

УДК 550.858.5

МАГНИТНАЯ СТРАТИГРАФИЯ ПОРОД ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ МАЙСКОГО ЯРУСА ОПОРНОГО РАЗРЕЗА Р. КУЛЮМБЭ (СЕВЕРО-ЗАПАД СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

© 2000 г. В. Э. Павлов¹, И. Галле², С. В. Шипунов³, В. Ю. Водовозов¹

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

²Парижский институт физики Земли

³Геологический институт РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 25.06.99 г.

В работе представлены результаты магнитостратиграфических исследований верхней части среднекембрийского разреза р. Кулюмбэ, отвечающей верхней половине трилобитовой зоны *Lejoride laevigata/ Aldanaspis truncata*. Выделенная характеристическая компонента успешно проходит тест обращения, а рассчитанный по ней палеомагнитный полюс статистически значимо отличается от более молодых палеомагнитных полюсов Сибирской платформы, что свидетельствует в пользу того, что рассматриваемая компонента намагниченности образовалась во время или вскоре после формирования исследуемых пород. Характер распределения интервалов прямой и обратной полярности указывает на то, что в течение последних 700–500 тыс. лет среднего кембра произошло не менее двух инверсий геомагнитного поля, при этом в самом конце среднего кембра магнитное поле Земли имело обратную полярность. В сравнении с данными палеомагнитных исследований близких по возрасту пород других регионов Сибирской платформы, полученный результат указывает, с одной стороны, на существенное преобладание дипольной составляющей в магнитном поле Земли в среднем кембре, и, с другой стороны, свидетельствует в пользу отсутствия крупномасштабных относительных смещений блоков, отвечающих северо-западу, юго-востоку и северо-востоку Сибирской платформы. Показано также, что палеомагнитные направления верхоленской свиты по мере движения от района верхнего течения р. Лены в северо-восточном направлении закономерно разворачиваются по часовой стрелке, что может быть объяснено V-образным растяжением фундамента платформы, происходившим при относительном вращении Алданского и Ангаро-Анабарского блоков вокруг полюса, расположенного южнее линии, соединяющей рассматриваемые обнаружения, приблизительно между долготами 107°–113° в.д.

ВВЕДЕНИЕ

На первый взгляд, ситуация с палеомагнитной изученностью среднего кембра Сибирской платформы может показаться достаточно благополучной. Однако, даже после очень мягкой отбраковки, выполненной исходя из критериев надежности палеомагнитных данных [Van der Voo, 1993], из почти двух десятков имеющихся палеомагнитных полюсов [McElhinny M. and Lock J., 1990; Pisarevsky et al., 1997] остается всего четыре (см. табл. 1), из которых, в свою очередь только один [Pisarevsky et al., 1997] получен с использованием современной техники выделения компонент намагниченности.

Более того, все палеомагнитные полюсы, имеющиеся для среднего кембра, получены по объектам, расположенным либо на северо-востоке, либо на юге Сибирской платформы. Для среднекембрийских объектов северо-западной части платформы не имеется ни одного палеомагнитного определения. Это не имело бы большого значения, если бы точно установлено, что, по крайней мере, с середины кембра Сибирская

платформа представляла собой единое жесткое образование. Однако к настоящему времени накоплено некоторое количество данных, как геологических, так и палеомагнитных [Митрофанов и Таскин, 1994; Павлов и Петров, 1997; Гуревич Е.П., 1984; Smethurst M.A., Khratov A.N., Torsvik T.H., 1998], которые дают повод сомневаться в справедливости этого утверждения.

Новые палеомагнитные определения, сделанные по среднекембрийским объектам в других (в частности западных) районах Сибирской платформы должны, с одной стороны, подтвердить надежность ранее полученных палеомагнитных полюсов и, с другой – подтвердить или опровергнуть реальность существования значительных относительных горизонтальных перемещений внутриплатформенных тектонических блоков.

Несмотря на то, что гипотеза центрального осевого диполя [Храмов и др., 1982] широко используется при палеомагнитных реконструкциях и, более того, является их “краеугольным камнем”, невозможно с уверенностью утверждать, что магнитное поле Земли (усредненное за пери-

од времени больший, чем несколько сот тысяч лет) на протяжении большей части геологической истории представляло собой поле диполя, помещенного в центр Земли и ориентированного по оси ее вращения. Очевидно, что необходимо искать подтверждения справедливости этой гипотезы для всех временных интервалов, для которых она используется. Особенно это важно для таких древних времен как ранний палеозой и поздний докембрий, для которых применение актуалистического подхода представляется достаточно проблематичным.

С этой точки зрения, средний кембрий Сибирской платформы в силу ряда обстоятельств, таких как распространенность на удаленных территориях, слабая измененность, отсутствие широкоразвитых процессов перемагничивания и проч., представляется весьма перспективным объектом для тестирования гипотезы о дипольном характере геомагнитного поля в раннем палеозое. Получение новых палеомагнитных определений из удаленных районов Сибирской платформы позволит вплотную приблизиться к решению этой задачи.

Пионерские работы в области магнитостратиграфии нижнего палеозоя, выполненные более 20 лет назад сотрудниками Палеомагнитной лаборатории ВНИГРИ [Храмов и др., 1974], позволили получить первые представления о характере изменения магнитного поля Земли в раннем фанерозое. За истекшие годы существенные изменения претерпели техника и методика палеомагнитных исследований, выросли требования к надежности результата. Назрела необходимость в постановке значительно более детальных исследований, с изучением разрезов максимально надежно привязанных к Общей стратиграфической шкале, с использованием лабораторных и интерпретационных процедур полностью отвечающих современным требованиям.

Очевидно, при этом, что повышение детальности изучения разрезов может привести к уменьшению интервалов времени, исследуемых в каждой конкретной работе. При этом следует ожидать, что уменьшение "временного захвата" будет компенсироваться повышением надежности получаемых результатов.

Для решения перечисленных задач летом 1998 г. нами была подробно опробована часть опорного разреза р. Кулюмбэ (СЗ Сибирской платформы), отвечающая верхней половине майского яруса среднего кембрия. В настоящей работе представлены результаты детального (интервал отбора 1–1.5 м) магнитостратиграфического исследования верхней части этой толщи, мощностью около 165 м, соответствующей верхней половине трилобитовой зоны *Lejopige laevigata*/ *Aldanaspis truncata*.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Разрез р. Кулюмбэ расположен в пределах Хантайско-Рыбининского поднятия Туруханско-Норильской зоны дислокаций, которая занимает краевое положение на северо-западе Сибирской платформы (рис. 1). Среднекембрийские отложения этого разреза выделяются среди других одновозрастных отложений Сибирской платформы своей полнотой, насыщенностью фауной, степенью изученности [Розова, 1964; Даценко, 1968; Розанов и др., 1992]. Эти отложения представлены здесь единой непрерывно обнаженной карбонатной толщей пород, практически моноклинально, с небольшими вариациями элементов залегания, падающими на юго-восток под углом 15°–20°.

Формирование пликативных структур Хантайско-Рыбининского поднятия согласно [Микуцкий, 1961; Кравцов, 1967] происходило на рубеже раннего и среднего карбона и, таким образом, возраст складчатости должен рассматриваться как допозднекаменноугольный. Согласно другой точке зрения [Гройсман, 1970; Малич, 1975] формирование складчатых структур региона, начавшись в конце раннего карбона, продолжалось длительное время, вплоть до триаса включительно.

Опробованный интервал разреза выходит на поверхность вдоль левого берега р. Кулюмбэ в 6–7 км выше острова Лабазный. Здесь, в невысоких береговых обрывах, обнажается довольно монотонная толща пород, представленная мергелями, известняками и глинистыми известняками преимущественно зеленовато-серой окраски, среди которых встречаются отдельные красноцветные пачки небольшой мощности.

При определении возраста рассматриваемых пород основная роль принадлежит трилобитам. Формировавшиеся в мелководных условиях отложения среднего кембрия северо-запада Сибирской платформы охарактеризованы в значительной степени эндемичными таксонами трилобитов. Вместе с тем, встречаются и космополитные формы (например *Maiaspis mirabilis* N. Tchern., *Bonneterrina sachaiica* Ros. и др.), которые позволяют уверенно отнести изученный интервал к зоне *Lejopige laevigata*/ *Aldanaspis truncata* майского яруса Общей стратиграфической шкалы [Розова, 1964; Даценко, 1968; Розанов и др., 1992]. В разрезе р. Кулюмбэ эта зона имеет мощность около 350 м.

ПАЛЕОМАГНИТНЫЙ АНАЛИЗ

Большая часть лабораторных исследований была выполнена с использованием аппаратурьи Палеомагнитной лаборатории Парижского института физики Земли в соответствии со стандартной методикой [Храмов, 1982; Collinson,

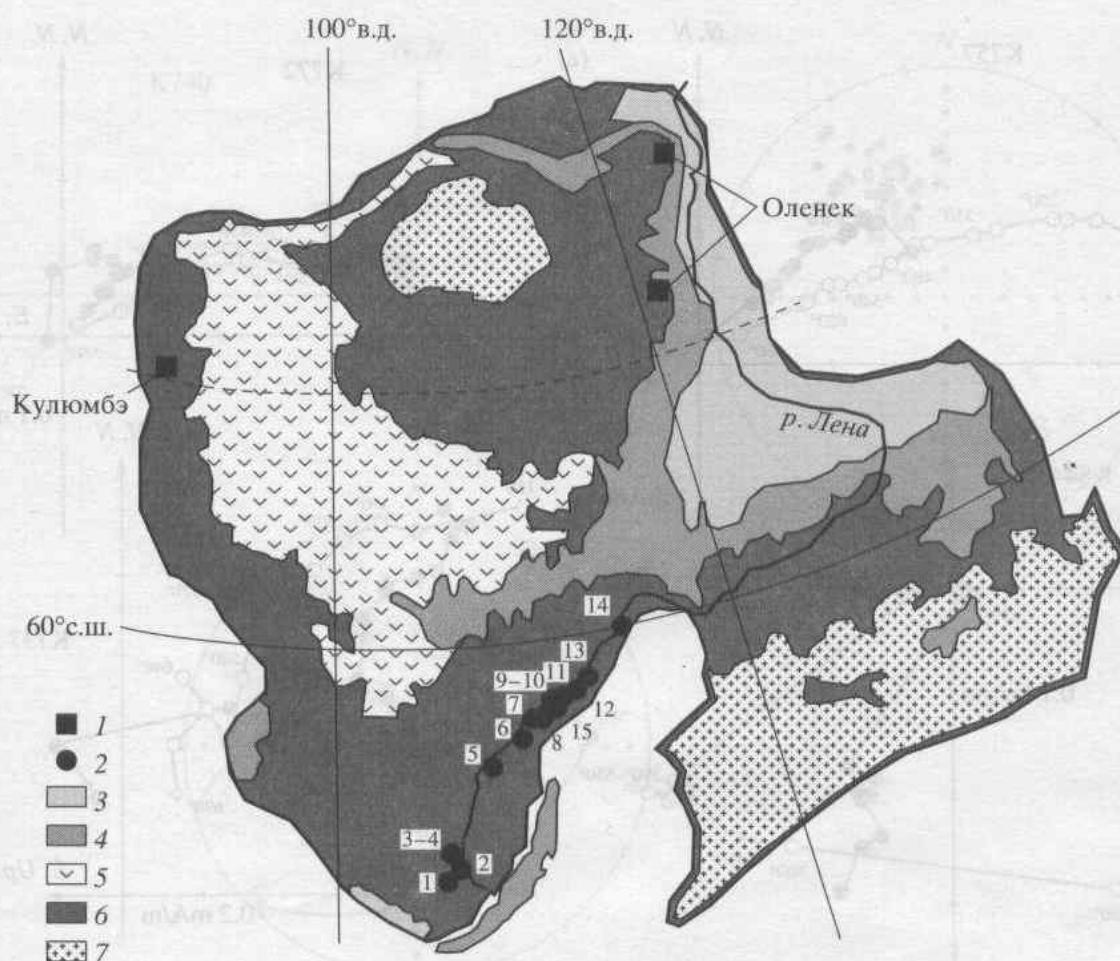


Рис. 1. Схема геологического строения Сибирской платформы и географическое положение рассматриваемых объектов.

1 – среднекембрийские разрезы северо-востока и северо-запада Сибирской платформы; 2 – разрезы верхоленской свиты, цифры соответствуют номерам разрезов согласно табл. 2; 3, 4 – соответственно меловые и юрские отложения; 5 – триасовые траппы; 6 – палеозойский чехол; 7 – докембрийские осадочные породы и фундамент.

1980; Enkin, 1994; Kirschvink, 1980]. Измерение намагниченности образцов проводилось в экранированной от внешнего магнитного поля комнате на трехкомпонентном сквид-магнитометре марки CTF. Температурная чистка выполнялась в специальных немагнитных печах с остаточным полем не более 5–7 нТ. Количество шагов чистки составляло 15–18.

Температурная магнитная чистка ясно указывает (рис. 2) на наличие в большинстве изученных образцов двух (помимо лабораторной вязкой) компонент естественной остаточной намагниченности (ЕОН). Следует отметить, что палеомагнитный сигнал в значительной части образцов сильно “зашумлен” (рис. 2, обр. K737), встречаются случаи, когда по диаграммам Зийдервельда в силу тех или иных причин становится невозможно уверенно определить склонение и наклонение характеристической (в смысле [Zijderveld, 1967]) компоненты намагниченности – ChRM. В послед-

нем случае, однако, для некоторых образцов по характеру изменения вектора ЕОН в процессе чистки возможно определение полярности намагниченности (рис. 3а). Часть образцов (главным образом из нижней части изученного разреза) вообще не дает регулярного сигнала. В общей сложности из 130 изученных, только 71 образец был использован для расчета среднего направления ChRM и 73 для построения магнитостратиграфической колонки.

Менее стабильная компонента намагниченности разрушается в широком диапазоне температур от 150 до 500°C. Векторы этой компоненты ложатся с большим разбросом вокруг направления современного магнитного поля. Высокотемпературная компонента полностью разрушается вблизи температур 580 или 680°C, что указывает на то, что она может быть связана как с магнетитом, так и с гематитом. Иногда разрушение ChRM происходит вблизи 610–640°C, в этом слу-

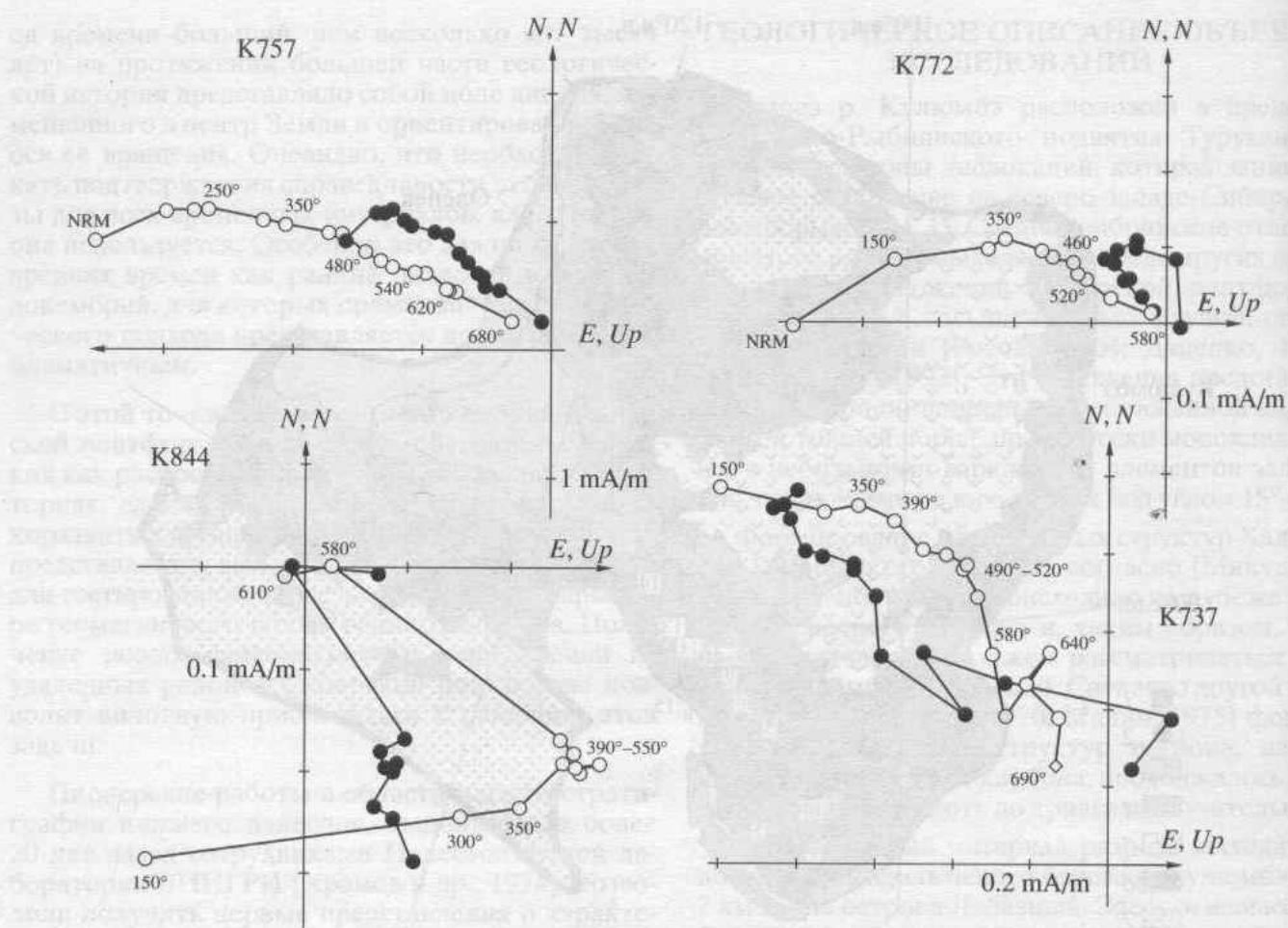


Рис. 2. Диаграммы Зайдервельда типичных образцов. Заливные кружки обозначают проекции векторов на горизонтальную плоскость, открытые кружки – проекции векторов на вертикальную плоскость. Здесь и далее диаграммы даны в стратиграфической системе координат.

чае носителем высокотемпературной компоненты является, вероятно, тонкодисперсный гематит или окисленный магнетит.

Векторы ChRM (рис. 3б) образуют на стереограмме две группы, в одну из них входят векторы, имеющие юго-восточное склонение и, в среднем, умеренно отрицательное наклонение, в другую – векторы, имеющие северо-западное склонение и умеренно положительное наклонение. Тест обращения, выполненный по методу МакФаддена и МакЭлхинни [McFadden and McElhinny, 1990], показывает, что различие средних направлений этих групп в стратиграфической системе незначимо отличается от 180° (табл. 1).

Тест складки, выполненный в модификации Энкина [Enkin, 1990], дает положительный результат. Однако значимость этого теста для почти моноклинально залегающей толщи вызывает определенные сомнения, поскольку в данном случае положительный результат может быть получен и в том случае, если намагниченность образовалась после основной фазы дислокаций, привед-

ших к моноклинальному залеганию исследуемых пород, но до формирования мелких вторичных деформаций.

Интересно сравнить рассчитанное для изученных пород палеомагнитное направление (табл. 1) со средним палеомагнитным направлением верхнекембрийских пород разреза Кулюмбэ ($D = 145.3; I = -34.1; K = 15.6, N = 155; \alpha_{95} = 3.0$), полученным нами ранее [Pavlov and Gallet, 1998]. Несмотря на относительно небольшой промежуток времени, разделяющий формирование рассматриваемых толщ, их средние палеомагнитные направления статистически различаются ($\gamma = 7.4^\circ; \gamma_c = 4.9^\circ$, где γ и γ_c соответственно наблюденное и критическое, на 95%-ом уровне значимости, угловые различия).

Вместе с тем, палеомагнитный полюс, соответствующий выделенной характеристической компоненте, явно отличается от более молодых полюсов Сибирской платформы [Храмов и др., 1982], и, в частности, от пермо-триасовых трапповых полюсов, что, вместе с положительным ре-

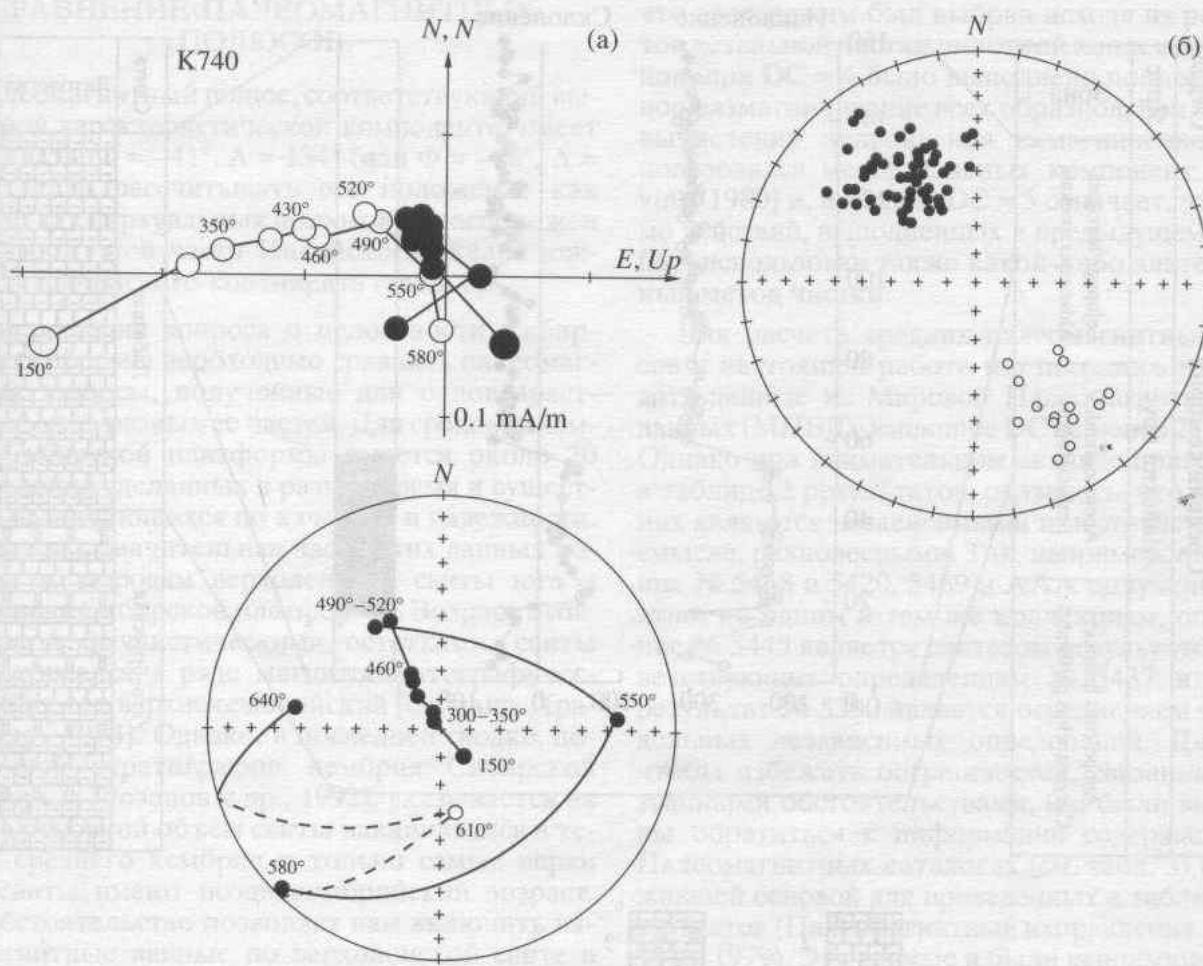


Рис. 3. а – пример, показывающий характер изменения естественной остаточной намагниченности в процессе чистки в тех случаях, когда не удается определить направление характеристической компоненты, в то время как ее полярность определяется без труда. На диаграмме Зийдервельда не показаны проекции векторов, полученных при чистках $T = 610^\circ$ и $T = 640^\circ$. Их показ привел бы к изменению масштаба рисунка с потерей наглядности. б – характер распределения векторов характеристической компоненты. Заливные кружки обозначают проекции векторов на нижнюю полусферу, открытые кружки – проекции векторов на верхнюю полусферу. Стереограмма дана стратиграфической системе координат.

зультатом теста обращения, свидетельствует в пользу того, что образование ChRM происходило во время, либо вскоре после накопления исследуемых пород.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Магнитная стратиграфия.

Характер распределения магнитной полярности вдоль изученного разреза представлен на рис. 4. Нижние 15 м рассматриваемой толщи характеризуются очень плохой сохранностью палеомагнитной записи и только в трех образцах из этого стратиграфического интервала по характеру изменения вектора ЕОН в процессе чистки (рис. 3а) можно определить полярность (обратную) древней намагниченности. Далее вверх по разрезу идет 40-метровая толща пород имеющих намагни-

ченность прямой полярности, после чего, вплоть до границы среднего и верхнего кембрия, все образцы намагничены обратно. Таким образом, за время формирования исследуемой толщи магнитное поле не менее двух раз меняло свою полярность.

Важно отметить, что полученная магнитостратиграфическая запись полностью согласуется с записью изменения полярности геомагнитного поля конца среднего кембрия, обнаруженной в породах силигирской свиты (р. Оленек) сотрудниками Палеомагнитной лаборатории ВНИГРИ [Храмов и др., 1974]. В обоих случаях верхи среднего кембрия характеризуются обратной намагниченностью, далее вниз по разрезу идет зона прямой полярности, имеющая относительно небольшую мощность, после чего снова идет зона обратной полярности. Совпадение магнитной за-

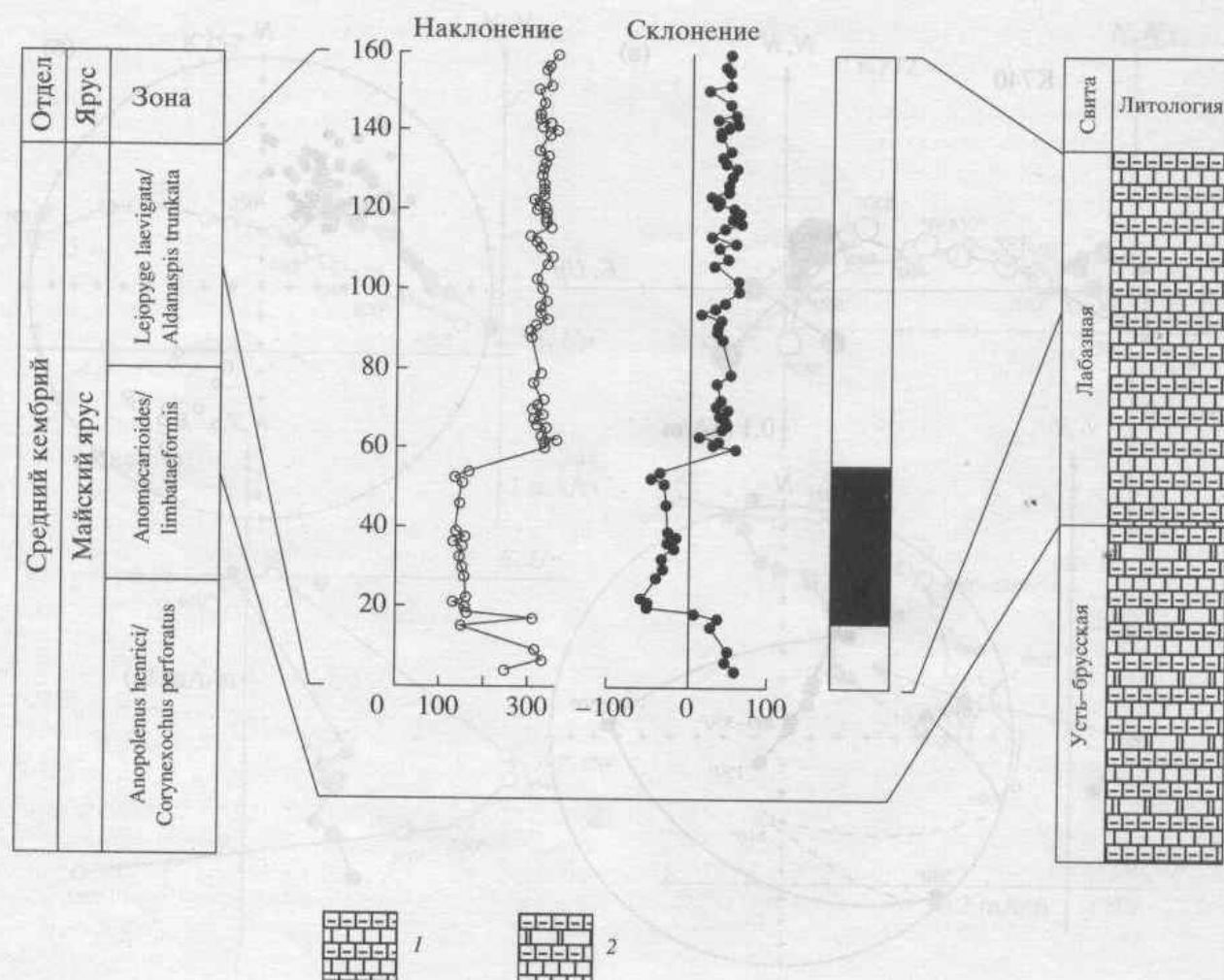


Рис. 4. Стратиграфическое положение изученного разреза, его литология и магнитостратиграфия. 1 – чередование известняков и глинистых известняков; 2 – чередование доломитов, известняков и глинистых известняков. Черным цветом на магнитостратиграфическом разрезе показаны интервалы разреза прямой полярности, белым – обратной полярности.

писи для одновозрастных интервалов разрезов, расположенных на расстоянии около 1500 км еще раз подтверждает надежность полученного результата.

К сожалению, в настоящее время не представляется возможным точно оценить время накопления исследованного интервала разреза. Это связано, главным образом, с отсутствием надежных изотопных определений возраста границ стратиграфических подразделений среднего кембрия, а также границ среднего кембрия с верхним и нижним отделами. Согласно Гротзингеру с соавторами и Баурингу с соавторами [Grotzinger et al., 1995; Bowring et al., 1993] общая продолжительность среднего и позднего кембрия составляет 15 млн. лет. В этом случае, если допустить приблизительно равную длительность временных интервалов, соответствующих каждой из 14 трилобитовых зон среднего и позднего кембрия, длительность формирования исследованных пород

должна составлять не более 600 тыс. лет. Если же исходить из того, что монотонные в литологическом отношении породы майского яруса р. Кулюмбэ (общей мощностью около 1100 м) накапливались более или менее равномерно, и считать, что длительность майского яруса составляет приблизительно 1/5 суммарной продолжительности среднего и позднего кембрия, то оценка длительности формирования изученных 165 м верхнемайских пород составит чуть менее 500 тыс. лет.

В этом случае полученный результат может означать (более уверенный вывод можно будет сделать после получения палеомагнитной записи для более длительного стратиграфического интервала), что конец среднего кембрия был эпохой частой смены полярности геомагнитного поля, при этом частота инверсий была близка к частоте инверсий магнитного поля Земли в позднем Кайнозое.

СРАВНЕНИЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ПОЛЮСОВ

Палеомагнитный полюс, соответствующий выделенной характеристической компоненте, имеет координаты $\Phi = -41^\circ$, $\Lambda = 134^\circ$ (или $\Phi = -42^\circ$, $\Lambda = 134^\circ$, если рассчитывать его положение как среднее для виртуальных полюсов) и расположен в юго-восточной части Индийского океана южнее Австралийского континента (табл. 2).

Для решения вопроса о целостности Сибирской платформы необходимо сравнить палеомагнитные полюсы, полученные для одновозрастных пород из разных ее частей. Для среднего кембрия Сибирской платформы имеется около 20 определений сделанных в разное время и существенно различающихся по качеству и надежности. Кроме того, значительная часть этих данных получена по породам верхоленской свиты юга и юго-запада Сибирской платформы. Возраст этой, небогатой фаунистическими остатками, свиты рассматривался в ряде магнитостратиграфических работ как верхнекембрийский [см. напр. Храмов и др., 1974]. Однако, в последней сводке, посвященной стратиграфии кембрия Сибирской платформы [Розанов и др., 1992], указывается на то, что основной объем свиты накапливался в течение среднего кембрия и только самые верхи этой свиты имеют позднекембрийский возраст. Это обстоятельство позволяет нам включить палеомагнитные данные по верхоленской свите в массив анализируемых среднекембрийских данных. Качество данных в какой-то мере может быть охарактеризовано параметром DC, показывающим степень магнитной чистки, использовавшейся при выделении древней компоненты намагниченности. Этот параметр приводится в Мировой палеомагнитной базе данных [McElhinny and Lock, 1990] для каждого палеомагнитного определения. Величина DC = 0 указывает на то, что магнитная чистка (помимо так называемой "временной") вообще не производилась, DC = 1 означает, что чистка была выполнена только для отдельных образцов (для того, чтобы показать, что исходное направление намагниченности несущественно меняется в процессе размагничивания), при DC = 2 вся коллекция прошла чистку при каком-то определенном режиме, DC = 3 означает,

что этот режим был выбран исходя из результатов детальной чистки пилотной коллекции образцов; при DC = 4 было выполнено полное детальное размагничивание всех образцов, при этом для вычисления направления намагниченности использовался метод главных компонент [Kirschvink, 1980] и, наконец, DC = 5 означает, что помимо действий, выполненных в предыдущем пункте, был использован также какой-либо альтернативный метод чистки.

Для расчета средних палеомагнитных полюсов в настоящей работе мы пытались использовать данные из Мировой Палеомагнитной базы данных (МПБД), имеющие DC не менее 2 (табл. 2). Однако при внимательном анализе приведенных в таблице 2 результатов, оказалось, что не все из них являются независимыми и, в статистическом смысле, равновесными. Так, например, определение № 5448 и 5420, 5469 и AAA получены, вероятно, по одним и тем же коллекциям, определение № 5445 является синтезом результатов, соответствующих определениям № 5437 и 5403, а результат № 5390 является осреднением трех отдельных независимых определений. Для того, чтобы избежать погрешностей, связанных с названными обстоятельствами, мы были вынуждены обратиться к информации содержащейся в Палеомагнитных каталогах (см. табл. 3) и послужившей основой для приведенных в таблице 2 результатов (Палеомагнитные направления..., 1971, 1973, 1979). Эти данные и были использованы для расчета средних палеомагнитных полюсов для юго-запада и северо-востока Сибирской платформы (табл. 3).

В расчет не были включены данные по Хараялаху (Осипова, 1988), которые не были подтверждены в ходе последующих исследований (Павлов и др., готовится в печать) и по разрезу Ичера (верхнее течение р. Лена, Родионов и др., 1999), по причинам, которые будут рассмотрены ниже.

В настоящее время существует несколько способов тестирования значимости различий для средних направлений, которые можно использовать для сравнения положения палеомагнитных полюсов.

Используемое в некоторых модификациях теста складки сравнение средних направлений по

Таблица 1. Палеомагнитные направления изученных среднекембрийских пород

| N | | Географическая система координат | | | | Стратиграфическая система координат | | | | Тест обращения | |
|-----------------------|----|----------------------------------|-------|------|---------------|-------------------------------------|-------|------|---------------|----------------|------------|
| | | D | I | K | α_{95} | D | I | K | α_{95} | γ | γ_c |
| Нормальная полярность | 14 | 143.3 | -21.8 | 33.3 | 7.0 | 145.9 | -37.0 | 28.1 | 7.6 | | |
| Обратная полярность | 57 | 320.8 | 25.0 | 21.8 | 4.1 | 324.0 | 42.6 | 28.8 | 3.6 | 5.8 | 8.1 |
| Сумма | 71 | 321.3 | 24.4 | 23.5 | 3.5 | 324.4 | 41.5 | 28.5 | 3.2 | | |

методу, предложенному Макфадденом и Джонсом [McFadden, Jones, 1981] предполагает, что кучности всех анализируемых совокупностей различаются статистически незначимо и векторы каждой совокупности распределены в соответствии с распределением Фишера [Fisher, 1953]. По этому, кроме самого сравнения средних направлений необходимы дополнительные провер-

ки выполнения этих условий, а когда они не выполняются (как в нашем случае при значимом различии кучностей – табл. 1 и 3) результат тестирования следует рассматривать только как приближенный [Шипунов, Муравьев, 2000].

Необходимо отметить, что палеомагнитное определение по р. Кулюмбэ является, по существу, изолированным наблюдением, таким же, как

Таблица 2. Палеомагнитные полюсы среднего кембрия северо-востока и юго-запада Сибирской платформы

| Регион | № ре- зуль- тата в МПБД | Координаты места отбора | | Координаты полюса | | dp/dm | DK | Автор, год | Источник | Прим. |
|--|-------------------------|-------------------------|-------|-------------------|-----|----------|----|------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| | | φ | λ | Φ | Λ | | | | | |
| Оленек СВ Сибирской Платформы | 5448 | 68.0 | 112.0 | -31 | 141 | 7.4/13.9 | 3 | Храмов, 1982 | МПБД | |
| | 5420 | 68.0 | 112.0 | -38 | 141 | 7.7/13.6 | 3 | Осипова, 1973 | МПБД | |
| | 5469 | 71.0 | 122.5 | -36 | 135 | 4.4/7.9 | 2 | Писаревский, Гуревич, 1986 | МПБД | |
| | AAA | 71.0 | 122.5 | -36 | 140 | 3.0/5.2 | 4 | Писаревский, Гуревич, Храмов, 1998 | Pisarevsky et al., 1998 | Низы Cm2 |
| р. Кулюмбэ СЗ Сибирской платформы | | 68.0 | 88.8 | -41 | 134 | 2.4/3.9 | 4 | Павлов, Галле, Шипунов, Водовозов | Настоящая работа | |
| | | | | | | | | | | |
| ЮЗ Сибирской платформы (верхоленская свита) | 5390 | 54.3 | 104.6 | -34 | 134 | 3.0/6.0 | 2 | Гурарий, Трубихин, 1965 | МПБД | Точка 1 |
| | 5437 | 55.0 | 105.0 | -29 | 129 | 5.6/11.1 | 2 | Кравчинский, Давыдов, 1979 | МПБД | Точка 2 |
| | 5445 | 54.5 | 105.5 | -32 | 133 | 1.5/3.0 | 2 | Храмов, 1982 | МПБД | Точка 3 |
| | 5403 | 54.5 | 105.5 | -36 | 134 | 1.5/3.0 | 2 | Кравчинский и Давыдов, 1971 | МПБД | Точка 4 |
| | 5391 | 57.0 | 107.0 | -39 | 125 | 4.7/9.2 | 1 | Родионов, 1966 | МПБД | Точка 5 |
| | 5446 | 58.0 | 108.8 | -36 | 126 | 2.1/4.1 | 1 | Храмов, 1982 | МПБД | Точка 6 |
| | 5411 | 58.0 | 109.0 | -39.0 | 129 | 2.1/4.1 | 1 | Родионов, 1973 | МПБД | Точка 7 |
| | 5413 | 58.0 | 109.5 | -39.0 | 135 | 2.7/5.2 | 1 | Родионов, 1973 | МПБД | Точка 8 |
| | 5415 | 58.5 | 110.0 | -36 | 121 | 3.1/6.1 | 1 | Родионов, 1973 | МПБД | Точка 9 |
| | 5414 | 58.5 | 110.0 | -38.0 | 118 | 5.2/10.2 | 1 | Родионов, 1973 | МПБД | Точка 10 |
| | 5447 | 58.6 | 110.3 | -34 | 120 | 1.5/3.0 | 1 | Храмов, 1982 | МПБД | Точка 11 |
| | 5438 | 58.7 | 111.0 | -30.0 | 119 | 2.0/4.0 | 1 | Родионов, 1973 | МПБД | Точка 12 |
| | 5439 | 59.0 | 112.0 | -40.0 | 114 | 1.1/2.1 | 1 | Родионов, 1973 | МПБД | Точка 13 |
| | 5407 | 60.0 | 114.0 | -34 | 103 | 3.6/7.0 | 1 | Родионов и Осипова, 1971 | МПБД | Точка 14 |
| | - | 58.5 | 109.8 | -38 | 124 | 2.4/4.6 | 4 | Родионов и др., 1999 | Родионов и др., 1999 | Д. Ичера Точка 15 |

Примечание к таблицам 1 и 2. D – склонение, I – наклонение; ϕ, λ – широта и долгота места отбора; Φ и Λ – широта и долгота палеомагнитного полюса; K и α_{95} – кучность и радиус круга доверия; dp/dm – полуоси овалов доверия; DC – параметр, показывающий степень магнитной чистки; γ и γ_c – угловое расстояние между сравниваемыми векторами и критический угол.

Таблица 3. Исходные данные для сравнения палеомагнитных полюсов

| Индекс определения | λ | ϕ | Λ | Φ | κ | A_{95} | N |
|--|-----------|--------|-----------|--------|----------|----------|-----|
| юго-запад Сибирской платформы (район р. Ангары) | | | | | | | |
| 12-06-1 ⁽¹⁾ | 105.0 | 54.5 | 136 | -35 | | | |
| 12-06-2 ⁽¹⁾ | 104.5 | 54.0 | 142 | -40 | | | |
| 12-06-3 ⁽¹⁾ | 104.5 | 54.5 | 118 | -25 | | | |
| 12-41 ⁽³⁾ | 105.0 | 55.0 | 129 | -29 | | | |
| 12-17 ⁽¹⁾ | 105.5 | 54.5 | 134 | -36 | | | |
| 12-05 ⁽¹⁾ | 106.0 | 54.0 | 130 | -33 | | | |
| северо-восток Сибирской платформы (долина р. Оленек) | | | | | | | |
| 12-28-1 ⁽²⁾ | 112.0 | 68.0 | 145 | -30 | | | |
| 12-28-2 ⁽²⁾ | 112.0 | 68.0 | 145 | -34 | | | |
| 12-28-3 ⁽²⁾ | 112.0 | 68.0 | 138 | -41 | | | |
| AAA ⁽⁴⁾ | 122.5 | 71.0 | 140 | -36 | | | |
| северо-запад Сибирской платформы (разрез р. Кулюмбэ) | | | | | | | |
| K | 88.8 | 68.0 | 134 | -41 | | | |
| Средние | | | | | | | |
| A | | | 131.1 | -33.2 | 87.8 | 7.2 | 6 |
| A (без 12-06-3) | | | 134.0 | -34.7 | 191.5 | 5.5 | 5 |
| O | | | 142.1 | -35.3 | 224.9 | 6.1 | 4 |
| K | | | 134 | -41 | | | 1 |
| A + O | | | 135.5 | -34.2 | 88.3 | 5.2 | 10 |
| A + O (без 12-06-3) | | | 137.6 | -35.0 | 162.3 | 4.1 | 9 |
| A + O + K | | | 135.2 | -34.8 | 92.2 | 4.8 | 11 |
| A + O + K (без 12-06-3) | | | 137.1 | -35.6 | 162.8 | 3.8 | 10 |

Примечание. A, O, и K – юго-запад, северо-восток и северо-запад Сибирской платформы соответственно. ⁽¹⁾, ⁽²⁾, ⁽³⁾ и ⁽⁴⁾ – каталоги палеомагнитных полюсов [Палеомагнитные направления..., 1971, 1973, 1979] и [Pisarevsky et al., 1997], соответственно.

каждое из шести наблюдений, входящих, например, в среднее направление для юго-западного региона (табл. 3). Для анализа такого рода данных используют адаптированные к этой ситуации методы [McFadden, McElhinny, 1990; Шипунов, Бретштейн, 1999].

Сравнение имеющихся палеомагнитных полюсов, выполненное с использованием этих методов (табл. 3 и 4) показало следующее. Палеомагнитные полюсы, полученные для трех удаленных друг от друга регионов, близки между собой. Использованные критерии “говорят” о незначимом различии как палеомагнитных полюсов Кулюмбэ от полюсов СВ и ЮЗ Сибирской платформы, так и полюсов СВ и ЮЗ между собой.

К сожалению, вид представления использованных исходных данных в МПБД и в каталогах палеомагнитных полюсов [Палеомагнитные направления..., 1971, 1973, 1979], а также сильные различия в значениях кучности различных распределений полюсов, не дают возможности строго использовать более мощные тесты [McFadden, Jones, 1981].

Таблица 4. Сравнение средних палеомагнитных полюсов

| Группы полюсов | Число определений | γ | γ_c |
|-------------------------|-------------------|----------|------------|
| A и O | 6 и 4 | 9.3+ | 9.4 |
| A и O (без 12-06-3) | 5 и 4 | 6.7+ | 7.4 |
| A + O и K | 6 + 4 и 1 | 6.9+ | 16.9 |
| A + O и K (без 12-06-3) | 5 + 4 и 1 | 6.6+ | 12.8 |
| A и K | 6 и 1 | 8.1+ | 19.0 |
| A и K (без 12-06-3) | 5 и 1 | 6.3+ | 13.6 |
| O и K | 4 и 1 | 8.5+ | 15.7 |
| (A + O + K) и 12-06-3* | 10 и 1 | 19.5- | 12.5 |

Примечание. A, O и K – Юго-Запад, Северо-Восток и Северо-Запад Сибирской платформы соответственно, γ и γ_c – угловое расстояние между палеомагнитными полюсами и соответствующее критическое значение – [McFadden, 1990; McFadden, McElhinny, 1990]. Результаты тестирования: плюс и минус – средние координаты палеомагнитных полюсов различаются незначимо и значимо соответственно.

* Проверка значимости отклонения определения 12-06-3 от остальных палеомагнитных полюсов [Шипунов, Бретштейн, 1999] (вероятность правильности этого вывода более 99.5%).

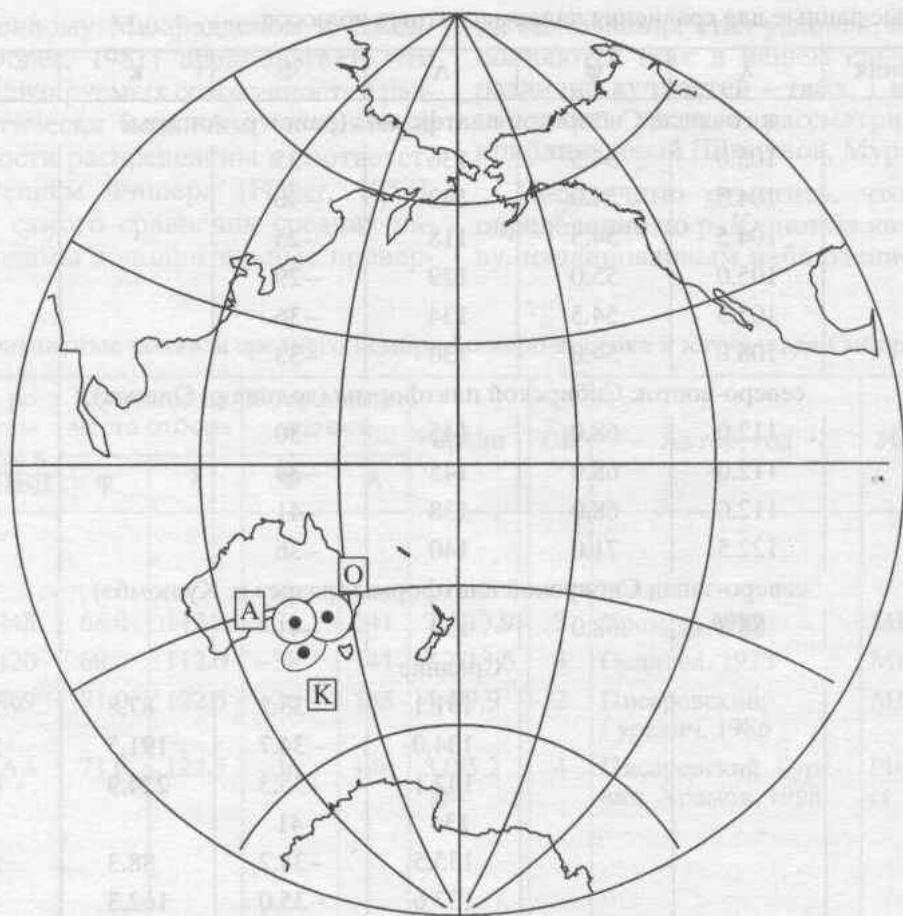


Рис. 5. Сравнение положения среднекембрийских палеомагнитных полюсов северо-востока (O), юго-запада (A) и северо-запада (K) Сибирской платформы.

Отметим, что палеомагнитное определение 12–06–3 имеет координаты, заметно отличающиеся от остальной совокупности полюсов. С вероятностью 99.5% [Шипунов, 1993] это определение не принадлежит к рассматриваемой совокупности и, следовательно, может быть отброшено.

В таблице 4 представлены результаты тестирования как с использованием этого определения, так и без него. И в том, и в другом случае использованные тесты показывают, что различия рассматриваемых палеомагнитных полюсов являются статистически незначимыми.

Близость палеомагнитных полюсов (рис. 5), полученных для регионов, удаленных друг от друга на тысячи километров, указывает, с одной стороны, на существенное преобладание дипольной составляющей в магнитном поле Земли среднего кембрия, и, с другой стороны, свидетельствует в пользу отсутствия крупномасштабных относительных смещений блоков, отвечающих СЗ, ЮВ, СВ частям Сибирской платформы начиная, по крайней мере, со среднего кембрия.

Следует отметить, что совпадение положений палеомагнитных полюсов было бы возможно и в

том случае, если бы в геомагнитном поле преобладали недипольные компоненты. Однако при этом следовало бы допустить, что последующие тектонические вращения блоков Сибирской платформы были строго согласованы таким образом, чтобы свести в единую область исходно различающиеся полюсы. Последнее допущение представляется нам крайне маловероятным.

Отдельный интерес представляет рассмотрение палеомагнитных полюсов верхоленской свиты юго-запада и юга Сибирской платформы. Если объединить все имеющиеся данные, то обнаруживается интересная закономерность, состоящая в том, что по мере смещения к востоку, происходит закономерное изменение палеомагнитных направлений (рис. 6а и 6б): более восточным разрезам соответствуют более западные положения палеомагнитных полюсов. При этом коэффициент корреляции соответствующих долгот составляет 0.72, а, в случае исключения из рассмотрения наименее надежных данных с DC = 0, этот коэффициент увеличивается до 0.84 (рис. 6). На рис. 6а видно, что при движении в восточном-северо-восточном направлении происходит зако-

номерный разворот палеомагнитных склонений по часовой стрелке.

Важно отметить, что, несмотря на то, что здесь мы рассматриваем палеомагнитные определения, полученные при ограниченном применении магнитных чисток, следует ожидать, что соответствующие склонения не будут заметно отличаться от тех, которые были бы получены с использованием более интенсивной обработки коллекций. Этот вывод имеет под собой следующее обоснование. Детальные исследования пород верхоленской свиты [см. напр. Родионов и др., 1999; Гуарий и Трубихин, 1968] показывают, что в общем случае (за исключением зон перехода) естественная остаточная намагниченность этих пород состоит из первичной компоненты и наложенной вторичной, имеющей современный возраст и характеризующейся высоким наклонением. Присутствие такой компоненты вносит существенное изменение в наклонение суммарного вектора, однако слабо влияет на его склонение. Более того, поскольку породы верхоленской свиты содержат зоны прямой и обратной полярности, при осреднении, как показывают простые модельные расчеты, влияние вторичной компоненты на склонение еще более ослабляется и даже при сильном подмагничивании (100–150%) не превышает 2°–3°. И, наконец, очевидно (и это легко подтверждается теми же модельными расчетами), что в пределах рассматриваемого региона подмагничивание отклоняет исходные векторы в одну сторону, практически не изменения при этом разницу склонений между различными точками.

Наблюдаемое распределение палеомагнитных векторов может быть объяснено с позиций выдвинутой ранее гипотезы об относительном вращении в среднем палеозое юго-восточного (Алданского) блока Сибирской платформы относительно остальной ее части [Павлов и Петров, 1997] и о положении соответствующего полюса вращения у основания (в плане) Вилюйской синеклизы. В этом случае, наблюденное распределение векторов легко объясняется V-образным расщеплением фундамента платформы, происходящем при относительном вращении Алданского и Ангаро-Анабарского блоков вокруг полюса, расположенного южнее линии, соединяющей рассматриваемые обнажения, приблизительно между долготами 107°–113° в.д. При этом, поскольку полюс самых западных разрезов верхоленской свиты (именно они использовались для расчета среднего полюса ЮЗ Сибирской платформы) совпадает с полюсом Кулюмбэ, можно полагать, что эти разрезы лежат уже вне зоны растяжения. К такому же выводу можно прийти относительно самого восточного разреза – разреза Хамра (табл. 1, рез-т № 5407), поскольку полученный по среднему ордовику близлежащего разреза Поло-

винка ($\phi = 60.1^\circ$; $\lambda = 113.7^\circ$) палеомагнитный полюс совпадает с одновозрастным полюсом, полученным по разрезу, расположенному значительно восточнее (Torsvik et al., $(\phi = 60^\circ$; $\lambda = 118^\circ$).

Разрез Ичера, по которому недавно было получено высококачественное палеомагнитное определение [Родионов и др., 1999], соответствует центральной части графика, изображенного на рис. 6 и, следовательно, должен быть отнесен к зоне растяжения фундамента. Поэтому, палеомагнитный полюс, рассчитанный для этого разреза, вероятно, не может быть отнесен ко всей Сибирской платформе или к какой-либо крупной ее части.

Другое, видимо, не менее вероятное объяснение наблюдаемого распределения палеомагнитных векторов верхоленской свиты, может быть связано с предполагаемой среднепалеобайской коллизией Баргузинского микроконтинента и Сибирской платформы, повлекшей за собой вместе с образованием Байкало-Патомской дуги соответствующие деформации фундамента платформы.

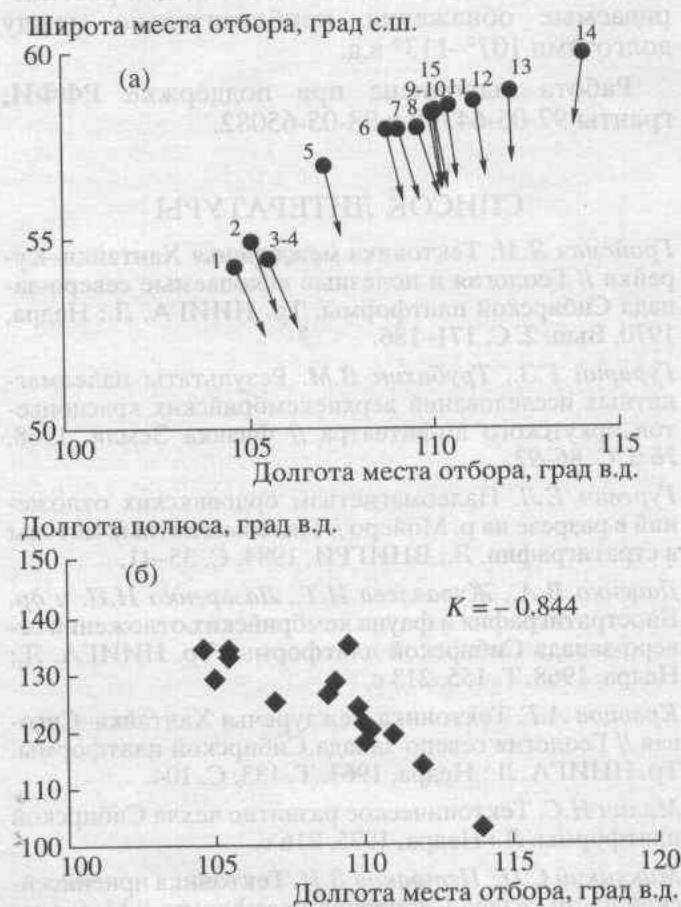


Рис. 6. а – характер изменения палеомагнитных склонений в обнажениях верхоленской свиты в зависимости от их географического положения. б – характер изменения долгот палеомагнитных полюсов верхоленской свиты в зависимости от долготы изученных обнажений.

ВЫВОДЫ

1. В течение последних 700–500 тыс. лет среднего кембрия произошло не менее двух инверсий геомагнитного поля, при том в самом конце среднего кембрия магнитное поле Земли имело обратную полярность.

2. Полученный результат указывает, с одной стороны, на существенное преобладание дипольной составляющей в магнитном поле Земли в среднем кембрии, и, с другой стороны, свидетельствует в пользу отсутствия крупномасштабных относительных смещений блоков, отвечающих северо-западу, юго-востоку и северо-востоку Сибирской платформы.

3. Палеомагнитные направления верхоленской свиты по мере движения от района верхнего течения р. Лены в северо-восточном направлении закономерно разворачиваются по часовой стрелке, что может быть объяснено V-образным растяжением фундамента платформы, происходившим при относительном вращении Алданского и Ангаро-Анабарского блоков вокруг полюса, расположенного южнее линии, соединяющей рассматриваемые обнажения, приблизительно между долготами 107°–113° в.д.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты 97-05-64798 и 98-05-65082.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гройсман Я.М. Тектоника междуречья Хантайки–Курейки // Геология и полезные ископаемые северо-запада Сибирской платформы. Тр. НИИГА. Л.: Недра, 1970. Вып. 2. С. 171–186.

Гурарий Г.З., Трубихин В.М. Результаты палеомагнитных исследований верхнекембрийских красноцветов иркутского амфитеатра // Физика Земли. 1968. № 6. С. 86–92.

Гуревич Е.Л. Палеомагнетизм ордовикских отложений в разрезе на р. Мойеро // Палеомагнитные методы в стратиграфии. Л.: ВНИГРИ, 1984. С. 35–41.

Даценко В.А., Журавлева И.Т., Лазаренко Н.П. и др. Биостратиграфия и фауна кембрийских отложений северо-запада Сибирской платформы. Тр. НИИГА. Л.: Недра, 1968. Т. 155. 213 с.

Кравцов А.Г. Тектоника междуречья Хантайка–Сиговая // Геология северо-запада Сибирской платформы. Тр. НИИГА. Л.: Недра, 1967. Т. 133. С. 104.

Малич Н.С. Тектоническое развитие чехла Сибирской платформы. Л.: Недра, 1975. 216 с.

Микуцкий С.П., Петраков В.И. Тектоника приенисейской части севера Сибирской платформы // Материалы по геологии, гидрогеологии, геофизике и полезным ископаемым Западной Сибири. Тр. СНИИГИМС. Новосибирск, 1961. Вып. 7. С. 131.

Митрофанов Г.Л., Таскин А.П. Структурные соотношения Сибирской платформы со складчатым окружением // Геотектоника. 1994. № 1. С. 3–15.

Осипова Э.П. Палеомагнетизм отложений среднего кембрия Чекуровской антиклинали // Палеомагнетизм и аккреционная тектоника. Л.: ВНИГРИ, 188 с.

Павлов В.Э., Петров П.Ю. Палеомагнетизм рифейских отложений Иркинеевского кряжа – новый довод в пользу единства Сибирской платформы в среднем рифее // Физика Земли. 1997. № 6. С. 42–55.

Палеомагнитные направления и палеомагнитные полюса. Данные по СССР. Л., 1971. Вып. 1. 124 с.

Палеомагнитные направления и палеомагнитные полюса. Данные по СССР. М., 1973. Вып. 3. 43 с.

Палеомагнитные направления и палеомагнитные полюса. Данные по СССР. М., 1979. Вып. 4. 51 с.

Родионов В.П., Храмов А.Н., Писаревский С.А., Попов В.В., Иосифиди А.Г. Палеомагнитные инверсии в раннем палеозое. 1 – Позднекембрийская инверсия, записанная в разрезе Ичера, юг Сибирской платформы // Физика Земли. 1998. № 12. С. 50–59.

Розанов А.Ю., Репина Л.Н., Аполлонов М.К., Шабанов Ю.Я. и др. Кембрий Сибири. Тр. ИГИГ. Новосибирск: Наука, 1992. Вып. 788. С. 133.

Розова А.В. Биостратиграфия и описание трилобитов среднего и верхнего кембрия северо-запада Сибирской платформы. М.: Наука, 1964. 146 с.

Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А., Родионов В.П. и др. Палеомагнетизм палеозоя. Л.: Недра, 1974. 238 с.

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

Шипунов С.В. Основы палеомагнитного анализа. Теория и практика. Тр. ГИН РАН. М.: Наука, 1993. Вып. 487. 159 с.

Шипунов С.В., Муравьев А.А. Чувствительность и надежность теста складки в палеомагнетизме // Физика Земли. 2000. № 7.

Шипунов С.В., Бретиштейн Ю.С. Проблемы компонентного анализа в палеомагнетизме // Физика Земли. 1999. № 3. С. 52–61.

Bowring S.A., Grotzinger J.P., Isachsen C.E., Knoll A.H., Pelechaty S.M., Kolosov P. Calibration rates of Early Cambrian evolution // Science. 1993. V. 261. P. 1293–1296.

Collinson D. Paleomagnetism. Cambridge University press. Cambridge, 1980. С. 521.

Enkin R.J. Formation et deformation de l'Asie depuis la fin de l'ère primaire // These de doctorat de l'université Paris 7. 1990. 120 p.

Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data // Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada. 1994. P. 16.

Grotzinger J.P., Bowring S.A., Saylor B.Z., Kaufman A.J. Biostratigraphic and geochronologic constraints on early animal evolution // Science. 1995. V. 270. P. 598–604.

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.

McFadden P.L. A new fold test for paleomagnetic studies // Geophys. J. Int. 1990. V. 103. P. 163–169.

McFadden P.L., Jones D.L. The fold test in paleomagnetism // Geophys. J.R. astron. Soc. 1981. V. 67. P. 53–58.

- McFadden P.L., McElhinny M.* Classification of reversal test in paleomagnetism // *Geophys. J. Int.* 1990. V. 103. P. 725–729.

McElhinny M., Lock J. Global paleomagnetic database project // *Phys. Earth Planet. Int.* 1990. V. 63. P. 1–6.

Pavlov V.E., Gallet Y. Upper Cambrian to Middle Ordovician magnetostratigraphy from the Kulumbe river section (northwestern Siberia) // *Phys. Earth and Plan. Int.* 1998. V. 108. P. 49–59.

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.

Torsvik T.N., Tait J., Moralev V.M., McKerrow W.S., Sturt B.A. & Roberts D. Ordovician paleogeography of Siberia and adjacent continents // *Geological Society, London*, 1995a. V. 152. P. 279–287.

Van der Voo R. Paleomagnetism of the Atlantic Tethys and Iapetus oceans. Cambridge Univ. Press, 1993. 411 p.

Zijderveld J.D.A. A.C. demagnetization of rocks: analysis of results. – In: Methods in paleomagnetism. Eds. Collinson D.W., Creer K.M. Amsterdam. Elsevier, 1967. P. 254–268.