

УДК 550.384.5 + 551.248.1

НОВЫЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ И ИЗОТОПНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПОЗДНЕПРОТЕРОЗОЙСКОМУ МАГМАТИЧЕСКОМУ КОМПЛЕКСУ СЕВЕРНОГО СКЛОНА АНАБАРСКОГО ПОДНЯТИЯ

© 2006 г. Р. В. Веселовский, П. Ю. Петров, С. Ф. Карпенко, Ю. А. Костицын, В. Э. Павлов

Представлено академиком Е.Е. Милановским 18.12.2005 г.

Поступило 23.12.2005 г.

Одним из наиболее дискуссионных вопросов геологии позднего докембрия является вопрос о существовании палеопротерозойского (2.1–1.5 млрд лет назад) суперконтинента Колумбия. Дальнейшая история развития входивших в него древних кратонных блоков и Сибирского кратона в частности, вплоть до неопротерозойского времени также остается неясной. Согласно К. Конди [7] в результате распада Колумбии образовались два суперкратона – Арктика (Лаврентия, Сибирь, Балтика, Северная Австралия и Северный Китай) и Атлантика (Амазония, Конго, Западная Африка, Северная Африка и Рио-де-ла-Плата), вошедшие затем в состав позднепротерозойского суперконтинента Родиния.

Предлагаемая К. Конди схема отличается от сценариев дезинтеграции других известных в истории Земли суперконтинентов, которые распадались на значительно большее число кратонных блоков. Подтверждение этой схемы может внести серьезные коррективы в современные представления о процессах возникновения и распада суперконтинентов.

Палеомагнитные данные по древним кратонным блокам, предположительно входившим в состав гипотетического суперконтинента Колумбия и дочерних суперкратонов – Арктики и Атлантики, могут подтвердить или опровергнуть факт их существования и наложить существенные ограничения на их конфигурацию.

С этой точки зрения интересно провести сравнение соответствующих палео- и мезопротерозойских палеомагнитных полюсов для Сибири и Лаврентии. За последние годы получено некото-

рое количество надежных палеомагнитных определений по объектам Лаврентии указанного возрастного интервала. Для Сибири число таких данных крайне ограничено [3, 8]. Поэтому получение новых ключевых палеомагнитных полюсов для Сибирской платформы, имеющих надежную возрастную привязку и высокую степень палеомагнитной надежности, является важной задачей, решение которой позволит продвинуться в разработке мезо- и палеопротерозойского сегмента кривой кажущейся миграции полюса (КМП) и провести сравнение соответствующих сегментов КМП Сибири и Лаврентии.

С этой целью в 2004–2005 гг. нами выполнены палеомагнитные и изотопно-геохронологические исследования интрузивных тел, относимых к позднепротерозойскому магматическому комплексу севера Анабарского поднятия. Основные результаты этих исследований представлены в настоящем сообщении.

Объект исследований. Летом 2004 г. нами выполнены полевые исследования и палеомагнитное опробование интрузивных тел, обнажающихся на северной окраине Сибирской платформы в долине р. Фомич (левый приток р. Попигай) на протяжении более 150 км (рис. 1). Всего было опробовано 16 даек и силлов базитового состава.

На основании петрохимических и изотопно-геохимических данных, а также с учетом простирания и географического положения А.В. Округин с соавторами [11] полагают, что образование основной части силлов и даек Анабарского поднятия произошло в протерозое и выделяют среди них, по крайней мере, 10 генераций с возрастом от 1800 до 900 млн лет.

Изученные интрузивные тела принадлежат магматическому комплексу, развитому в изучаемом районе исключительно в рифейских отложениях вплоть до самых верхних их горизонтов (видимая кровля юस्ताхской свиты) и отсутствующему среди несогласно залегающих венд-кембрийских отложений (старореченская и вышележащие сви-

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской Академии наук, Москва
Геологический институт
Российской Академии наук, Москва
Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И.Вернадского
Российской Академии наук, Москва*

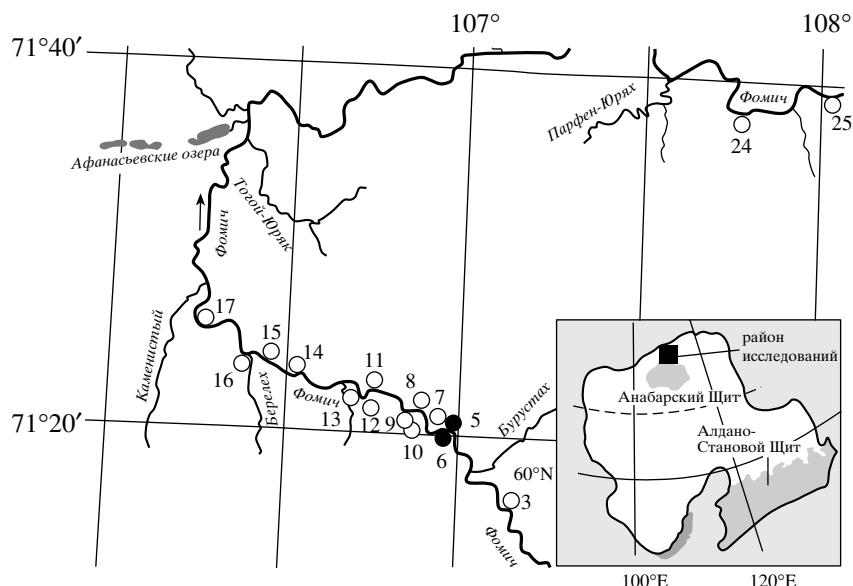


Рис. 1. Расположение района исследований на Сибирской платформе и точки отбора палеомагнитных (белые кружки) и геохимических (черные кружки) проб интрузивных тел долины р. Фомич.

ты). Следовательно, верхний возрастной интервал внедрения этих интрузий ограничивается временем предстарореченского перерыва. Согласно последним данным Rb–Sr-датирования время накопления и диагенеза погружения отложений юस्ताхской свиты оценивается в 1280–1270 млн лет [2], а K–Ar-возраст старореченской свиты составляет 673–624 млн лет [4].

K–Ar-датировки четырех субвулканических тел бассейна р. Фомич, выполненные Е.С. Кутейниковым с соавторами, составляют 912 (для двух тел), 1100 и 1540 млн лет [4].

Таким образом, подавляющее большинство имевшихся до последнего времени данных указывало на то, что изученные субвулканические тела образовались в интервале 1500–600 млн лет назад.

Результаты изотопных исследований. Для определения изотопного возраста были использованы пробы, отобранные из силла, вскрытого в долине р. Фомич, приблизительно в 10 км ниже устья ручья Бурестах (рис. 1, точки 5 и 6). Исследовались валовая проба, а также плагиоклаз, апатит и два пироксена, выделенные из исходного образца с использованием магнитной сепарации и тяжелых жидкостей. Проба пироксен-1 представляла собой очень чисто отобранный гиперстен, тогда как проба пироксен-2 представляла собой тонкую вкрапленность ортопироксена в магнетите. Изотопный состав неодима и самария измерялся на 10-коллекторном масс-спектрометре “Triton TI” в ГЕОХИ РАН с точностью не хуже 0.005% для отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ и 0.1% для отношения $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$. На основе полученных результатов построена изохронная диа-

грамма, по которой возраст изученных долеритов определяется с довольно высокой для используемого метода точностью и составляет 1513 ± 51 (2 σ) млн лет.

Результаты палеомагнитных исследований. За исключением одного силла (рис. 1, точка 13) все изученные тела содержат информацию о направлении древнего геомагнитного поля. Естественная остаточная намагниченность (ЕОН) большинства изученных образцов, как правило, содержит только две компоненты намагниченности – низкотемпературную современную и высокотемпературную древнюю, факт наличия которых легко определяется при анализе результатов температурной магнитной чистки (рис. 2а). Однако в некотором количестве образцов в процессе чистки мы наблюдаем специфическое поведение вектора ЕОН, которое, по аналогии с описанным нами ранее для пермо-триасовых траппов долины р. Столбовой [1], может указывать на частичное самообращение намагниченности (рис. 2а, обр. 193).

Векторы высокотемпературной компоненты образуют биполярное распределение (рис. 2б). Тест обращения [9], выполненный для выделенных направлений на уровне образцов, дает, однако, на 95%-м уровне доверия отрицательный результат ($\chi/\chi_c = 15.5/14.0$), что, возможно, связано с неполным удалением современной компоненты в процессе чистки.

Тем не менее, как показывают практика и простые модельные эксперименты, направления, рассчитанные при осреднении таких биполярных распределений, слабо (часто в пределах овала до-

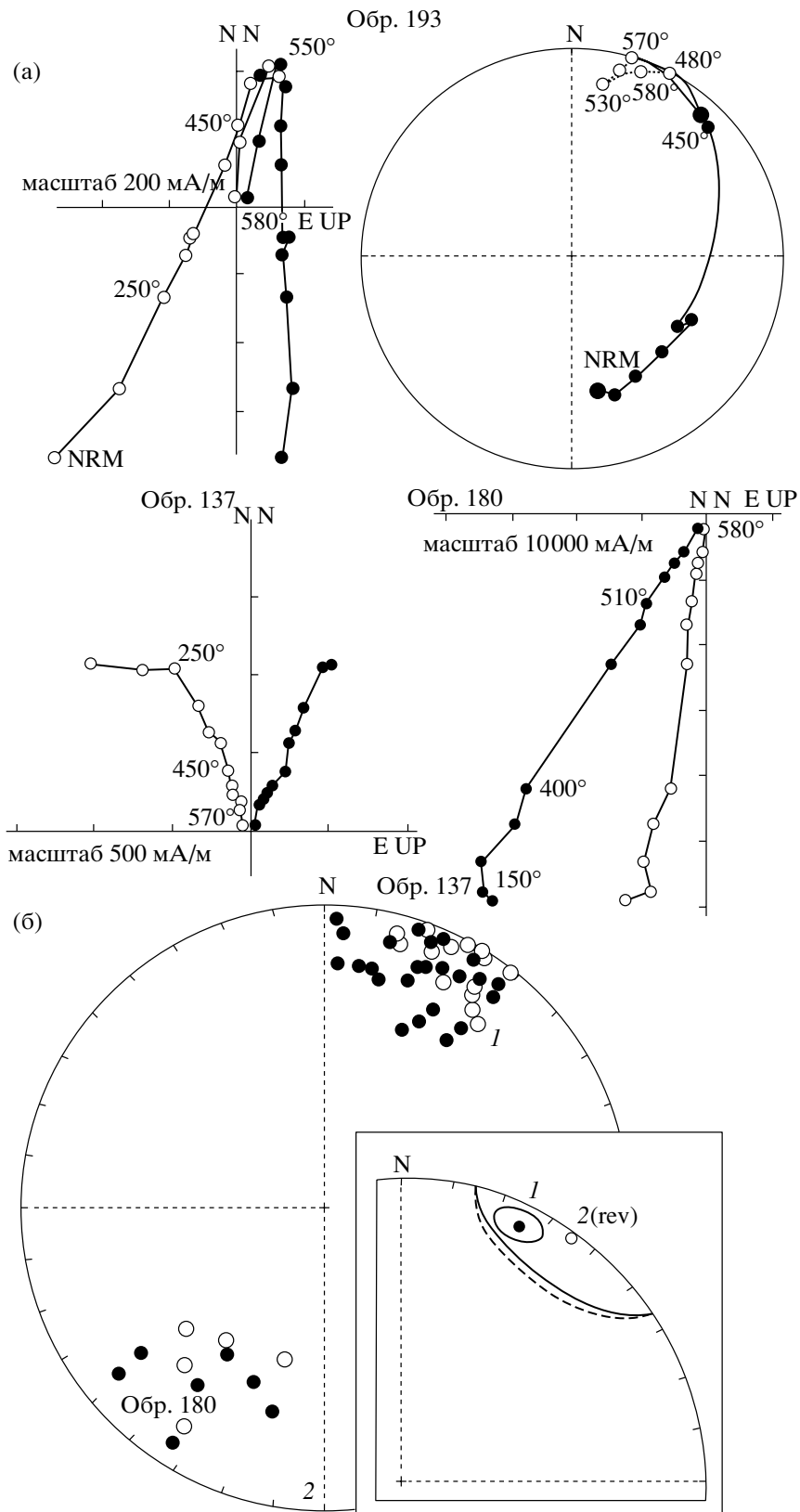


Рис. 2. а – Иллюстрация возможного частичного самообращения намагниченности (обр. 193) и примеры типичных для коллекции диаграмм Зейдверельда (обр. 137 и 180); б – биполярное распределение компонент намагниченности и средние направления для них (среднее направление для кластера 2 обращено). Залитые кружки на диаграммах Зейдверельда (на стереограммах) обозначают проекции векторов на горизонтальную плоскость (нижнюю полусферу), незакрашенные кружки – проекции векторов на вертикальную плоскость (верхнюю полусферу).

Таблица 1. Палеомагнитные направления и средний палеомагнитный полюс изученных интрузивных тел долины р. Фомич

Параметр	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>I</i>	<i>K</i>	α_{95}
Обратная полярность	40	24.6	7.8	19.5	5.4
Прямая полярность	12	216.0	2.8	5.9	19.5
Общее среднее	52/15	27	5.6	12.3	5.9
$\lambda = 106.5^\circ$ $\varphi = 71.5^\circ$	Палеомагнитный полюс: $\Phi = -19.2^\circ$, $\Lambda = 77.8^\circ$, $dp/dm = 3.0^\circ/5.9^\circ$				

Примечание. φ , λ – средние широта и долгота места отбора проб; *N* – число образцов/сайтов; *D*, *I*, *K*, α_{95} – характеристики распределения Фишера: склонение, наклонение, кучность и радиус круга доверия соответственно; Φ , Λ , dp/dm – широта, долгота и величины полюсов овала доверия палеомагнитного полюса.

верия) смещены относительно истинного направления и могут рассматриваться как его хорошие приближения. Палеомагнитный полюс, соответствующий полученному среднему направлению, приведен в табл. 1.

В пользу первичности намагниченности в исследуемых магматических телах свидетельствуют следующие факты: а) отличие полученного палеомагнитного полюса от более молодых полюсов Сибирской платформы; б) его близость к полученному ранее [8] полюсу с возрастом 1503 ± 5 млн. лет; в) указания на частичное самообращение вектора намагниченности в ряде образцов; г)

наличие в палеомагнитной коллекции двух противоположно направленных компонент намагниченности.

Обсуждение результатов. Приведенные выше данные дают основание полагать, что рассчитанный нами палеомагнитный полюс имеет возраст 1513 ± 51 млн. лет. Среди палеомагнитных полюсов Лаврентии, отвечающих современным критериям надежности [13], наиболее близким является полюс с возрастом 1476 ± 16 млн лет, полученный недавно Миртом и Стакки [10] по кислым магматическим породам юго-восточного Миссури. Оценки возраста анабарского и миссурийского полюсов различаются незначимо, однако, ввиду относительно больших доверительных интервалов, нельзя исключить вероятность того, что фактическое различие их возраста может составлять 40 млн. лет и более. Поэтому прямое сопоставление этих двух полюсов и построение на их основе реконструкции взаимного положения Сибири и Лаврентии представляется недостаточно корректным. На данном этапе исследований мы предпочитаем сопоставить общие, генеральные тенденции перемещения этих двух кратонов в интервале 1500–1000 млн лет назад, вытекающие из полученных нами данных, а также из палеомагнитных полюсов опубликованных в работах [5, 14].

Напомним, что возможности такого сравнения были до последнего времени значительно ограничены неопределенностью с выбором полярности сибирских докембрийских палеомагнитных направлений [5]. Данные, полученные недавно А.В. Ша-

Таблица 2. Палеомагнитные полюсы Сибири и Лаврентии

№*	Возраст, млн лет	Палеомагнитные полюсы**				Источник
		Φ°	Λ°	<i>N</i>	A_{95}	
С и б и р ь***						
1	1513 ± 51	-12.1	58.4	15	5.9	Данная работа****
2	1045 ± 20	22.5	50.4	4	2.5	
3	1000–1030	13.3	23.2	8	10.7	
4	950–1000	3.1	356.7	3	4.3	
Л а в р е н т и я						
1	1476 ± 16	-13.2	219.0	18	6.8	[10]
2	1100–1110	44.8	192.2	3	27.3	[14]
3	1050–1075	24.3	176.8	4	12.0	[14]
4	1000–1020	9.2	164.6	6	16.1	[14]
5	960–990	-23.1	147.8	3	26.8	[14]

* Порядковые номера полюсов для соответствующих кратонов, использованные для построения палеореконовструкций (рис. 2).

** Φ , Λ – широта и долгота среднего палеомагнитного полюса в градусах; A_{95} – радиус круга доверия среднего палеомагнитного полюса в градусах; *N* – число полюсов, использованных при осреднении.

*** Палеомагнитные полюсы Сибири приведены с учетом изменения опции полярности сибирских палеомагнитных направлений.

**** Данный полюс приведен с учетом поправки за закрытие Виллойской рифтовой системы (см. обсуждение).

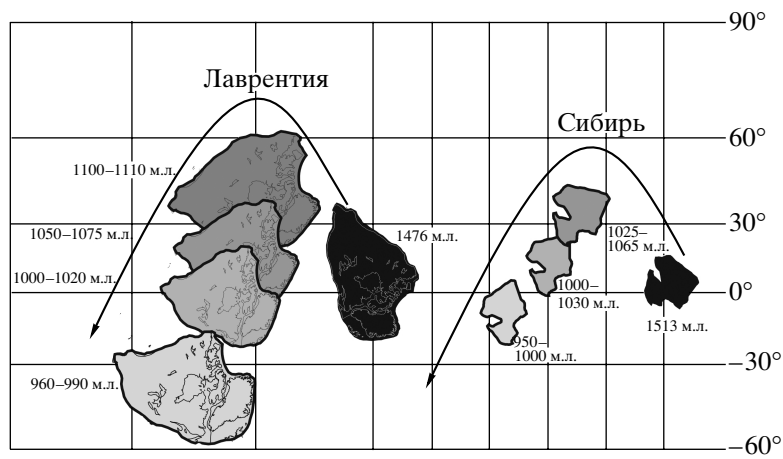


Рис. 3. Реконструкция взаимного положения Сибири и Лаврентии во временном интервале 1500–1000 млн. лет (м. л.) назад.

цилло с соавторами (устное сообщение), кажется, в значительной степени снимают эту неопределенность, подтверждая необходимость пересмотра традиционных взглядов на положение северных мезо- и неопротерозойских полюсов Сибирской платформы.

При рассмотрении рядов палеомагнитных полюсов Сибирской платформы необходимо принимать во внимание возможное раскрытие Виллойской рифтовой системы в среднем палеозое, приведшее (согласно [6]) к вращению Ангаро-Анабарского блока относительно Алданского на 20–25° против часовой стрелки вокруг полюса, расположенного в районе 117° в.д. и 62° с.ш. Новые палеомагнитные результаты, а также данные, полученные при анализе геометрии фундамента Виллойской синеклизы (В.Э. Павлов и В.О. Михайлов, устное сообщение), подтверждают этот вывод. Координаты анабарского полюса, скорректированные с учетом раскрытия Виллойской рифтовой системы, приведены в табл. 2.

На рис. 3 показано положение Сибирского кратона в различные моменты времени в интервале от 1513 ± 51 до 960–1000 млн лет, вытекающее из данных табл. 2. Здесь же, для сравнения, приведено положение Лаврентии в этом же временном интервале.

Из рис. 3 видно, что 1.5 млрд. лет назад Сибирь находилась практически на экваторе и была развернута к северу своим современным юго-западным краем. К 1100 млн лет назад Сибирская платформа переместилась в тропические и, отчасти, умеренные широты северного полушария, развернувшись относительно меридиана приблизительно на 30° против часовой стрелки. Затем Сибирская платформа снова смещается к экватору и к 960–1000 млн лет назад большая часть ее оказывается в южном полушарии; при этом продолжается ее разворот против часовой стрелки.

Палеомагнитные данные [14] указывают на то, что Лаврентия в рассматриваемый интервал времени испытывала практически такие же перемещения, т.е. наблюдается согласованность в генеральном тренде перемещений рассматриваемых кратонов. Этот вывод хорошо согласуется с гипотезой о существовании на протяжении всего мезопротерозоя единого суперкратона Арктика, впоследствии вошедшего в состав позднепротерозойского суперконтинента Родиния. Анализ полученных в настоящей работе и опубликованных ранее данных [5] указывает на то, что в составе этого суперкратона Сибирь была расположена таким образом, что ее современная юго-юго-восточная сторона была обращена к современным северным территориям Лаврентии. Такое взаимное расположение Сибири и Лаврентии согласуется с реконструкцией гипотетического суперконтинента Колумбия, выполненной Конди на основании анализа геологических данных [7].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 03–05–64423, 04–05–65024, 04–05–65101, 05–05–65290). Полевые исследования частично финансировались из средств INTAS (грант 03–51–5807) и Программы приоритетных исследований Президиума РАН № 25.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселовский Р.В., Галле И., Павлов В.Э. // Физика Земли. 2003. № 10. С. 78–94.
2. Горохов И.М., Семихатов М.А., Мельников Н.Н. и др. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2001. Т. 9. № 4. С. 18–39.
3. Диденко А.Н., Водовозов В.Ю. В сб.: Палеомагнетизм и петромагнетизм горных пород. Казань. Изд-во КГУ, 2004. С. 128–135.
4. Кутейников Е.С., Орлов И.М., Толчельников Б.Н. // Геология и геофизика. 1967. № 2. С. 121–123.

5. Павлов В.Э., Галле И., Петров П.Ю. и др. // Геотектоника. 2002. № 4. С. 26–41.
6. Павлов В.Э., Петров П.Ю. // Физика Земли. 1997. № 6. С. 42–55.
7. Condie K.C. // Gondwana Res. 2002. V. 5. № 1. P. 41–43.
8. Ernst R.E., Buchan K.L., Hamilton M.A. et al. // J. Geol. 2000. V. 108. P. 381–401.
9. McFadden P.L., McElhinny M. // Geophys. J. Int. 1990. V. 103. P. 725–729.
10. Meert J.G., Stuckey W. // Tectonics. 2002. V. 21. № 2. 10.1029/2000TC001265
11. Okrugin A.V., Oleinikov B.V., Savvinov V.T., Tomshin M. D. In.: Mafic Dykes and Emplacement Mechanisms. Rotterdam: Balkema, 1990. P. 529–533.
12. Pesonen L.J., Elming S.-A., Mertanen S. et al. // Tectonophysics. 2003. V. 375. P. 289–324.
13. Van der Voo R. // Tectonophysics. 1990. V. 184. P. 1–9.
14. Weil A., Van der Voo R., McNiocail C., Meert J. // Earth and Planet. Sci. Lett. 1998. V. 154. P. 13–24.