

**Новые палеомагнитные и изотопные данные по позднепротерозойскому магматическому комплексу северного склона Анабарского поднятия.**Веселовский Р.В.<sup>1</sup>, Петров П.Ю.<sup>2</sup>, Карпенко С.Ф.<sup>3</sup>, Костицын Ю.А.<sup>3</sup>, Павлов В.Э.<sup>1</sup><sup>1</sup>- Институт физики Земли РАН, <sup>2</sup>- Геологический институт РАН, <sup>3</sup>- Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН

(Опубликовано: Веселовский Р.В., Петров П.Ю., Карпенко С.Ф., Костицын Ю.А., Павлов В.Э. Новые палеомагнитные и изотопные данные по позднепротерозойскому магматическому комплексу северного склона Анабарского поднятия // ДАН, т.410, №6, 2006. С.775-779.

Перевод: R. V. Veselovskiy, P. Yu. Petrov, S. F. Karpenko, Yu. A. Kostitsyn, and V. E. Pavlov. New Paleomagnetic and Isotopic Data on the Mesoproterozoic Igneous Complex on the Northern Slope of the Anabar Massif // Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences / Earth Science Section. Vol. 411, No. 8, 2006, p.1190-1194.)

**Abstract.** Выполнено палеомагнитное исследование протерозойских силлов и даек основного состава северного склона Анабарского массива (долина реки Фомич). Sm-Nd методом определен изотопный возраст одного из изученных интрузивных тел. Получен палеомагнитный полюс Сибирской платформы, отвечающий времени  $1513 \pm 51$  млн лет назад. Вместе со средне-позднерифейскими палеомагнитными полюсами, полученными ранее для Алданского блока, новый полюс дает дополнительные ограничения на палеогеографическое положение и дрейф Сибирской платформы с начала мезопротерозоя по начало неопротерозоя. Сопоставление сибирских палеомагнитных полюсов с близкими по возрасту полюсами Лаврентии указывает на то, что эти кратоны на протяжении мезопротерозоя могли входить в состав единой континентальной массы, возможно являвшейся частью суперкратона Арктика, образовавшегося при распаде палеопротерозойского суперконтинента Колумбия (Condie, 2002).

**Введение.** 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 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 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.

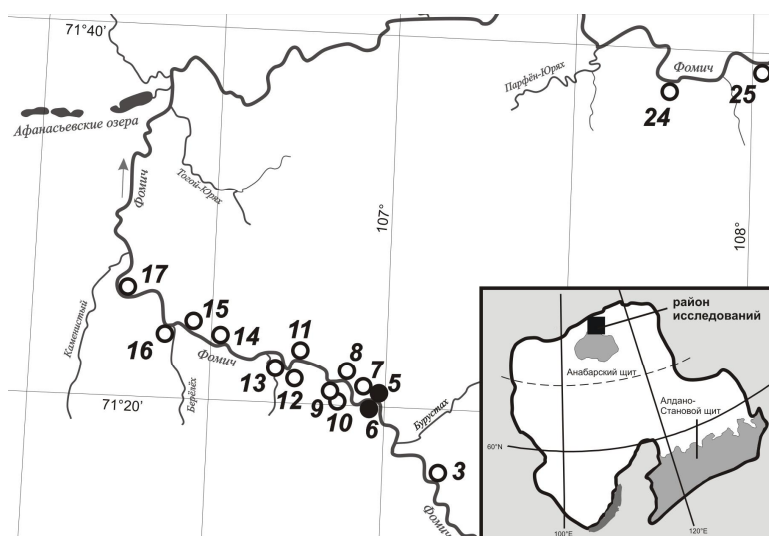
Палеомагнитные данные по древним кратонным блокам, предположительно входившим в состав гипотетического суперконтинента Колумбия и дочерних суперкратонов – Арктики и Атлантики, могут подтвердить или опровергнуть факт их существования и наложить существенные ограничения на их конфигурацию.

С этой точки зрения интересно провести сравнение соответствующих палео- и мезопротерозойских палеомагнитных полюсов для Сибири и Лаврентии. За последние годы получено некоторое 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 были выполнены палеомагнитные и изотопно-геохронологические исследования интрузивных тел, относимых к позднепротерозойскому магматическому комплексу севера Анабарского поднятия. Основные результаты этих исследований представлены в настоящей статье.

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



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

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 районе работ 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 свиты). 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 реки Фомич, выполненные 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.

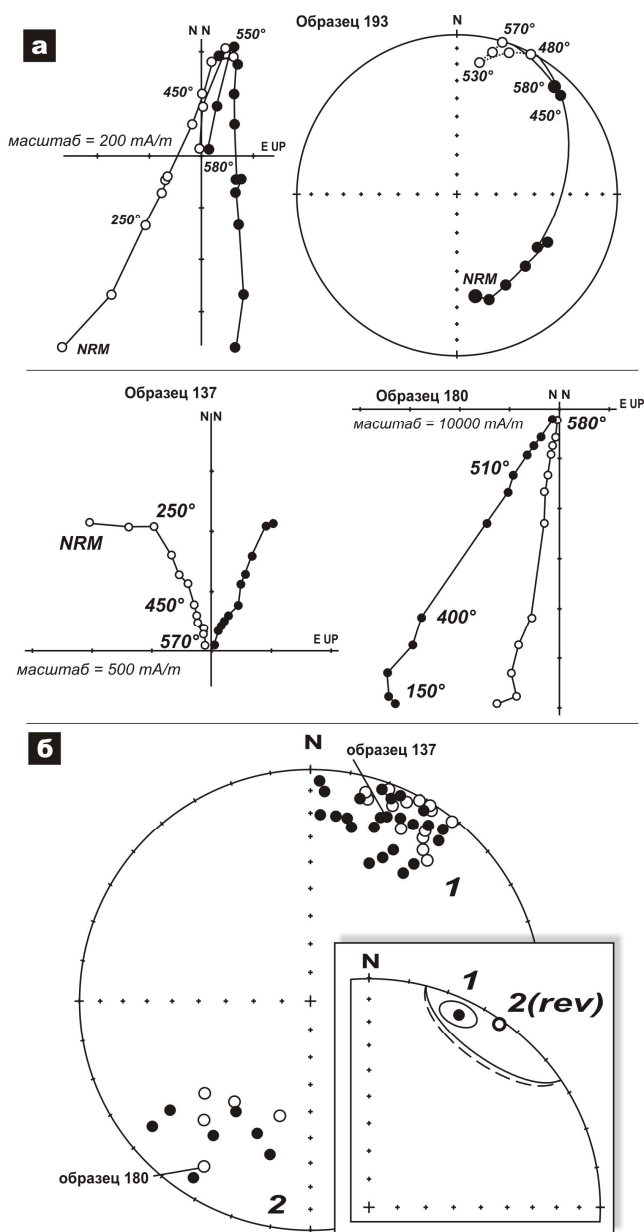
**Результаты изотопных исследований.** Для определения изотопного возраста были использованы пробы, отобранные из силла, вскрытого в долине реки Фомич, приблизительно в 10 км ниже устья ручья Бурустах (рис. 1, точки 5 и 6). Исследовались валовая проба, а также плагиоклаз, апатит и два пироксена, выделенные 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 десятиколлекторном 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 диаграмма, по которой возраст изученных долеритов определяется с довольно высокой для используемого метода точностью и составляет  $1513 \pm 51$  (2 $\sigma$ ) 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 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 реки Столбовой [1], может указывать на частичное самообращение намагниченности (рис. 2а, образец 193).

Векторы высокотемпературной компоненты образуют биполярное распределение (рис. 2б). Тест обращения [9], выполненный для выделенных направлений на уровне образцов дает, однако, на 95%-ом уровне доверия отрицательный результат ( $\gamma/\gamma_c = 15.5/14.0$ ), 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 доверия) 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  $1503 \pm 5$  млн лет; в) указания на частичное самообращение вектора намагниченности в ряде образцов; г) наличие в палеомагнитной коллекции двух противоположно направленных компонент намагниченности.



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

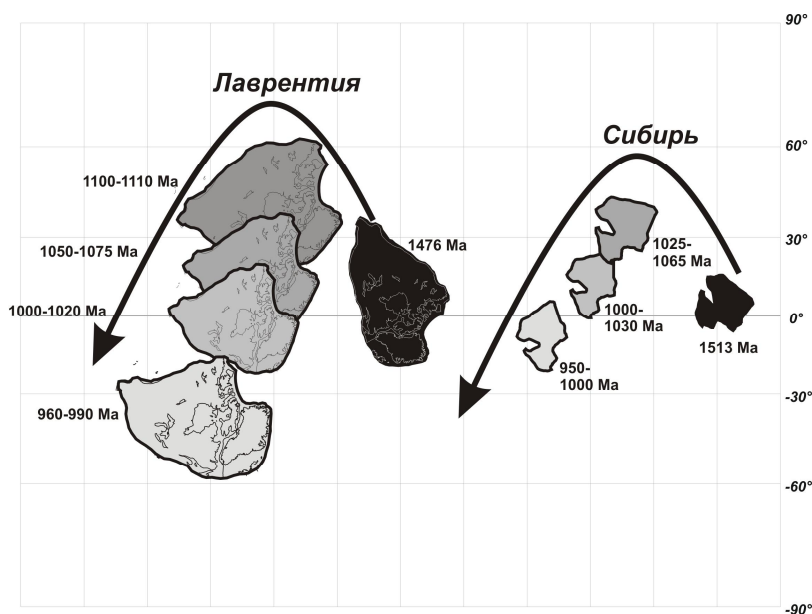
**Обсуждение результатов.** Приведенные выше данные дают основание полагать, что рассчитанный нами палеомагнитный полюс имеет возраст  $1513 \pm 51$  Ма. Среди палеомагнитных полюсов Лаврентии, отвечающих современным критериям надежности [13], наиболее близким является полюс с возрастом  $1476 \pm 16$  млн лет, полученный недавно Миртом и Стакки [10] по кислым магматическим породам юго-восточного Миссури. Оценки возрастов анабарского и миссурийского полюсов различаются незначимо, однако, ввиду относительно больших доверительных интервалов, нельзя исключить вероятность того, что фактическое различие их возраста может составлять 40 и более миллионов лет. 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.Шацилло 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 Вилуйской рифтовой системы в среднем палеозое, приведшее (согласно [6]) к вращению Ангаро-Анабарского блока относительно Алданского на  $20-25^\circ$  против часовой стрелки вокруг полюса, расположенного в районе  $117^\circ$  в.д. и  $62^\circ$  с.ш. Новые палеомагнитные результаты, а также данные, полученные при анализе геометрии фундамента Вилуйской синеклизы [Павлов и Михайлов, устное сообщение], подтверждают этот вывод. Координаты анабарского полюса, скорректированные с учетом раскрытия Вилуйской рифтовой системы, приведены в табл. 2.

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



**Рис. 3.**  
Реконструкция взаимного положения Сибири и Лаврентии во временном интервале 1500-1000 млн лет назад.

Из рисунка 3 видно, что 1.5 миллиарда 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  $30^\circ$  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].

### Выводы.

- по интрузивному комплексу северного склона Анабарского поднятия получен новый палеомагнитный полюс Сибирской платформы, отвечающий современным критериям надежности палеомагнитного определения;
- Sm-Nd методом определен изотопный возраст интрузивного комплекса составляющий  $1513 \pm 51$  млн лет;
- сравнение близких по возрасту палеомагнитных полюсов Сибири и Лаврентии указывает на возможность существования этих кратонов в составе единого суперкратона (суперконтинента) в интервале времени 1500-1000 млн лет.

Работы выполнены 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.

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

	N	D	I	K	$\alpha_{95}$
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 к таблице:  $\varphi$ ,  $\lambda$  – средняя широта и долгота места отбора проб; N – число образцов/сайтов; D, I, K,  $\alpha_{95}$  – характеристики распределения Фишера: склонение, наклонение, кучность и радиус круга доверия соответственно;  $\Phi$ ,  $\Lambda$ ,  $dp/dm$  – широта, долгота и величины полуосей овала доверия палеомагнитного полюса.

**Таблица 2. Палеомагнитные полюсы Сибири\* и Лаврентии**

№	Возраст, млн лет	Палеомагнитные полюсы				Источник
		$\Phi$	$\Lambda$	N	$A_{95}$	
СИБИРЬ*:						
1	1513±51	-12.1	58.4	15	5.9	данная работа**
2	1045±20	22.5	50.4	4	2.5	по [5]
3	1000-1030	13.3	23.2	8	10.7	по [5]
4	950-1000	3.1	356.7	3	4.3	[5]
ЛАВРЕНТИЯ:						
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]

Примечание: № – порядковые номера полюсов для соответствующих кратонов, использованные для построения палеорекопункций (рис. 2);  $\Phi$ ,  $\Lambda$  – 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).

### Литература.

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., Турченко Т.Л., Константинова Г.В., Кутявин Э.П. // 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. 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., Журавлев Д.З., Шацилло А.В. // 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 Research. 2002. V. 5. N. 1. P. 41-43.
8. Ernst R.E., Buchan K.L., Hamilton M.A., Okrugin A.V., Tomshin M.D. // The Journal of Geology. 2000. V. 108. P. 381-401.
9. McFadden P.L. and M. McElhinny // Geophys. J. Int. 1990. V. 103. P. 725-729.
10. Meert J.G. and Stuckey W. // Tectonics. 2002. V. 21. N. 2. 10.1029/2000TC001265
11. Okrugin A. V., Oleinikov B. V., Savvinov V. T. and Tomshin M. D. *In* Parker, A. J.; Rickwood P. C. and Tucker D. H. eds. Mafic dykes and emplacement mechanisms. 1990. Rotterdam, Balkema, p. 529-533.
12. Pesonen L.J., Elming S.-A., Mertanen S., Pisarevsky S., M.S. D'Agrella-Filho, Meert J.G., Schmidt P.W., Abrahamsen N., Bylund G. // 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. and Meert J. // Earth Planet. Sci. Letters. 1998. V. 154. P. 13-24.