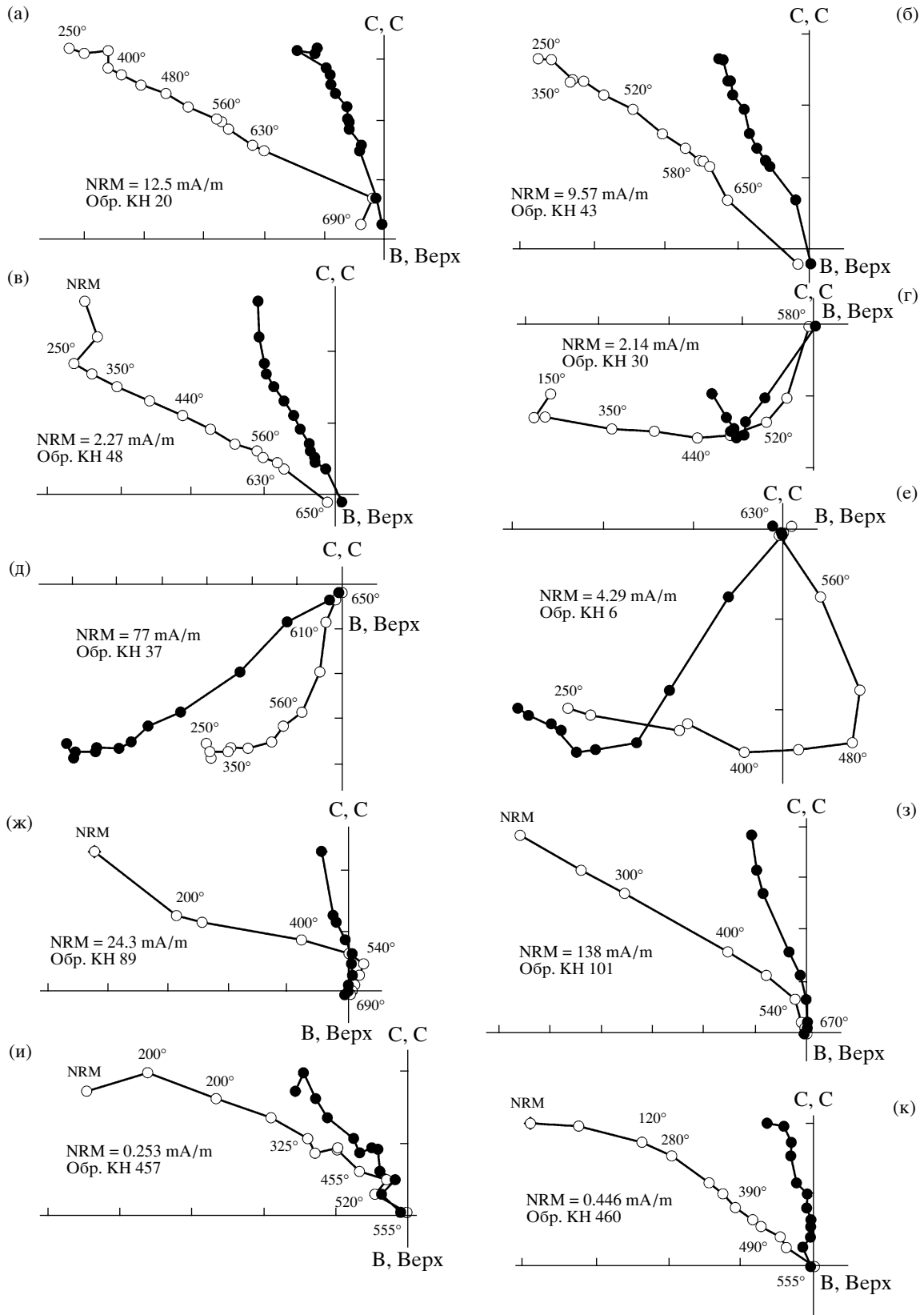


Рис. 4. Диаграммы Зийдверельда образцов: содержащих KHR- компоненту (а)–(в) – разрез Чекуровской антиклинали: (и), (к) – верхи венда разреза р. Хорбусуонка); содержащих KRS-компоненту прямой (г)–(е) и обратной (ж), (з) полярности; Здесь и далее залитые кружки обозначают проекции векторов на горизонтальную плоскость, открытые кружки – проекции векторов на вертикальную плоскость. Диаграммы даны в стратиграфической системе координат.

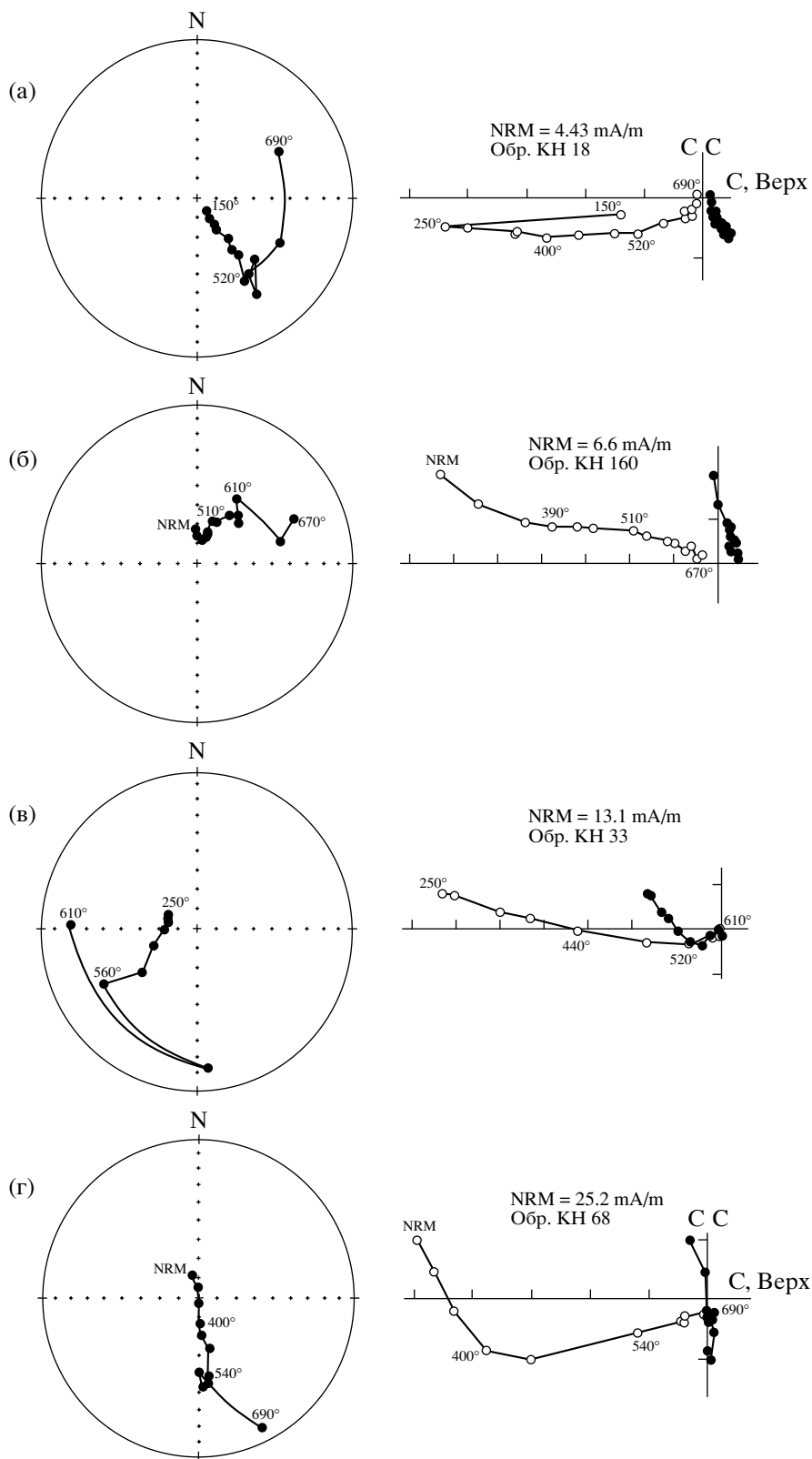


Рис. 5. “Храмовские” (а), “Кишвинковские” (б), (в) и промежуточные (г) тенденции смещения проекций векторов ЕОН, наблюдаемые в процессе температурной чистки образцов. Здесь и далее на всех стереограммах – залитые символы обозначают проекцию на нижнюю полусферу, открытые – на верхнюю.

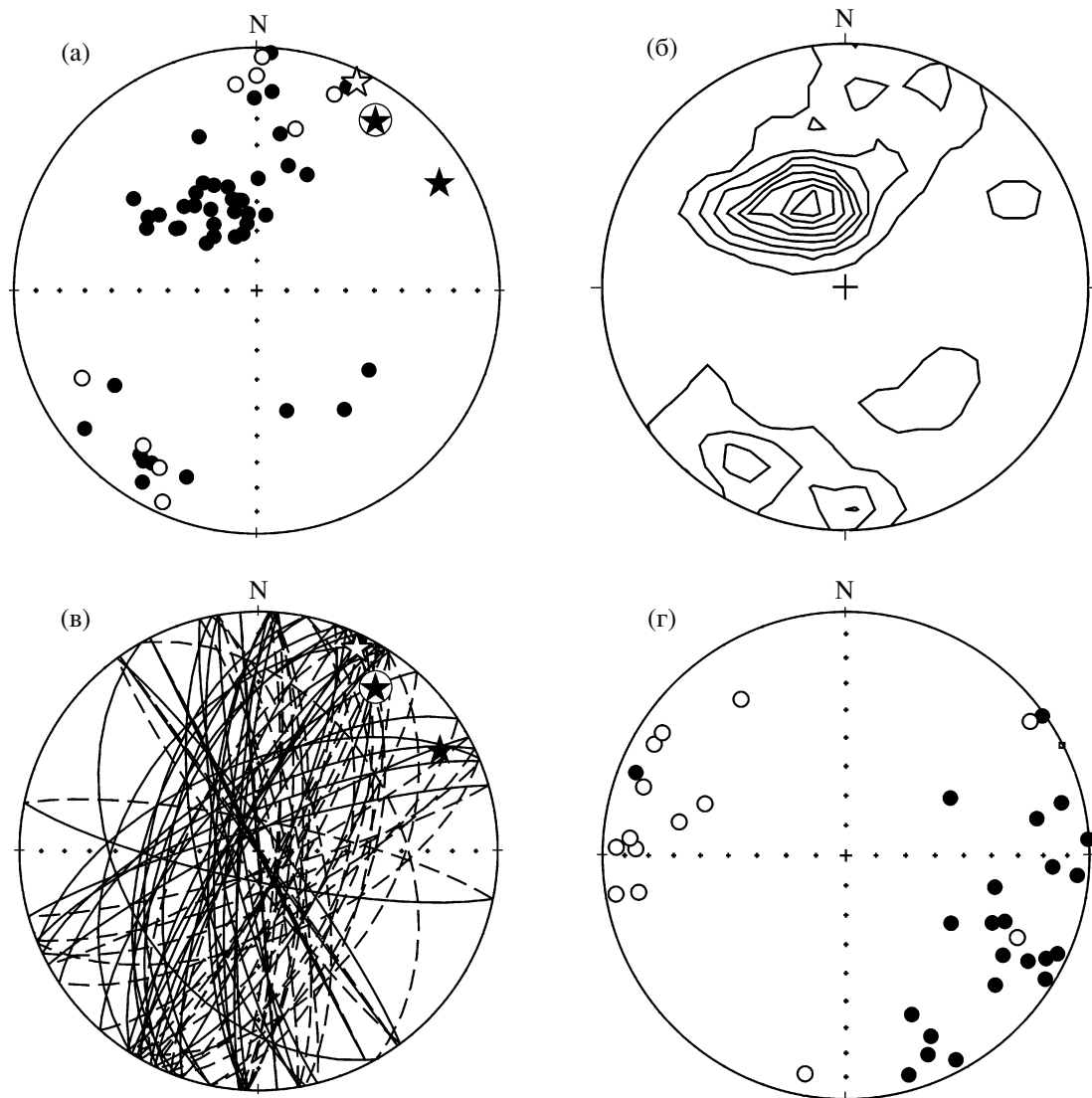


Рис. 6. Древние компоненты намагниченности в Чекуровском разрезе. Векторы характеристической компоненты (векторы MZ1 – компоненты на стереограмму не вынесены) в подпокрывной части разреза (а) и диаграмма, показывающая плотность их распределения (б). Круги переманчивания, полученные в процессе чистки (в), распределение нормалей к ним (г) – правосторонняя конвенция. Залитые звездочки на стереограммах (а) и (в) показывают ожидаемые для данного разреза “киршвинковские” направления [Kirschvink and Rozanov, 1984], залитые звездочки в кружочке – то же, но с учетом разворота Алданского блока в средне-позднепалеозойское время [Павлов, Петров, 1997]. Открытая звездочка показывает среднее направление группы векторов, отвечающих компоненте KRS.

щая в начало координат диаграммы Зийдервельда) имеет более пологое наклонение и близка к KHR компоненте (см. рис. 3 и табл. 1). Характер диаграмм Зийдервельда образцов экзоконтактной зоны дает основание предполагать наличие в значительной части образцов перекрытия спектра разблокирующих температур менее стабильной и характеристической компонент (рис. 3и). Таким образом, принимая во внимание близость компоненты KHR, выделенной в нижележащей части разреза, и характеристической компоненты,

мы полагаем, что последняя является компонентой KHR, контаминированной компонентой MZ1.

30 образцов было отобрано из разных уровней долеритового потока. ЕОН этих образцов также обычно имеет двухкомпонентный состав. Низкотемпературная компонента разрушается к 300°C, близка по направлению к современному геомагнитному полю и имеет, вероятно, вязкую природу. Высокотемпературная компонента имеет максимальные разблокирующие температуры, близкие к точке Кюри магнетита, и близка по направлению

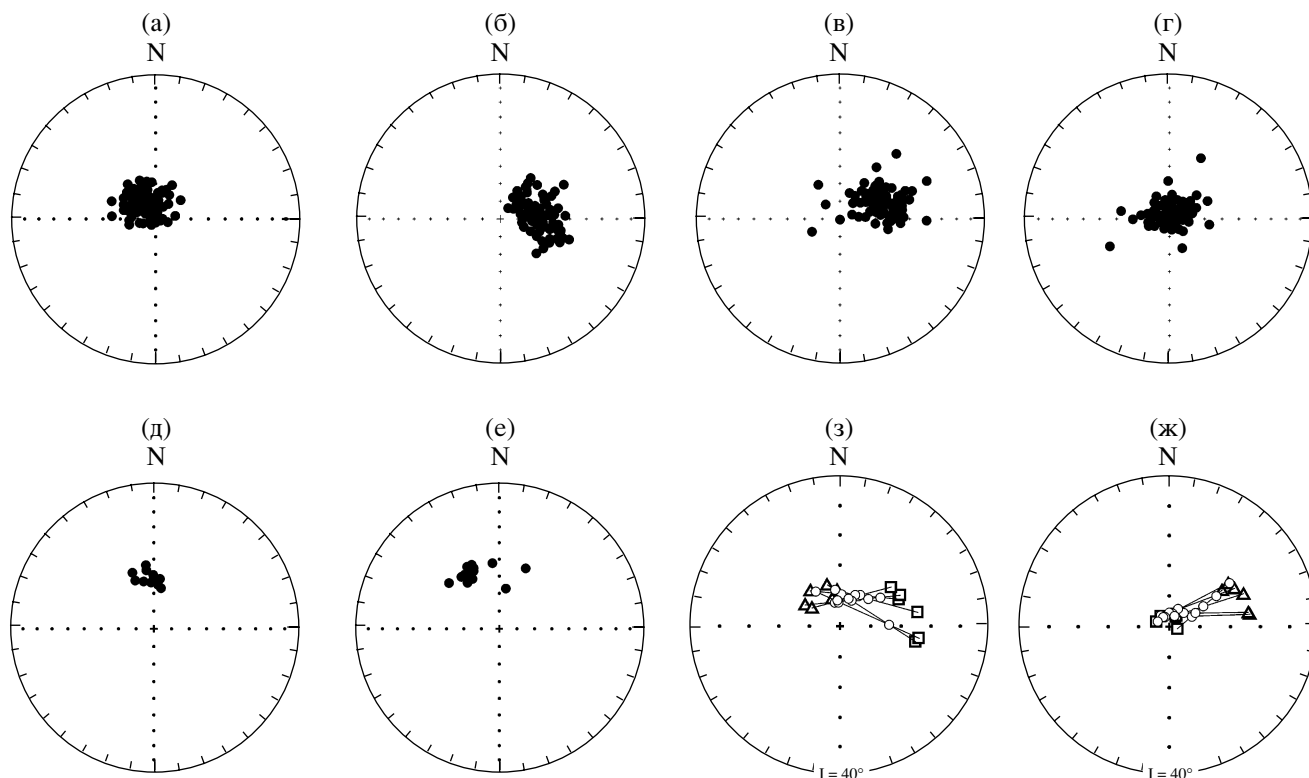


Рис. 7. Распределение мезозойских компонент намагниченности в осадочных породах Чекуровки (а), (б), (з) и Булкура (в), (г), (ж). (а), (в) – стратиграфическая система координат; (б), (г) – географическая система координат; (з), (ж) – пересечение малых кругов перемагничивания для Чекуровского и Булкурского разрезов соответственно; (д) – распределение векторов характеристической компоненты экзоконтакта чекуровского потока в стратиграфической системе координат; (е) – распределение векторов характеристической компоненты в обнажении верхов туркутской свиты долины р. Хорбусунка в стратиграфической системе координат.

Черные кружки – проекции векторов на нижнюю полусферу. Серые треугольники (квадраты) – проекции средних по группам (см. текст) направлений в древней (современной) системе координат. Серые кружки – точки пересечения малых кругов.

к выделенной ранее MZ1 компоненте (рис. 3к). При этом интересно отметить, что в нескольких образцах в ходе температурной чистки выделяются стабильные (средне- и высокотемпературные) компоненты намагниченности, близкие по направлению к компонентам KRS и KHR.

Булкурский разрез

Из этого разреза нами было отобрано 193 ориентированных образца, в том числе 65 образцов из силлов и их экзоконтактов, более 20 галек долеритов и около 100 образцов из осадочной толщи.

Осадочные породы

Естественная остаточная намагниченность большинства изученных образцов осадочных пород Булкурского разреза включает в себя две компоненты намагниченности. Менее стабильная, обычно слабо проявленная компонента разрушается в основном в интервале температур 100–250°C и, судя по

распределению соответствующих векторов, вероятно, является наложением современной и лабораторной вязкой компонент намагниченности. Более стабильная компонента разрушается в интервале температур 300–660°C и проявляется на диаграмме Зийдерверльда в виде прямолинейного сегмента, идущего в начало координат диаграммы. Эта компонента (будем называть ее в дальнейшем компонентой MZ2) в географической системе координат имеет очень крутое наклонение (см. рис. 3г, рис. 3д и табл. 2)

В относительно небольшой части образцов осадочных пород помимо компоненты MZ2 (в этом случае промежуточной) имеется еще одна стабильная высокотемпературная компонента, проявляющаяся либо в виде прямолинейного сегмента, идущего в начало координат ДЗ, либо в виде круга перемагничивания на стереограмме. Рассмотрение положения на стереограмме “конечных точек”, соответствующих этим компонентам, показывает их квазихаотичное распределение. Среди прочих встречаются 2 или 3 “конечные точки”,

Таблица 1. Характеристические компоненты намагниченности (помимо MZ компонент) Чекуровского и Булкурского разрезов

Компонента, число образцов	Географическая система координат				Стратиграфическая система координат				Синскладчатая система координат, пропорциональное распрямление: 73% для Чекуровского разреза и 35% для Булкурского			
	<i>D</i>	<i>I</i>	<i>K</i>	<i>alfa 95</i>	<i>D</i>	<i>I</i>	<i>K</i>	<i>alfa 95</i>	<i>D</i>	<i>I</i>	<i>K</i>	<i>alfa 95</i>
Чекуровский разрез												
KHR-компонента, <i>N</i> = 25	79.1	65.7	21.8	6.3	333.4	56.6	25.1	5.9	348.5	66.8	24.8	5.9
KRS-компонента, <i>N</i> = 19	23.0	0.2	6.7	14.0	23.6	-4.1	8.7	12.1	23.0	-3.2	8.3	12.4
Экзоконтакт силла, среднетемпературная компонента <i>N</i> = 14	106.4	63.6	66.3	4.9	338.0	73.7	66.3	4.9	15.0	80.7	66.3	4.9
Экзоконтакт силла, высокотемпературная компонента <i>N</i> = 11	74.8	61.9	163.1	3.6	354.5	60.6	163.1	3.6	12.5	66.3	163.1	3.6
Силл, высокотемпературная компонента, <i>N</i> = 25	94.9	58.4	42.3	4.5	1.4	70.8	42.3	4.5	33.7	74.2	42.3	4.5
Булкурский разрез												
Силлы, <i>N</i> = 44	296.7	86.3	84.9	2.3	57.6	68.1	84.8	2.4	38.2	83.2	84.9	2.3
Экзоконтакт, <i>N</i> = 11	343.4	84.8	75.4	5.3	54.5	63.7	91.1	4.8	35.9	79.1	90.2	4.9
Гальки, <i>N</i> = 14	337.0	87.3	93.9	4.1	58.7	65.8	94.1	4.1	47.3	81.1	94.0	4.1
Долина р. Хорбусуонка												
Красноватые известняки туркутской свиты, <i>N</i> = 12	337.6	55.4	43.7	6.6	337.6	55.4	43.7	6.6				
Кондерский массив												
Дуниты центрального штока, <i>N</i> = 18	33.7	81.2	10.3	10.3	33.7	81.2	10.3	10.3				
Алевропесчаники тоттинской свиты из контактового ореола, <i>N</i> = 10	20.1	78.2	65.3	5.4	20.1	78.2	65.3	5.4				
Черные алевролиты тоттинской свиты из контактового ореола, <i>N</i> = 6	178.0	-77.0	190.0	4.5	178.0	-77.0	190.0	4.5				

N – число образцов, *D* – склонение, *I* – наклонение, *alfa 95* и *K* (кучность) – статистические характеристики фишеровского распределения.

отвечающие KRS-направлению. Также без видимой закономерности (не считая того, что все они идут из области, соответствующей MZ2 компоненте) распределены круги перемангничивания. Величина ЕОН пород изученной осадочной толщи Булкурского разреза изменяется в пределах 0.5–10 мА/м.

Потоки и гальки долеритов и породы экзоконтакта

Естественная остаточная намагниченность долеритов потоков и галек составляет десятые доли – первые единицы ампер на метр, экзоконтактовые породы заметно менее магнитны – величина их намагниченности – единицы-первые десятки мил-

лиампер на метр. Температурная магнитная чистка позволяет выделить в изученных образцах 2 компоненты намагниченности. Первая, так же, как и в случае вышеописанных осадочных пород, слабо выражена, малостабильна (разрушается к 200–300°C) и также, вероятно, является наложением современной и лабораторной вязкой компонент. Вторая компонента намагниченности – характеристическая – весьма стабильна: в гальках ее максимальные разблокирующие температуры могут быть как 550–580°C, так и 650–670°C (рис. 3а), в образцах из экзоконтакта они составляют часто 650–670°C (рис. 3б), в образцах долеритов из потоков – 550–580°C (рис. 3в).

Таблица 2. Возраст и направление MZ компоненты

N	Географическая система координат				Стратиграфическая система координат				Синскладчатая (при K_{max}) система координат				Результат теста Ватсона-Энкина	
	D	I	K	alfa 95	D	I	K	alfa 95	D	I	K	alfa 95	оптимальное распрямление	95%-ный интервал
Чекуровская антиклиналь														
75 образцов	84.3	67.0	43.8	2.5	328.9	79.4	63.2	2.1	пропорциональное распрямление, 74.7%					
6 групп	78.2	67.5	96.6	6.9	327.2	78.3	243.3	4.3	12.7	82.5	67.3	2.0	72.8%	57.4–89.8%
8 групп	82.8	67.4	72.6	6.5	326.3	79.2	184.4	4.1	9.5	81.6	330.2	3.7	82.0	66.5–98.1%
14 точек пересечения: 6 малых кругов*									354.1	82.2	201.4	3.9		
									22.2	80.3	145.3	3.3		
Булкурская антиклиналь														
72 образца	352.2	86.8	47.8	2.4	65.7	65.5	33.2	2.9	пропорциональное распрямление, 2.8%					
6 групп	350.5	87.4	530.0	2.9	64.9	66.0	300.8	3.9	3.6	86.6	47.9	2.4	36.9%	–14.9–82.3%
14 точек пересечения: 6 малых кругов*									54.9	81.0	855.1	2.3		
									23.9	85.4	192.8	2.9		

* одно пересечение отброшено как лежащее вне области ограниченной конечными точками рассматриваемых сегментов кругов. N – число образцов, D – склонение, I – наклонение, *alfa* 95 и K (кучность) – статистические характеристики фишеровского распределения.

Векторы, отвечающие этой компоненте во всех случаях (потоки, гальки, экзоконтакт) образуют на стереограммах плотные группы, расположенные в географической системе координат в области очень крутых склонов (рис. 7г, табл. 2). Сравнение средних направлений этих групп с направлением выделенной в осадочных породах компоненты MZ2, не оставляет сомнения в идентичности этих направлений.

Возраст и направление MZ компоненты

Как показали лабораторные исследования, в разрезе Чекуровской антиклинали в большинстве образцов явно присутствует компонента MZ1, имеющая высокое наклонение в стратиграфической системе координат и разрушающаяся в широком диапазоне температур от 200 до 500°C и более. В нижней части разреза и в экзоконтакте

спектр блокирующих температур этой компоненты часто перекрыт со спектром блокирующих температур других компонент. В наиболее свободном от влияния других компонент виде компонента MZ1 присутствует в верхней части разреза (выше потока долеритов), где она четко, с минимальным шумом выделяется в интервале температур 200–450°C. Для расчета направления этой компоненты, с целью избежать влияния других компонент, использовались образцы из верхней части разреза. При этом расчет выполнялся не менее, чем по 4 точкам диаграмм Зийдервельда; засчитывались только те векторы, точность определения которых, оцениваемая по величине параметра MAD [Kirschvink, 1980], была лучше 3°. Сравнение кучностей полученного распределения 75 векторов в географической и стратиграфической системах координат, а также при пропорциональном “распрямлении складок” указывают на

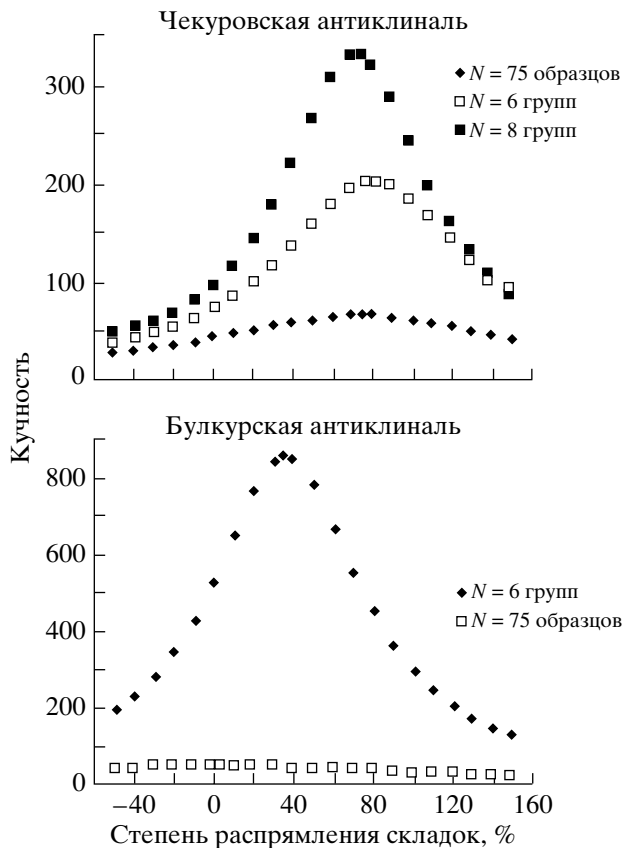


Рис. 8. Диаграммы, иллюстрирующие синскладчатый возраст компонент MZ.

возможность синскладчатости компоненты MZ1. Максимальная кучность $K = 67.3$ достигается при 75%-ом распрямлении складок при среднем направлении $D = 12.7^\circ$ и $I = 82.5^\circ$. При этом кучность векторов в географической системе координат $K = 43.8$, а в стратиграфической – 63.2 (см. табл. 2 и рис. 8).

Для выяснения вопроса о синскладчатости компоненты MZ1 имеющиеся векторы были разбиты на 6 групп, согласно элементам залегания образцов, по которым они были получены. Такое разбиение при оценке возраста рассматриваемой компоненты относительно складчатости позволяет уменьшить искажающее влияние неравномерности распределения элементов залегания изученных образцов. Совместный анализ средних направлений полученных шести групп подтверждает синскладчатую природу MZ1 компоненты. Максимальная кучность в этом случае ($K = 330.2$) достигается при пропорциональном распрямлении 72.7%, кучность в современной и древней системах координат – 94.1 и 228.9 соответственно. Тест Ватсона-Энкина [Watson and Enkin, 1993], выполненный для тех же шести направлений, показывает, что максимальная кучность достигается при распрям-

лении складки -72.8% , с 95%-ым интервалом доверия от 57.4% до 89.8% (табл. 2 и рис. 8).

Для проверки устойчивости полученного результата нами было выполнено разбиение исследуемой совокупности векторов также на 5 и на 8 групп согласно элементам залегания. В первом случае указание на синскладчатость остается, но 95%-ый интервал широк (75%–111%) и включает случай полного "распрямления складки". Во втором случае указание на синскладчатость (крутизна кривой зависимости кучности от степени распрямления складки) более сильное (см. рис. 8), максимум кучности достигается при 82%-ном распрямлении, при 95%-ном интервале доверия от 66% до 98%.

Таким образом, выполненный анализ ясно указывает на синскладчатый возраст компоненты MZ1. Малые круги (получаемые при "распрямлении складки"), соответствующие шести группам, дают среднюю точку пересечения с координатами $D = 22.2^\circ$ и $I = 80.3^\circ$, при $N = 14$, $K = 145.3$ и $\alpha_{95} = 3.3^\circ$ (табл. 2 и рис. 7з).

Этот результат является более точной оценкой направления синскладчатой компоненты MZ1, поскольку при его определении не закладывается гипотеза о том, что намагниченность всех рассматриваемых групп была приобретена на одном и том же этапе деформации. Интересно отметить, что рассчитанное таким образом направление значительно не отличается от направления, полученного при пропорциональном распрямлении, что указывает на то, что гипотеза пропорционального распрямления вполне "работает" в пределах Чекуровского разреза.

Анализ всей совокупности образцов из Булкурской антиклинали указывает скорее на после-складчатый возраст намагниченности ($K_{\text{дск}} = 33.2$; $K_{\text{сск}} = 47.8$; $K_{\text{max}} = 47.9$ при распрямлении 2.8%). Однако при разбиении на группы согласно элементам залегания (6 групп, диапазон изменения склонений – $325\text{--}360^\circ$, наклонений – $18\text{--}34^\circ$) при пропорциональном распрямлении складок появляется четко выраженный максимум кучности при распрямлении 35% (см. табл. 2 и рис. 8). Тест Ватсона-Энкина для тех же шести групп дает максимум распрямления при 37%, однако 95%-ный доверительный интервал простирается от -15 до 82% . Последнее означает, что с 95%-ной уверенностью мы не можем утверждать, что компонента MZ2 не образовалась после завершения складчатости. Тем не менее вероятность синскладчатости этой компоненты достаточно высока – согласно тому же тесту, она составляет более 80%.

Малые круги (см. выше) пересекаются в точке с координатами $D = 23.9^\circ$ и $I = 85.4^\circ$ (табл. 2 и рис. 7ж). Это направление мы рассматриваем как наиболее точную оценку компоненты MZ2.

Учитывая возрастные рамки складчатости (см. выше) и близость направлений рассматриваемых компонент (см. табл. 2) можно с высокой долей вероятности полагать, что эти компоненты возникли в течение позднего мела.

Однако, несмотря на близость этих направлений, они статистически различаются (угловое расстояние $\gamma = 5.1^\circ$, критическое угловое расстояние [McFadden, McElhinny, 1990] $\gamma_c = 4.3^\circ$), причем различаются главным образом по наклонению. Последнее обстоятельство не позволяет объяснить это различие возможными относительными вращениями рассматриваемых объектов. Даже если предположить, что лучшими оценками MZ1 и MZ2 компонент являются направления, полученные как средние по 6 группам при пропорциональном распрямлении (см. табл. 1), полученную разницу в склонениях между Булкурским и Чекуровскими разрезами нельзя объяснить их вращениями при допущении одновозрастности рассматриваемых компонент. В этом случае следовало бы ожидать согласования различий в простирании опробованных слоев с различием полученных склонений. Однако наблюдается обратная картина: среднее простирание опробованных слоев для Чекуровского и Булкурского разрезов составляет примерно 280° и 250° , тогда как соответствующие склонения – 9.5° и 54.9° . То есть сравниваемые направления развернуты в сторону, противоположную той, которую следовало бы ожидать, исходя из разницы простирания опробованных слоев.

Различие направлений компонент MZ1 и MZ2 может быть объяснено некоторым различием их возраста. Разница в возрасте компонент может составлять сотни – первые тысячи лет, тогда мы должны принять, что их формирование происходило достаточно быстро и полученные средние направления не свободны от влияния вековых вариаций.

Возможность быстрого перемагничивания осадочных разрезов подтверждается данными, полученными нами по палеозойским толщам Северо-Запада Сибирской платформы (Баженов, Павлов, готовится к печати).

Различие направлений компонент MZ1 и MZ2 может отражать и изменение географического положения плиты, в состав которой входила Сибирская платформа. В этом случае, учитывая малые скорости перемещения палеомагнитных полюсов соседних Восточно-Европейской и Северо-Американских платформ, возраст компонент MZ1 и MZ2 может различаться на первые десятки миллионов лет. Это объяснение представляется менее вероятным, поскольку рассматриваемые объекты находятся относительно недалеко друг от друга (не более 70 км), являются частями единой

геологической структуры и имеют одинаковую геологическую историю.

Кроме того, это предположение (при принятии синскладчатости обоих компонент) требует очень большой длительности формирования складчатости в пределах ограниченной территории, что также представляется сомнительным. Данные Парфенова с соавторами [Тектоника..., 2001] указывают на то, что масштаб сокращения, сжатия земной коры в пределах рассматриваемой территории во время мезозойских складчато-глыбовых движений составлял величину порядка 6 км. Имеющиеся оценки скорости таких процессов составляют 3–6 мм в год [Кукал, 1987]. Применительно к исследуемым объектам это дает оценку времени складчатости порядка 1–2 млн. лет, что на порядок отличается от того времени, которое (по аналогии с соседними плитами и, см., напр., [Besse and Courtillot, 2002]) необходимо для смещения позднемелового палеомагнитного полюса на 5° .

Компоненты MZ и мезозойский сегмент сибирской кривой кажущейся миграции полюса

При внимательном рассмотрении фактического материала, лежащего в основе сибирской кривой кажущейся миграции полюса (КМП), обнаруживается парадоксальный, на первый взгляд, факт, состоящий в том, что раннепалеозойский тренд кривой изучен и обоснован значительно лучше, чем мезозойский. Более того, на настоящий момент не опубликовано ни одного определения по мезозою Сибирской платформы (исключая данные по раннетриасовым траппам), которое удовлетворяло бы современным критериям палеомагнитной надежности. Нам известны только две попытки получить мезозойские палеомагнитные определения с использованием детального размагничивания и компонентного анализа.

Первая была сделана одним из авторов настоящей статьи (Павловым В.Э.) при изучении объектов, участвующих в строении Кондерского массива (юго-восток Сибирской платформы). Эти данные были представлены ранее только в неопубликованном восьмом выпуске российского Каталога палеомагнитных данных и оттуда перенесены в Мировую базу данных [Результат № 6843, McElhinny, Lock, 1996], поэтому в тексте и в табл. 2 мы приводим краткие сведения, позволяющие получить представление об их качестве. Намагниченность изученных объектов имеет двухкомпонентный состав. Первая компонента, близкая по направлению к современному полюсу, удаляется к $150\text{--}200^\circ\text{C}$, вторая компонента – характеристическая – разрушается либо вблизи точки Кюри магнетита (дуниты, алевропесчаники), либо в районе $350\text{--}360^\circ\text{C}$ (черные алевролиты). Дуниты отобраны из центрального ядра массива, алевропесчаники и черные алевролиты – при выходе из него из двух

близко расположенных обнажений контактово-измененных пород тоттинской свиты. Как видно из табл. 2, в изученных объектах обнаружены направления прямой и обратной полярности. Тест обращения для этих направлений [McFadden, McElhinny, 1990] – положительный.

Главный недостаток этого определения в том, что возраст Кондерской структуры оценивается на основании главным образом косвенных признаков. Тем не менее имеющиеся данные, среди которых и изотопные датировки, позволяют с достаточной уверенностью считать, что Кондерский массив сформировался в позднеюрское время [Ельянов и Моралёв, 1973].

Вторая попытка была предпринята Кравчинским с соавторами [Kravchinsky et al., 2002], изучившими ниже-среднеюрские отложения Иркутского бассейна. К сожалению, в ходе магнитных чисток не удалось уверенно выделить древнюю компоненту намагниченности и, таким образом, эта попытка оказалась неудачной.

Принято считать, что консолидация Северо-Евразийской плиты завершилась в основном к концу палеозоя. Если в послепермское время Сибирская платформа и “стабильная Европа” действительно входили в состав жесткой единой плиты, проблема мезозойской части сибирской кривой КМП решалась бы просто: в этом случае мезозойские кривые КМП Европы и Сибири совпадали бы и уже имеющиеся европейские полюсы могли бы автоматически использоваться для Сибирской платформы. Между тем имеются работы, в которых указывается на возможность заметных мезозойских слагающих ее блоков [Cogne et al., 1999]. В работе [Cogne et al., 1999], в частности, Северная Евразия разбивается на три субплиты, перемещавшиеся друг относительно друга в послепалеоценовое время вдоль зон диффузных дислокаций, расположенных предположительно вдоль Уральской складчатой области и линии Торнквиста – Тессейре.

Палеомагнитные направления, полученные в настоящей работе, могут быть использованы для решения вопроса о жесткости Северо-Евразийской плиты и о возможности использования мезозойского сегмента европейской кривой КМП для Сибирской платформы. Как уже отмечалось выше, полюсы, рассчитанные по компонентам MZ1 и MZ2, могут являться виртуальными геомагнитными полюсами, отвечающими близким моментам времени позднего мела. В этом случае путем осреднения этих полюсов мы получим некоторую оценку истинного положения палеомагнитного полюса (полюс MZ), более свободную от влияния вековых вариаций, чем каждый из полюсов, взятый отдельно.

Другая возможность – это то, что полюсы, рассчитанные по компонентам MZ1 и MZ2, являются палеомагнитными полюсами, отвечающими моментам времени, отнесенным друг от друга на первые десятки миллионов лет. В этом случае компонента MZ1, образовавшаяся на ранних этапах складчатости, – более древняя и уверенно позднемезозойская, тогда как компонента MZ2, возникшая на завершающих этапах складчатости, или даже несколько позже ее – более молодая. При этом нет оснований полностью исключить возможность того, что эта компонента имеет палеоценовый возраст. Хотя значительное различие возраста компонент MZ1 и MZ2 представляется нам маловероятным, мы должны рассмотреть и этот вариант.

На рис. 9 представлено положение полюсов, рассчитанных по компонентам MZ1 и MZ2, а также среднего полюса MZ относительно кривой КМП “стабильной Европы” [Besse and Courtillot, 2002]. Мы видим, что средний полюс находится в непосредственной близости от позднемеловой части кривой КМП, при этом наиболее близким к нему европейским позднемеловым полюсом является полюс с возрастом 100 млн. лет ($\gamma/\gamma_c = 1.6^\circ/7.7^\circ$), что хорошо согласуется с имеющимися геологическими данными о возрасте складчатости.

Интересно отметить, что при альтернативной интерпретации возраста компоненты MZ2 также наблюдается хорошее согласование полученных полюсов с европейской кривой КМП. В этом случае полюс MZ1 лежит вблизи от европейского полюса возраста 90 млн. лет ($\gamma/\gamma_c = 0.9^\circ/7.9^\circ$), тогда как полюс компоненты MZ2 находится вблизи позднепалеоценового полюса Европы ($\gamma/\gamma_c = 3.2^\circ/6.0^\circ$). Именно в палеоцене на исследуемой территории начинают преобладать условия растяжения, формируется ряд грабенов, и компоненту MZ2 можно было бы попытаться связать с этими событиями. Однако гипотеза, подразумевающая два разновозрастных источника перемагничивания в близкорасположенных породах, принадлежащих единой геологической структуре, представляется нам несколько искусственной, хотя, возможно, и имеющей право на существование.

Так или иначе, полученные нами полюсы хорошо согласуются с европейской кривой КМП, что подтверждает ее валидность по отношению к Сибирской платформе.

Для дальнейшего обоснования этого вывода рассмотрим положение еще двух имеющихся сибирских мезозойских полюсов относительно европейской кривой КМП. Кривая Бесса-Куртийо [Besse and Courtillot, 2002] построена для интервала времени 0–200 млн. лет. Для участка кривой, соответствующего времени 200–300 млн. лет, мы использовали средние полюсы, рассчитанные для

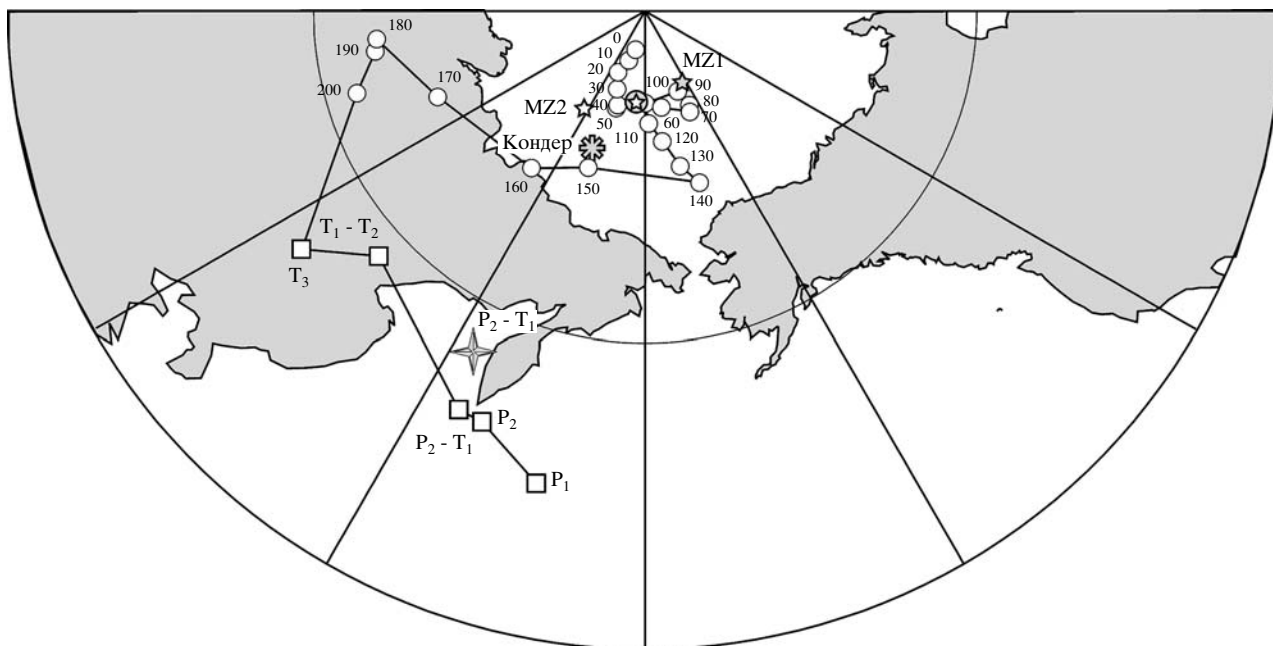


Рис. 9. Сопоставление полученных мезозойских полюсов Сибирской платформы с кривой кажущейся миграции полюса “Стабильной Европы”. Кружки с цифрами обозначают положение и возраст полюсов “Стабильной Европы” для интервала 0–200 млн.лет [Besse and Courtillot, 2002], прямоугольники с индексами T₁-T₂, T₃ обозначают положение ранне- и верхнепермского (P₁, P₂), позднепермского – раннетриасового (P₂-T₁), ранне-, среднетриасового (T₁-T₂) и познетриасового (T₃) полюсов “Стабильной Европы” [Веселовский и др., в печати]. Белая звездочка в сером кружке – полюс, соответствующий MZ (среднему между MZ1 и MZ2) направлению. Белая звездочка – полюс для направления MZ2. Серая звездочка – полюс для направления MZ1. Снежинка – полюс, полученный по массиву Кондер. Четырехугольная звезда – средний пермо-триасовый полюс Сибирской платформы [Веселовский и др., в печати].

эпох перми и триаса (рис. 9). При этом селекция полюсов из базы данных [Веселовский и др., в печати] осуществлялась только по критерию качества лабораторной обработки коллекций (параметр DC больше или равен 3); полюсы, полученные по территориям, относящимся к зонам альпийских дислокаций, также, естественно, не рассматривались.

Как уже было показано в [Веселовский и др., в печати], позднепермский-раннетриасовый полюс Сибирской платформы значимо не отличается от одновозрастного полюса Европы ($\gamma/\gamma_c = 6.8/9.5$). Важно отметить, что другой мезозойский полюс Сибирской платформы – полюс Кондерского массива – также ложится на Европейскую кривую КМП (рис. 9). Таким образом, последовательность разновозрастных сибирских полюсов великолепно согласуется с европейской кривой КМП, что подтверждает жесткость Северо-Евразийской плиты, по крайней мере, с начала мезозоя. Следовательно, европейская кривая КМП может с полным правом использоваться в качестве референтной кривой для Сибирской платформы, а сибирские полюсы, имеющиеся, и те, которые будут получены в будущем, могут быть использованы для дальнейшего уточнения европейской кривой КМП.

Компоненты KHR и KRS и проблема раннекембрийского палеомагнитного полюса Сибирской платформы

Рассмотрим детально компоненты KHR и KRS, обнаруженные нами в нижней части Чекуровского разреза. Мы использовали несколько модификаций теста складки для того, чтобы определить до- или послескладчатый возраст этих компонент. Как правило, для обоих компонент эти тесты не дают определенного результата, что связано, вероятно, с недостаточной изменчивостью элементов залегания слоев в этой части разреза. Тест Ватсона-Энкина указывает на доскладчатый возраст компоненты KHR, однако, принимая во внимание неопределенный результат, получаемый при применении других тестов, мы рассматриваем этот вывод как недостаточно обоснованный.

Значительно более информативным для определения возраста полученных компонент является сравнение соответствующих им полюсов с кривой КМП Сибирской платформы. Полученные полюсы лежат в стороне от всех сибирских фанерозойских полюсов, начиная с раннеордовикского. Между тем компонента KHR дает полюс, расположенный недалеко от среднекембрийских полюсов Сибирской платформы [Smethurst et al, 1998] и лежащий в непосредственной близости от раннекембрийского полюса, определенного Пи-

Таблица 3. Палеомагнитные полюсы

Объект, компонента	N	Координаты		Plat	Plong	A95 или dp/dm	K
		lat	long				
Чекуровская антиклиналь, компонента MZ1*	14	71.1	127.4	83.0	206.0	6.2	41.8
Булкурская антиклиналь, компонента MZ2*	14	71.7	127.3	79.5	146.7	5.5	54.0
Средний полюс MZ	28			82.3	169.8	4.2	42.2
Чекуровская антиклиналь, компонента KHR**	25	71.1	127.4	-53.4	164.1	6.2/85	
Чекуровская антиклиналь, компонента KRS**	19	71.1	127.4	-15.2	102.9	6.1/12.1	
Долина р.Хорбусуонки, красноватые известняки туркутской свиты, характеристическая компонента	12	71.4	123.9	-52.5	160.8	6.4/8.9	
Кондерский массив*	3	57.3	134.6	76.7	158.8	11.6	113.7
Средний полюс пермо-триасовых траппов сибирской платформы [Веселовский и др., в печати]	7			56.2	151.7	3.8	255.4

* Полюс рассчитан как средний виртуальный геомагнитный полюс.

** Полюс рассчитан исходя из среднего направления компоненты намагниченности.

N – число использованных образцов (KHR и KRS компоненты, Чекуровская антиклиналь и долина р.Хорбусуонки), групп (MZ компоненты, Чекуровская и Булкурская антиклинали), сайтов (Кондерский массив) или самостоятельных палеомагнитных определений (средний полюс пермо-триасовых траппов Сибирской платформы).

Plat, Plong – широта и долгота палеомагнитного полюса, lat, long – широта и долгота места отбора, A95 (dp/dm) – радиус (полуоси) 95%-го круга (овала) доверия, K – кучность.

саревским с соавторами [Pisarevsky et al., 1997]. Более того, полюс, соответствующий высоко-температурной характеристической компоненте намагниченности, выделенной нами в небольшом обнажении красноватых известняков верхневендской туркутской свиты в долине р. Хорбусуонка (см. рис. 4и, рис. 4к) и табл. 1, табл. 3), также находится вблизи полюса компоненты KHR.

С другой стороны, направление компоненты KRS довольно хорошо согласуется с ожидаемым направлением, рассчитанным исходя из полюса Киришвинка и Розанова [Kirschvink, Rozanov, 1984] с учетом поправки за вращение Алданского блока относительно Анабарского [Павлов, Петров, 1997] и без таковой (см. рис. 10)

Таким образом, мы впервые наблюдаем в одном разрезе одновременное присутствие “храмовской” и “киришвинковской” компонент намагниченности. Эти компоненты получены на основе единой методики, на одной аппаратуре, с использованием детального температурного размагничивания. Следовательно, с одной стороны, “храмовские” направления нельзя рассматривать как артефакт, возникающий вследствие недостаточной магнитной чистки и, с другой стороны, наши данные подтверждают реальность существования в породах нижнего кембрия Сибирской платформы палеомагнитных направлений, близких к “киришвинковскому”. Интересно отметить, что полярность выделенных нами компонент KHR и KRS подчиняется той же закономерности, что была определена в предшествующих исследованиях по другим объектам: направления, близкие к “храмовскому”, практически всегда имеют только обратную полярность, тогда как “киришвинковские” направле-

ния могут с примерно равной вероятностью быть как прямой, так и обратной полярности.

Какая же из выделенных компонент является первичной? К сожалению, наши данные не позволяют определенно ответить на этот вопрос. Для решения этой проблемы большое значение имели бы результаты теста конгломератов, или данные, полученные по другим типам пород, например, по магматическим породам. К сожалению, нижнекембрийские магматические породы имеют в пределах Сибирской платформы ограниченное распространение, опробованные же нами нижнекембрийские покровы и конгломераты Булкурской антиклинали оказались перемагничены в мезозое. Возможно, при дальнейшем исследовании палеомагнетизма нижнего кембрия Сибирской платформы такие тесты удастся выполнить, сейчас же при анализе полученных направлений мы можем опираться только на имеющиеся данные.

Наиболее простое объяснение наблюдаемых палеомагнитных направлений состоит в том, что биполярная компонента KRS, дающая палеомагнитный полюс, отличный от всех фанерозойских полюсов Сибирской платформы, является первичной, тогда как монополярная компонента KHR является вторичной метахронной компонентой. В этом случае поскольку полюс, соответствующий компоненте KHR, близок к средне-позднекембрийским полюсам Сибирской платформы, надо полагать, что эта компонента образовалась в середине или в конце кембрийского периода. Однако такое объяснение сталкивается с очень сильным, на наш взгляд, возражением. Это возражение состоит в том, что компонента KHR часто присутствует в венд-кембрийских разрезах, расположенных

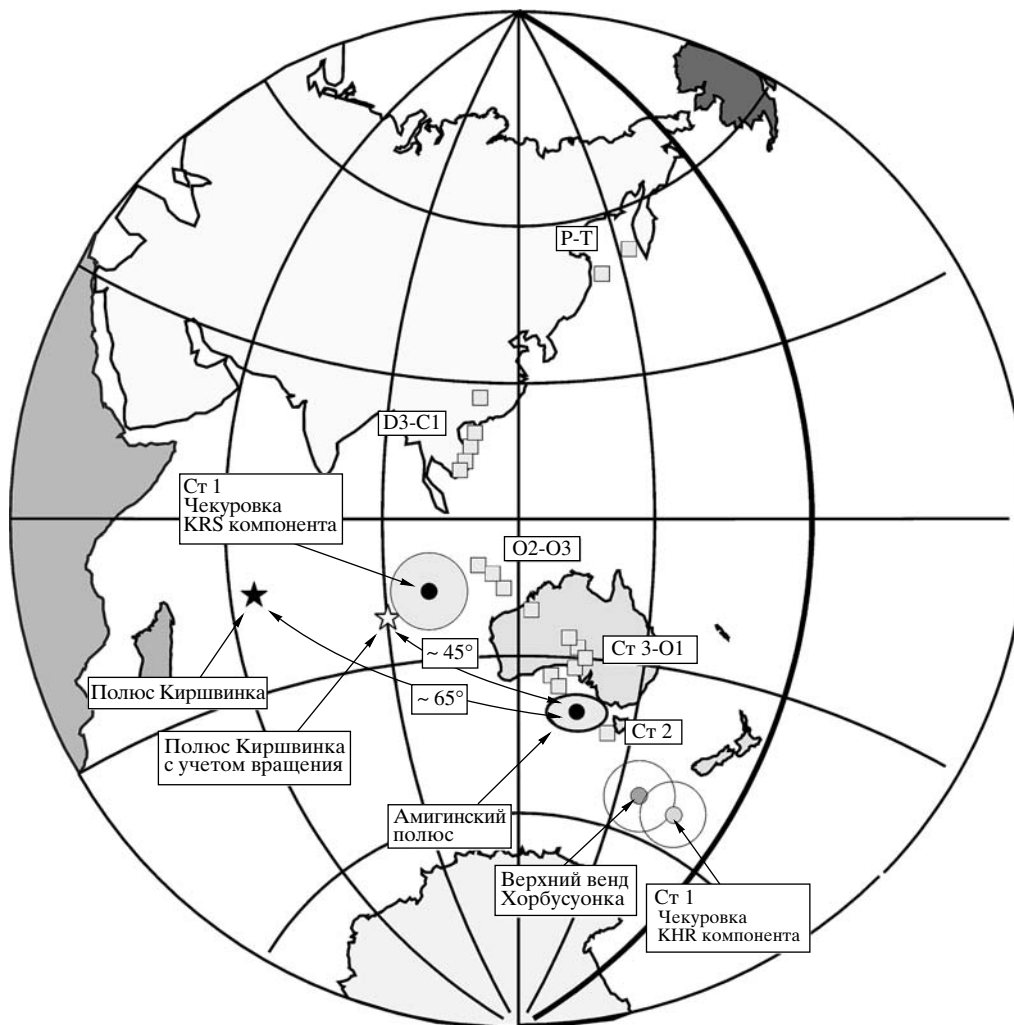


Рис. 10. Сравнение полученных полюсов, соответствующих KHR и KRS компонентам с палеозойскими полюсами Сибирской платформы. Прямоугольники соответствуют полюсам, взятым из [Smethurst et al., 1998], Амгинский полюс взят из работы [Павлов и др., 2001]. Черной звездочкой обозначен полюс из работы [Kirschvink, Rozanov, 1984], белой звездочкой – тот же полюс с внесенной поправкой на возможное вращение Алданского блока относительно Анабарского в среднепалеозойское время [Павлов, Петров, 1997].

в разных частях Сибирской платформы, с разной геологической историей и сложенных разными породами. Эта компонента (как конечная высокотемпературная и как промежуточная среднетемпературная) встречена нами [Pavlov, Gallet, готовится к печати] в разрезах реки Кулюмбэ (северо-запад Сибирской платформы), рек Котуй и Куонамка (западное и восточное Прианбарье) и р. Мая (Учуро-Майский район). Эта же компонента обнаружена Шацилло с соавторами в поздневендских породах Западного и Восточного Присяня [Шацилло и др., 2002]. Таким образом, компонента, отвечающая “храмовскому” направлению, присутствует на огромных территориях и, будучи вторичной, должна была бы возникнуть вследствие некоего масштабного тектонического или магматического события, произошедшего во второй половине кембрия на Сибирской плат-

форме. Однако следов такого события в геологической истории Сибирской платформы мы не находим. Более того, если такое событие действительно имело место, почему оно не затронуло более древние породы, ведь следов “храмовской” компоненты мы не видим в рифейских породах Учуро-Майского района [Павлов и др., 2000], северо-запада [Gallet et al., 2000], севера [Ernst et al., 2000; Веселовский и др., 2001], северо-востока [Родионов, 1984], юга [Комисарова, 1983] Сибирской платформы?

В силу того, что наиболее простое объяснение сталкивается с серьезными затруднениями, мы вынуждены искать альтернативное объяснение наблюдаемым фактам.

В качестве возможного объяснения мы предлагаем следующую гипотезу. Обе рассматриваемые компоненты являются первичными в том

смысле, что они образовались либо в момент отложения исследуемых осадков, либо вскоре после. Эти компоненты могут иметь как синседиментационную, так и раннедиагенетическую природу. Разница же направлений обусловлена тем, что геомагнитное поле в конце позднего венда и в начале кембрия имело аномальный характер с относительно продолжительными периодами господства аксиального монополярного дипольного поля, записанного в виде компоненты KHR, перемежающегося с относительно кратковременными эпохами преобладания инверсирующего близэкваториального диполя, записанного в виде компоненты KRS.

Близкая по смыслу модель предлагалась Песоненом и Невалинна [Pesonen, Nevanlinna, 1981] для объяснения асимметричных инверсий, зафиксированных ими в разрезах серии Кивио (1100–1000 *Ma*).

Нам представляется, что такое поведение магнитного поля могло бы объяснить большинство тех особенностей палеомагнитной записи, которые мы наблюдаем в разрезах, и примирить, казалось бы, антагонистические результаты, полученные разными исследователями.

В том случае, если намагниченность в осадках формировалась практически одновременно с осадком, в разрезах будет наблюдаться чередование записи KHR и KRS компоненты. Такой характер записи мы наблюдаем в неперемагниченной мезозойским полем части Чекуровского разреза.

В том случае, если намагниченность формировалась быстро, но тем не менее с некоторой задержкой, сравнимой по времени с продолжительностью KRS эпох, мы должны наблюдать на одних уровнях разреза только KHR компоненту, на других – KHR компоненту, наложенную на относительно более слабую KRS компоненту. При этом присутствие последней может проявляться только через тенденции диаграмм Зийдервельда и через круги перемагничивания, идущие в область “киршвинковской” компоненты. Ясно, что в этом случае KHR компонента часто будет присутствовать в образцах как промежуточная. Такой характер записи мы наблюдаем в разрезе нижнего кембрия р. Куонамка¹.

В том случае, если длительность процесса записи заметно превышает продолжительность KRS эпох, следует ожидать, что соответствующие породы в ходе чистки покажут присутствие только одной компоненты намагниченности. Именно это мы видим в переходных венд-кембрийских породах р. Котуй [Pavlov, Gallet, готовится к печати].

Однако предлагаемая нами гипотеза сталкивается с серьезными проблемами при объяснении ха-

рактера палеомагнитной записи в разрезах среднего течения р. Лена [Kirschvink, Rozanov, 1984] и Хорбусуонки [Gallet, Pavlov, 2003, (in press)]. В разрезах р. Лена присутствие компоненты KHR авторами не отмечается, в разрезе же р. Хорбусуонка эта компонента выявлена только на отдельных уровнях, да и то с некоторой долей условности.

Что касается среднеленских разрезов, то, на наш взгляд, судя по данным, приведенным в [Kirschvink, Rozanov, 1984] нельзя исключить, что в силу малой детальности чистки эта компонента была пропущена. В разрезах же р. Хорбусуонка сильная контаминация промежуточной “храмовской” компоненты, относительно близкой по направлению к мезокайнозойской, возможно, затушевывает присутствие компоненты KHR. Это же объяснение можно, вероятно, отнести также к части среднеленских образцов.

Для тестирования предложенной гипотезы следует в первую очередь расширить круг исследуемых венд-нижнекембрийских объектов. Необходимо детально изучить поздний венд Присяня и Прибайкалья, а также еще практически не охваченные палеомагнитными работами опорные разрезы долин рек Алдан и Учур. Исключительно важно получить палеомагнитную информацию по магматическим породам раннекембрийского возраста. На наш взгляд, большое значение имело бы переизучение классических нижнекембрийских разрезов р. Лена. Кроме того, безусловно, необходим тщательный анализ имеющихся палеомагнитных данных по другим регионам Земного шара. Все эти задачи мы предполагаем решить в ходе дальнейших исследований палеомагнетизма нижнего кембрия Сибирской платформы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работы выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты №№ 01-05-64819, 00-05-79011. В ходе работ при интерпретации данных авторы использовали палеомагнитные программы С.В. Шипунова, Р. Энкина, Т. Торсвика и М. Сметарса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Биджиев Р.А., Грошин С.И., Гогина Н.И., Горшкова Е.Р. Объяснительная записка к геологической карте масштаба 1: 200000 (листы R-52-VII, VIII). 1976. Ленинград. ВСЕГЕИ. С. 82.
- Веселовский Р.В., Петров П.Ю., Павлов В.Э. Результаты палеомагнитных исследований магматических тел северо-западного Прианбарья. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. Материалы семинара, Борок 18–23 октября 2001 г. М.: Геос. С. 21–22.
- Веселовский Р.В., И.Галле, В.Э. Павлов. Палеомагнетизм траппов долин рек Подкаменная Тунгуска и Котуй: к вопросу о реальности послепалеозойских относительных перемещений Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Физика Земли. 2003. № 10. С. 78–94.

¹ Павлов В.Э., Галле И. Систематика палеомагнитных направлений нижнего кембрия Сибирской платформы (готовится к печати).

- Ельянов А.А., Моралёв В.М. О возрасте массивов ультраосновных – щелочных пород Алданской и Южно-верхоянской провинций // Изв. высших учебных заведений // Геология и разведка. 1973. № 3. С. 15–23.
- Комиссарова Р.А. Палеомагнетизм осадочных толщ рифея и венда Западного Прибайкалья. Палеомагнетизм верхнего докембрия. Л. Изд-во ВНИГРИ. 1983. С. 52–66.
- Кукал З., Скорость геологических процессов. М.: Мир. 1987. С. 246.
- Павлов В.Э., Петров П.Ю. Палеомагнетизм рифейских отложений Иркинеевского поднятия Енисейского кряжа – новый довод в пользу единства Сибирской платформы в среднем рифее // Физика Земли. 1997. № 6. С. 42–55.
- Павлов В.Э., Галле И., Шаццлло А.В. Палеомагнетизм верхнерифейской лахандинской серии Учуро-Майского района и гипотеза позднепротерозойского суперконтинента // Физика Земли. 2000. № 8. С. 23–24.
- Павлов В.Э., Галле И., Коровников И.В. Магнитная стратиграфия ниже-среднекембрийских отложений опорного разреза р. Хорбусуонка (северо-восток Сибирской платформы) // Докл. РАН. 2001. Т. 380. № 5. С. 680–684.
- Розанов А.Ю., Репина Л.Н., Аполлонов М.К., Шабанов Ю.Я. и др. Кембрий Сибири. Новосибирск: Наука. 1992. С. 133. Тр. ИГиГ. Вып. 788.
- Репина Л.Н., Лазаренко Н.П., Мешкова Н.П. и др. Биостратиграфия и фауна нижнего кембрия Хараулаха (хр.Туора-Сис). М.: Наука. 1974. С. 299. (Тр. ИГиГ СО АН СССР. Вып. 235).
- Родионов В.П. Палеомагнетизм верхнего докембрия и нижнего палеозоя района р. Уджа. Палеомагнитные методы в магнитостратиграфии. Л.: Изд-во ВНИГРИ. 1984. С. 18–28.
- Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М.: МАИК “Наука/Интерпериодика”. 2001. С. 571.
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра. 1982. С. 312.
- Шаццлло А.В., Диденко А.Н., Мазукабзов А.М., Станевич А.М., Павлов В.Э. Вендские палеомагнитные направления: новые результаты по юго-западу Сибирской платформы. Тезисы конференции, посвященной 10-летию РФФИ. М. 2002. Т. 3. С. 100–101.
- Шинунов С.В. Критерии значимости в палеомагнетизме // Физика Земли. 1999. № 6. С. 89–92.
- Besse J., Courtillot V. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field in the last 200 millions years // J. Geoph. Res. 2002. V. 107. № B11.
- Bowring S.A., Grotzinger G.P., Isachsen C.E. et al. Calibrating rates of Early Cambrian evolution. 1993. Science. V. 261. P. 1293–1298.
- Cogne J.P., Nalim N., Chen Y., Courtillot V. Resolving the problem of shallow magnetizations of Tertiary age in Asia: insights from paleomagnetic data from the Qiangtang, Kunlun, and Qaidam blocks (Tibet, China), and a new hypothesis. JGR. 1999. V. 104. № B8. P. 17715–17734.
- Collinson D. Paleomagnetism. Cambridge University press. Cambridge. 1980. С. 521.
- Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada. 1994. P. 16.
- Ernst R.E., Buchan K.L., Hamilton M.A., Okrugin A.V., Tomshin M.D. Integrated paleomagnetism and U-Pb geochronology of mafic dikes of the eastern Anabar shield region: implication for mesoproterozoic paleolatitude of Siberia and comparison with Laurentia // Journal of Geology. 2000. V. 108. P. 381–401.
- Gallet Y., Pavlov V.E., Semikhatov M.A., Petrov P.Ju. Late Mesoproterozoic magnetostratigraphic results from Siberia: Paleogeographic implications and magnetic field behavior // Journal of Geophysical Research. 2000. V. 105. № B7. P. 16.481–16.499
- Gallet Y., Pavlov V., Courtillot V. Magnetic reversal frequency and apparent polar wander of the Siberian platform in the earliest Paleozoic, inferred from the Khorbusuonka river section (northeastern Siberia). 2003. Geophys. J. Int. V. 154. P. 829–840.
- Kirschvink J.L. The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data // Geophys. J. R. Astron. Soc. 1980. V. 62. P. 699–718.
- Kirschvink J., Rozanov A. Magnetostratigraphy of Lower Cambrian strata from the Siberian platform: a paleomagnetic pole and a preliminary polarity time scale // Geol. Mag. 1984. V. 121. P. 189–203.
- Kirschvink J., Ripperdan R., Evans D. Evidence for a large scale reorganization of Early Cambrian continental masses by inertial interchange true polar wander // Science. 1997. V. 277. P. 541–545.
- Kravchinsky V.A., Cogne J.P., Harbert W.P., Kuzmin M.I. Evolution of the Mongol-Okhotsk ocean as constrained by new paleomagnetic data from the Mongol-Okhotsk suture zone, Siberia // Geophys. J. Int. 2002. V. 148. P. 34–57.
- McElhinny M.W., Lock J. IAGA paleomagnetic database with Access. Surv. // Geophys. 1996. V. 17. P. 575–591.
- McFadden P.L. The combined analyses of remagnetization circles and direct observations in paleomagnetism // Earth and Planetary Science Letters. 1988. V. 87. P. 53–58.
- McFadden P.L., McElhinny M. Classification of reversal test in paleomagnetism // Geophys. J. Int. 1990. V. 103. P. 725–729.
- Meert J. A paleomagnetic analyses of Cambrian true polar wander // Earth Planet. Sci. Lett. 1999. V. 168. P. 131–144.
- Pavlov V.E., Gallet Y., Courtillot V. Two distinct early Cambrian paleomagnetic poles but a single Siberian platform. EOS. Transactions AGU. 2001. Fall meeting. V. 82(47). GP51A-0292.
- Parfenov L.M., Prokopiev A.V., Gaiduk V.V. Cretaceous frontal thrusts of the Verkhoyansk fold belt, eastern Siberia // Tectonics. 1995. V.14, № 2. P. 342–358.
- Watson J.S., Enkin R.J. The fold test in paleomagnetism as a parameter estimation problem // Geophys. Res. Lett. 1993. V. 20. P. 2135–2137.
- Pesonen L.J., Nevalinna H. Late Precambrian Keweenawan asymmetric reversals // Nature. 1981. V. 294. P. 436–439.
- Pisarevsky S.A., Gurevich E.L., Khramov A.N. Paleomagnetism of Lower Cambrian sediments from the Olenek river section (northern Siberia): paleopoles and the problem of magnetic polarity in the Early Cambrian // Geophys. J. Int., 1997. № 130. P. 746–756.
- Smethurst M.A., Khramov A.N., Torsvik T.H. The Neoproterozoic and Palaeozoic paleomagnetic data for the Siberian platform: from Rodinia to Pangea // Earth Science Reviews. 1998. V. 43. P. 1–24.