

УДК 551.83

ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ ПО СИБИРИ И БАЛТИКЕ В КОНТЕКСТЕ ТЕСТИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА

© 2017 г. А. В. Шацилло^{1, *}, Н. Б. Кузнецов^{2, 3, **}, А. В. Дронов^{2, 3, ***}

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

²Геологический институт РАН, г. Москва

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

*E-mail: shatsillo@gmail.com

**E-mail: kouznikbor@mail.ru

***E-mail: avdronov@gmail.com

Поступила в редакцию 10.03.2017 г.

Синтез палеомагнитных данных по Сибирской (Сибирь) и Восточно-Европейской (Балтика) платформам указывает на то, что с раннепалеозойского времени они могли испытывать согласованные перемещения, представляя единый континентальный агломерат, включавший также континент Арктида. На основе палеомагнитных данных выполнена реконструкция взаимного положения Сибири и Балтики в ордовикское время и предложена серия палеогеографических реконструкций, описывающих дрейф композитного континента. Результаты литолого-фациального анализа обстановок осадконакопления ордовикских бассейнов Сибирской и Восточно-Европейской платформ и индикаторы палеоклимата не противоречат предложенной конфигурации и палеогеографическому положению композитного континента. Предложенные реконструкции, а также данные по возрастам детритовых цирконов из раннепалеозойских комплексов платформенных окраин и некоторых объектов Центрально-Азиатского подвижного пояса (ЦАПП), находятся в удовлетворительном согласовании с гипотезой [Sengör et al., 1993], объясняющей формирование структуры палеозоид ЦАПП как результата эволюции островной дуги, протягивавшейся вдоль окраин Сибири и Балтики.

DOI: 10.7868/S0002333717050106

ВВЕДЕНИЕ

Центрально-Азиатский подвижный пояс (ЦАПП) – крупнейшая в мире палеозойская складчатая система, объединяющая раннедокембрийские континентальные блоки – Восточно-Европейский (Балтика) и Сибирский (Сибирь) кратоны, а также Тарим и меньшие структурные единицы в единый континент Северная Евразия. Формирование ЦАПП связывается с взаимодействием литосферы Палеоазиатского океана и континентальных масс в течение позднего докембрия – палеозоя. Внутреннее строение ЦАПП чрезвычайно сложно: в нем преимущественно по сдвиговым разрывным нарушениям совмещены террейны различной геодинамической природы и возраста [Шенгер и др., 1994; Буслов, 2011; Метелкин, 2010; Sengör et al., 1993; и др.]. Геодинамические модели, описывающие формирование ЦАПП, могут быть разделены на три доминирующие концептуальные группы: “аккреционная” [Диденко и др., 1994], “аккреционно-коллизонная” [Buslov et al., 2001, Буслов, 2011] и “островодужная” [Шенгер и др., 1994; Sengör et al., 1993].

Сторонники “аккреционной модели” рассматривают террейны, входящие в ЦАПП, как реликты разновозрастных островодужных систем, развивавшихся в Палеоазиатском океане в венде – ордовике независимо от Лавразийских кратонов и заложившихся на блоках континентальной коры, отколовшихся от Гондваны. Эти островодужные комплексы последовательно аккретировали друг к другу и, в дальнейшем, были причленены к Сибирскому континенту по системам сдвигов, наследовавших древние трансформные разломы.

Сторонники “аккреционно-коллизонной модели” предполагают существование в венде – раннем кембрии на южной эпибайкальской окраине Сибирского континента активной окраины островодужного типа, в фронтальной части которой в результате аккреционно-коллизонных процессов сформировался супертеррейн – Казахстанско-Байкальский составной континент, включавший докембрийские микроконтиненты и террейны гондванской группы. Дальнейшее развитие ЦАПП рассматривается как взаимодей-

стве Казахстанско-Байкальского континента (элемента ЦАПП) с Сибирью и Балтикой, где значительная роль в образовании структур отводится позднепалеозойским движениям по системам крупноамплитудных сдвигов, нарушившим первичную тектоническую зональность супертеррейна и связанным с относительным вращением кратонов.

“Островодужная модель” или модель “ШНБ” (Шенгера–Натальина–Буртмана [Шенгер и др., 1994; Sengör et al., 1993]) объясняет структуру ЦАПП как результат деформаций и многократного совмещения по системам крупноамплитудных сдвигов фрагментов гипотетической островной дуги Кипчак, заложившейся в венде вдоль уральской окраины Балтики и енисейской окраины Сибири и эволюционировавшей в палеозое. Дуга Кипчак заложилась на полосе континентальной коры, отделенной от енисейской и уральской кратонных окраин в результате рифтинга, при этом субдукция литосферы Палеоазиатского океана под дугу Кипчак была направлена в сторону кратонов. В качестве современного аналога дуги Кипчак авторы модели рассматривают Алеутскую дугу Тихого океана. Отправной точкой и “граничным условием” модели “ШНБ” является взаимное положение Сибири и Балтики в венде–начале палеозоя, предполагающее, что в это время кратоны должны были быть структурно сопряжены и обращены друг к другу своими современными северными окраинами, таким образом, что уральская окраина Балтики “продолжала” енисейскую окраину Сибири, находясь с ней на одном простирании.

Таким образом, в отличие от “аккреционной” и “аккреционно-коллизивной” моделей формирования ЦАПП, модель “ШНБ” критическим образом зависит от взаимного положения Сибири и Балтики в венде–начале палеозоя и может быть протестирована с привлечением палеомагнитных данных по этим кратонам.

Целью настоящей работы является анализ опубликованных палеомагнитных данных по ордовику Сибири и Балтики – единственному “изохронному” уровню раннего палеозоя, по которому накоплен значительный массив качественных палеомагнитных определений для обоих кратонов. Эти данные мы используем для реконструкции взаимного положения, кинематики и палеогеографической позиции Сибири и Балтики в ордовикское время в контексте тестирования модели “ШНБ”, а также разработки кривой кажущейся миграции полюса кратонов. Дополнительно для тестирования модели “ШНБ” привлечены результаты анализа геохронологических данных по детритовым цирконам из раннепалеозойских платформенных комплексов енисейской

окраины Сибири, уральской окраины Балтики и ЦАПП, а также палеогеографические данные.

АНАЛИЗ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ПО ОРДОВИКУ СИБИРИ И БАЛТИКИ

Представляемый анализ направлен на выявление закономерностей в распределении палеомагнитных направлений для ордовика Сибири и Балтики, с целью определения генерального характера перемещения палеомагнитных полюсов в течение этого времени, т.е. построения траекторий кривых кажущейся миграции полюса (КМП) платформ для рассматриваемого интервала времени и синтеза этих данных в рамках единой палеогеографической модели. “Старые” палеомагнитные определения, полученные с низкой детальностью магнитных чисток, которые сейчас можно рассматривать уже только в историческом аспекте, в анализе не использованы. Тем не менее, нельзя не отметить, что первые пионерские работы по палеомагнитному изучению ордовикских пород территории бывшего СССР были выполнены сотрудниками палеомагнитной лаборатории ВНИГРИ (Ленинград) под руководством А.Н. Храмова. Именно эти результаты легли в основу первых палеогеографических реконструкций и геодинамических моделей [Zonenshain et al., 1990; Храмов и др., 1974; Храмов, 1982], определивших тренд современных исследований.

Исходные данные

Балтика. К настоящему времени палеомагнитные определения получены по всем отделам ордовикской системы¹ (табл. 1). Объекты, по которым рассчитаны палеомагнитные полюсы, расположены в географически удаленных друг от друга регионах (Ленинградская область, Эстония, Швеция). Большинство данных получено по среднему ордовику (дапин, дарривил), хуже охарактеризованы верхняя часть нижнего ордовика (фло) и основание верхнего ордовика (сандбий); для тремадокского, катийского и хирнантского ярусов палеомагнитные данные отсутствуют.

Сибирь. В первую очередь отметим, что, во избежание возможных ошибок, связанных с локальными и региональными тектоническими факторами, в анализ вошли определения, полученные по объектам, расположенным в пределах Ангаро-Анабарского блока – единой, тектонически “жесткой” структуры, представляющей западную и северную части Сибирской платформы,

¹ Возрасты пород, по которым получены палеомагнитные определения, вошедшие в анализ, были ревизованы в соответствии с Международной стратиграфической шкалой 2016 г. [Ogg et al., 2016].

Таблица 1. Палеомагнитные полюсы ордовика Сибири и Балтики

<i>n</i>	PLong	PLat	A95	Tmean	Tmin	Tmax	Tgroup	Источник
Полюсы Балтики								
1	214.0	-5.0	5.0	456.45	454.6	458.3	1	[Torsvik, Trench, 1991b]
2	215.0	-3.0	13.0	457.8	455.6	460.0	1	[Torsvik, Trench, 1991a]
3	222.0	-12.0	5.0	458	457.0	459.0	1	[Родионов и др., 2002]
4	229.0	-14.0	4.0	459.8	458.6	461.0	2	[Torsvik, Trench, 1991b]
5	234.0	-18.7	6.8	460.6	454.0	467.2	2	[Torsvik et al., 1995b]
6	227.3	-17.9	11.3	463.35	460.2	466.5	2	[Plado et al., 2016]
7	228.4	-29.1	7.0	463.45	461.5	465.4	2	[Гуревич и др., 2005]
8	226.0	-18.0	5.0	463.8	461.0	466.6	2	[Torsvik, Trench, 1991a]
9	226.0	-30.0	2.0	463.8	461.0	466.6	2	[Claesson, 1978]
10	235.0	-30.0	9.0	463.8	461.0	466.6	2	[Perroud et al., 1992]
11	219.1	-11.4	6.7	465.1	460.2	470.0	2	[Plado et al., 2010]
12	242.9	-5.4	3.9	465.4	460.8	470.0	2	[Лубнина и др., 2005]
13	231.0	-19.0	9.0	467.3	466.3	468.3	3	[Torsvik, Rehnström, 2003]
14	237.6	-24.7	3.0	467.7	465.4	470.0	3	[Гуревич и др., 2005]
15	239.1	-34.7	4.0	468.5	461.0	476.0	3	[Smethurst et al., 1998]
16	230.8	-25.0	7.2	472.4	470.0	474.8	3	[Plado et al., 2010]
17	235.0	-18.0	4.0	472.5	469.0	476.0	3	[Храмов, Иосифиди, 2009]
Полюсы Сибири								
1	124.1	-13.9	5.9	446.4	443	449.7	1	[Gallet, Pavlov, 1996]
3	152.0	-27.5	3.6	452.1	447.6	456.5	1	[Powerman et al., 2013]
2	140.2	-29.5	6.4	453.9	449.7	458	1	[Павлов и др., 2012]
4	152.4	-24.1	3.3	458.8	458	459.5	2	[Pavlov et al., 2008]
6	158.0	-22.0	4.0	458.8	458	459.5	2	[Pavlov et al., 2008]
5	157.6	-22.7	2.8	459.2	457.4	461	2	[Gallet, Pavlov, 1996]
7	156.6	-29.8	3.1	463.3	461	465.5	2	[Gallet, Pavlov, 1996]
8	152.7	-30.9	2.8	463.3	461	465.5	2	[Pavlov, Gallet, 1998]
9	153.2	-35.2	3.6	463.3	461	465.5	2	[Павлов и др., 2012]
11	158.2	-36.4	6.5	469.8	465.5	474	3	[Павлов и др., 2012]
10	151.7	-33.9	1.9	471.6	465.5	477.6	3	[Gallet, Pavlov, 1996]
13	137.5	-40.3	6.9	479.8	477.6	482	4	[Gallet, Pavlov, 1996]
12	143.5	-39.7	6.1	481.5	477.6	485.3	4	[Павлов и др., 2017]
14	127.2	-35.2	4.1	482.1	477.6	486.5	4	[Pavlov, Gallet, 1998]
15	138.0	-36.0	4.7	482.1	477.6	486.5	4	[Родионов, Гуревич, 2010]

Пояснения: *n* – порядковый номер, PLong/PLat – долгота и широта палеомагнитного полюса, A95 – радиус круга доверия (при 95% вероятности), Tmean/Tmin/Tmax – средний/минимальный/максимальный возраст пород (млн лет), по которому получено палеомагнитное определение (привязка региональных горизонтов ордовика Сибири и Балто-Скандии [Зональная..., 2006] к Международной стратиграфической шкале [Ogg et al., 2016]), Tgroup – возрастные группы (пояснения в тексте).

по которым накоплен основной массив палеомагнитных данных. Единичные результаты, полученные по т.н. переходной зоне между Ангаро-Анабарским и Алданским блоками (верхнее течение р. Лена), для которых предполагаются локальные вращения (подробнее см. [Pavlov et al., 2008 и ссылки в этой работе]), а также определения по Алданскому блоку, осознанно не рассматрива-

лись. Исключение составляет определение по верхнему ордовика р. Нюя [Powerman et al., 2013], принадлежащее к Алданскому блоку, которое было использовано в связи с крайне малым количеством данных для этого возрастного уровня. При сопоставлении этого определения с основным массивом данных использовалась коррекция на среднепалеозойский разворот Алданского блока,

согласно [Pavlov et al., 2008]². Определение по верхнему ордовику р. Лена (Алданский блок) [Torsvik et al., 1995a] не рассматривалось, поскольку для него предполагается девонский возраст намагниченности [Powerman et al., 2013]. Палеомагнитные определения по Сибири, вошедшие в анализ, получены по удаленным регионам, имеют четкую стратиграфическую привязку (часто с точностью до яруса) и, в той или иной степени, характеризуют все ярусы ордовика (табл. 1).

Для совместного анализа палеомагнитных данных по Сибири и Балтике, имеющиеся определения были разбиты на четыре возрастные группы (табл. 1), приблизительно соответствующие: 1 – сандбию-хирнанту, 2 – дарривилу (наиболее статистически обоснованная группа), 3 – фло-дапину и 4 – тремадоку (данные только по Сибири).

Тенденции смещения ордовикских полюсов Сибири и Балтики

В распределении ордовикских полюсов Сибири и Балтики наблюдается определенная система (рис. 1). Для сибирских данных, фиксируется субширотное смещение раннеордовикских полюсов, незначительное субмеридиональное смещение среднеордовикских полюсов и ЮВ–СЗ тренд для позднеордовикских полюсов. Для Балтики наблюдается близкий характер распределения полюсов и тенденции их смещения в течение ордовикского времени, однако эти закономерности выражены менее отчетливо. Вероятно, это связано с тем, что палеомагнитные определения по Сибирской платформе получены по более “узким” временным интервалам, отвечающим ярусам, в то время как полюсы Балтики (рис. 1, табл. 1) являются осреднением интервалов, включающих по два яруса, в т.ч. по разным отделам ордовикской системы. Очевидно, что от количественного соотношения “вклада” единичных направлений того или иного возраста, входящих в палеомагнитное определение, рассчитанное среднее направление будет смещаться в сторону более статистически обоснованной возрастной группы. Из этого следует, что возраст палеомагнитного полюса, рассчитанного по неравномерной (по стратиграфической шкале) выборке направлений, не будет соответствовать среднему возрасту пород. Чем больше осредняемый временной интервал (и величина смещения палеомагнитного полюса, характеризующая дрейф платформы), тем больше может быть такое расхождение. Соответственно, этот эффект вызывает существенные затруднения при построении кривых КМП для относительно узких в палеомагнитном отношении временных интер-

валов, охватывающих один-два отдела стратиграфической шкалы, в течение которых смещение полюса близко к разрешающей способности палеомагнитного метода.

При выявлении тенденций смещения палеомагнитного полюса для узких временных интервалов техническим решением рассмотренной проблемы может быть геометрическая аппроксимация близковозрастных направлений (полюсов) дугой большого круга³. Перемещение палеомагнитного полюса (= движение соответствующего блока), как и любое движение на сфере, описывается вращением вдоль дуги малого круга. Для малых “амплитуд” этого перемещения (в рассматриваемом случае в масштабе одного отдела ордовикской системы), движение может быть *приблизительно* представлено как перемещение вдоль дуги большого круга. Чем больше радиус малого круга, описывающего перемещение полюса, и чем “короче” анализируемый интервал, тем такая аппроксимация будет ближе к действительности.

Такой подход применен для анализа трендов смещения полюсов в позднем ордовике с привлечением данных по осредненным полюсам дарривила. Рассчитанные “геометрические” параметры трендов смещения позднеордовикских полюсов Сибири и Балтики (табл. 2, рис. 1) указывают на их значительное сходство. Выявленная закономерность позволяет нам сделать предположение, что в течение ордовика Сибирь и Балтика могли испытывать согласованные перемещения и, возможно, являлись составляющими единой литосферной плиты. Если это предположение верно, тогда существует такая точка географического пространства (полюс Эйлера), при вращении вокруг которой возможно совместить сибирские и балтийские палеомагнитные полюсы и привести кратоны к их взаимному положению в ордовикское время.

Синтез палеомагнитных данных по ордовику Сибири и Балтики

В расчете полюса Эйлера для совмещения ордовикских данных по Сибири и Балтике использованы две независимые характеристики: 1) положение осредненных полюсов дарривила этих платформ (наиболее статистически обоснованная возрастная группа) и 2) положение нормалей к большим кругам, аппроксимирующим тренд смещения позднеордовикских полюсов (возрастная группа, характеризующаяся выраженным трендом смещения). Область возможных положений полюсов Эйлера для совмещения каждого набора данных геометрически представляет боль-

² Поворот вокруг полюса Эйлера с координатами 117 в.д. 62 с.ш. на угол 20 градусов против часовой стрелки.

³ Для расчета использовался пакет палеомагнитных программ Р. Энкина [Enkin, 1994].

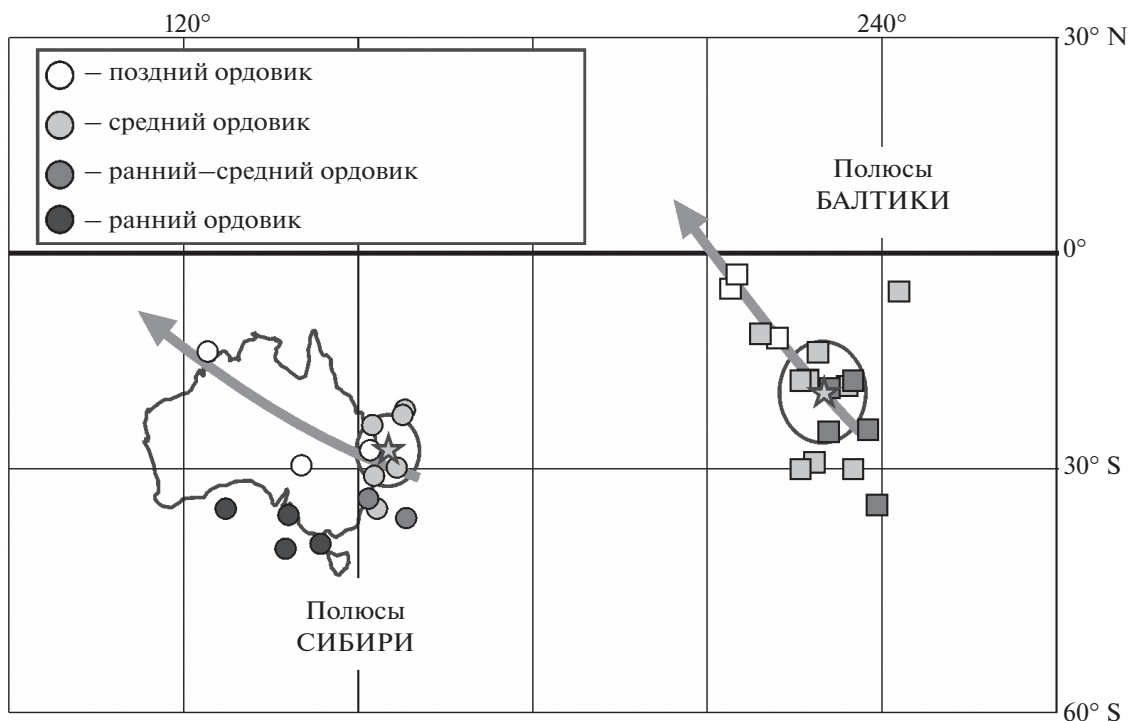


Рис. 1. Палеомагнитные полюсы ордовика Сибири и Балтики (в соответствии с табл. 1): кружки – палеомагнитные полюсы Сибири, квадратики – палеомагнитные полюсы Балтики. Звездочки и соответствующие круги (доверия) – осредненные полюсы среднего ордовика (дарривил). Стрелки – геометрическая аппроксимация трендов смещения позднеордовикских полюсов (большой круг, проведенный через позднеордовикские единичные полюсы и осредненный полюс дарривила).

шой круг, перпендикулярный к середине дуги, проведенной через осредненные полюсы (1) или нормали к большим кругам (2). Полюс Эйлера, при котором достигается наилучшее совпадение всего комплекса данных, располагается на пересечении рассчитанных больших кругов для (1) и (2) (рис. 2). Угол поворота вокруг полюса Эйлера вычисляется из разницы склонений при пересчете осредненных дарривильских полюсов платформ на координаты полюса Эйлера (подробнее см. [Шацилло, 2015а]). Результаты расчетов представлены в табл. 2. На рис. 3 показано общее распределение ордовикских полюсов, приведенных к “сибирским” координатам путем поворота вокруг рассчитанного полюса Эйлера. В результате выполненных построений сибирские и балтийские палеомагнитные данные оказались в “идеальном” соответствии, в частности, полюсы для фло-дапина (не использованные при расчете полюса Эйлера) совпали. Такая схожимость данных укрепляет наше предположение о том, что в течение ордовикского времени Сибирь и Балтика могли быть составляющими единой литосферной плиты. Аналогичный вывод был сделан ранее на основе предварительного анализа палеомагнитных данных по позднему венду–палеозою [Шацилло, 2015б]. В свете этого заслуживает особого

внимания сравнение рассчитанного полюса Эйлера с позднепалеозойским полюсом относительного вращения Сибири и Балтики в ходе их объединения в составе Пангеи, полученным по палеомагнитным и структурно-геологическим данным [Шацилло, 2015а]. Как видно из рис. 2 и табл. 2 полюсы Эйлера, рассчитанные для возрастных уровней с разницей ~200 млн лет, очень близки. Все это означает, что уже с ордовика, а, возможно, и с позднего венда [Шацилло, 2015б] Сибирь и Балтика представляли собой единый “континентальный агломерат”, конфигурация которого определялась разновременными относительными поворотами этих кратонов вокруг “стабильного” полюса вращения. Исходя из этой гипотезы, палеомагнитные данные по Сибири и Балтике можно совместно использовать для построения комбинированной кривой кажущейся миграции полюса.

При дальнейших построениях использован полюс Эйлера, рассчитанный на основе парных данных по осредненным полюсам дарривила и по полюсам ранней перми (рис. 2, табл. 2, вариант “Б”). Это обусловлено тем, что 1) такой вариант расчета лучше согласуется с полюсом вращения платформ, рассчитанным по независимым структурным данным [Шацилло, 2015а], (рис. 2), и 2) рас-

Таблица 2. Синтез палеомагнитных данных по ордовику Сибири и Балтики

	<i>N</i>	Long	Lat	<i>k</i>	A95
Тренды смещения полюсов в позднем ордовике*					
Балтика	4	300.9	42.4		4.8
Сибирь	4	190.0	55.2		13.1
Осредненные полюсы дарривила (группа 2)					
Балтика	9	229.8	-19.5	55.5	7.0
Сибирь	6	155.1	-27.5	196.0	4.8
Комбинированные осредненные полюсы**					
Группа 1 (~454 млн лет)	6	138.9	-20.4	51.6	9.4
Группа 2 (~462 млн лет)	15	155.1	-27.5	82.7	4.2
Группа 3 (~470 млн лет)	7	159.4	-32.5	131.4	5.3
Группа 4 (~481 млн лет)	4	136.4	-37.9	183.6	6.8
Полюсы Эйлера***					
Вариант "А"	Long = 33.2; Lat = 73.5; angle = 86.3				
Вариант "Б"	Long = 51.6; Lat = 80.1; angle = 79.9				

Пояснения: *N* – количество палеомагнитных полюсов, используемых в статистике; Long/Lat – долгота/широта; *k* – кучность; A95 – радиус круга доверия для вероятности 95%; angle – угол поворота при вращении вокруг полюса Эйлера (для приведения данных по Балтике к "сибирским" координатам – вращение по часовой стрелке). * – нормали к большим кругам, аппроксимирующим тренды смещения позднеордовикских полюсов от осредненных полюсов дарривила. ** – для приведения полюсов Балтики к "сибирским" координатам используется полюс Эйлера вариант "Б". *** – при расчете полюса Эйлера вариант "А" используются парные данные по трендам смещения позднеордовикских полюсов и осредненным полюсам дарривила, при расчете полюса Эйлера вариант "Б" используются парные данные по осредненным полюсам дарривила и полюсам ранней перми (в соответствии с [Шацилло, 2015a]). Прочие пояснения в тексте.

чет по позднеордовикским трендам смещения полюсов, в связи с неполным соответствием возрастов анализируемых определений и их малой выборкой, дает приблизительные и, возможно, смещенные оценки. Отметим, что при сопоставлении палеомагнитных данных по Сибири и Балтике с использованием полюса Эйлера варианта "Б", тренды смещения позднеордовикских полюсов отличаются статистически не значимо (угловое расстояние между нормальными к большим кругам, аппроксимирующим тренды, соответствует 14.6° , при его критическом значении 16.1°), а кучность распределения полюсов флю-дапина (группа 3 объединенной выборки) увеличивается на $\sim 10\%$.

На основе всего массива палеомагнитных данных по ордовику Сибири и Балтики построена комбинированная кривая кажущейся миграции полюса (рис. 4, врезка, табл. 2). На текущем уровне детальности палеомагнитной изученности ордовика Сибири и Балтики, в той или иной степени обоснованные осредненные полюсы можно рассчитать для четырех возрастных групп (возрастная оценка каждой группы является результатом осреднения возрастов всех входящих в нее определений): 1) ~ 454 млн лет – середина позднего ордовика, 2) ~ 462 млн лет – конец среднего ордовика, 3) ~ 470 млн лет – рубеж ранний–средний ордовик, 4) ~ 481 млн лет – начало раннего ордовика.

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Взаимное положение и дрейф Сибири и Балтики в ордовике

Основываясь на развиваемой нами гипотезе о палеозойском дрейфе Сибири и Балтики в составе общей литосферной плиты, "допангейская" реорганизация которой определялась относительным вращением кратонов вокруг единого полюса Эйлера, можно восстановить взаимное положение рассматриваемых континентальных блоков. Используя рассчитанный полюс Эйлера и соответствующий угол поворота (табл. 2, вариант "Б") для одного из кратонов, реконструировано взаимное положение кратонов в ордовикское время, в соответствии с которым Сибирь была обращена своей "таймырской" окраиной к "тиманской" окраине Балтики (рис. 4). Литосферная плита, в состав которой входили Сибирь и Балтика, была "вытянута" вдоль меридиана, при этом кратоны разделяло пространство шириной ~ 2000 км. Кратоны располагались в разных климатических поясах: Балтика в субполярном-умеренном, а Сибирь – в экваториальном. Пространство, разделявшее Сибирь и Балтику, не было океаническим. Как это убедительно показывают некоторые модели, основанные на геологических данных [Кузнецов, 2006; 2007; 2009; Kuznetsov et al., 2010], комплексы протоуралид-тиманид или тиманид (СВ обрамление Балтики в современных координатах).

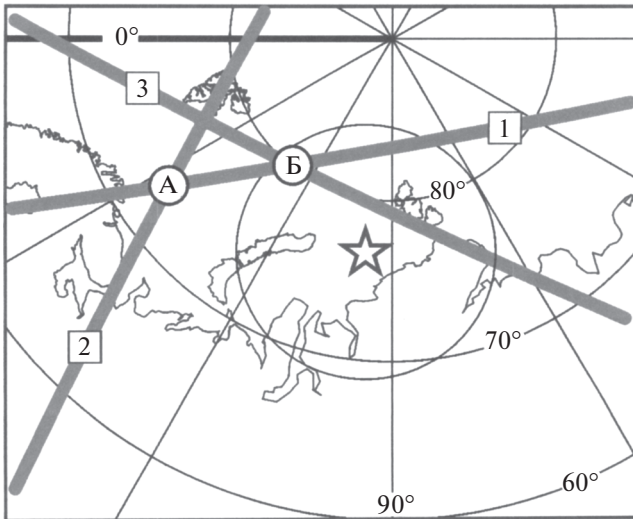


Рис. 2. Рассчитанные полюсы Эйлера: жирные серые линии и соответствующие им цифры в квадратиках – геометрические области (большие круги), характеризующие возможные положения полюсов вращения, для совмещения палеомагнитных данных по Сибири и Балтике, рассчитанные по: 1) осредненным полюсам дарривила, 2) трендам позднеордовикских полюсов, 3) полюсам ранней перми (в соответствии с работой [Шацилло, 2015а]). Буквы в кружках – варианты рассчитанных полюсов Эйлера для парных данных, в соответствии с табл. 2. Звездочка и соответствующий ей круг (доверия) – полюс пермского вращения платформ, рассчитанный по региональным структурным данным (в соответствии с работой [Шацилло, 2015а]). Прочие пояснения в тексте.

натах) являлись фрагментом эпигренвильского (?) континента Арктида и имели своим северо-восточным (в современных координатах) продолжением блоки континентальной коры, образующие

ныне шельф и архипелаги Ледовитого океана. Эти блоки испытали частичную дезинтеграцию лишь в мезозое. То есть, пространство между Сибирью и Балтикой занимал континент Арктида, время коллизии которого с Балтикой оценивается ранним кембрием [Kuznetsov et al., 2014]. Предлагаемой модели не противоречат имеющиеся палеомагнитные данные по острову Октябрьской Революции (Карский блок Арктиды), по средневерхнеордовикским породам которого оценена палеоширота 14.4 ± 12 ю.ш. [Metelkin et al., 2005], что отлично согласуется с серией наших палеореконокструкций для этого времени (рис. 4). С учетом мезозойско-кайнозойских движений при раскрытии Евразийского и Канадского спрединговых бассейнов Ледовитого океана [Шацилло, 2015б], в предлагаемую схему также могут быть интегрированы палеомагнитные данные и по ордовику Новосибирского блока Арктиды (острова Беннетта и Котельный) [Верниковский и др., 2013]. На пространственную связь Новосибирского архипелага с северо-востоком Сибирской платформы в раннем палеозое указывают полученные недавно палеобиогеографические и седиментологические данные [Данукалова и др., 2014], что также поддерживает нашу реконструкцию, предполагающую единство Сибири, Балтики и Арктиды в ордовикское время.

На основе осредненных палеомагнитных полюсов комбинированной КМП Сибири-Балтики (табл. 2) были рассчитаны скорости широтного дрейфа, а также направление и масштабы вращения композитного континента Сибирь–Арктида–Балтика (САБ) в течение ордовика (рис. 4). В соответствии с полученными данными на протяжении рассматриваемого времени САБ испыты-

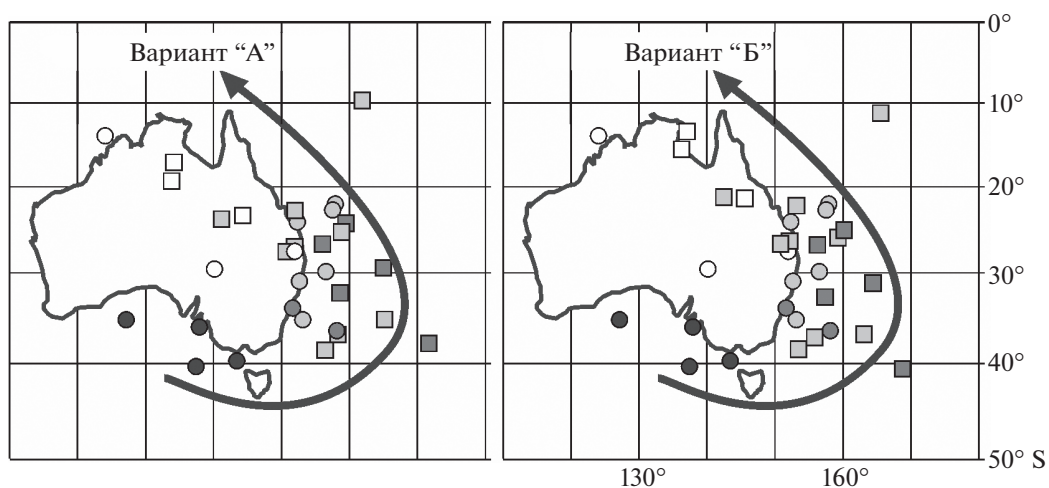


Рис. 3. Характер распределения палеомагнитных полюсов Сибири и полюсов Балтики, приведенных к “сибирской” системе координат при использовании различных вариантов полюса Эйлера (варианты “А” и “Б” табл. 2): кружки – палеомагнитные полюсы Сибири; квадратики – палеомагнитные полюсы Балтики; стрелка – направление смещения полюсов от раннего к позднему ордовику. Прочие пояснения на рис. 1, табл. 2 и в тексте.

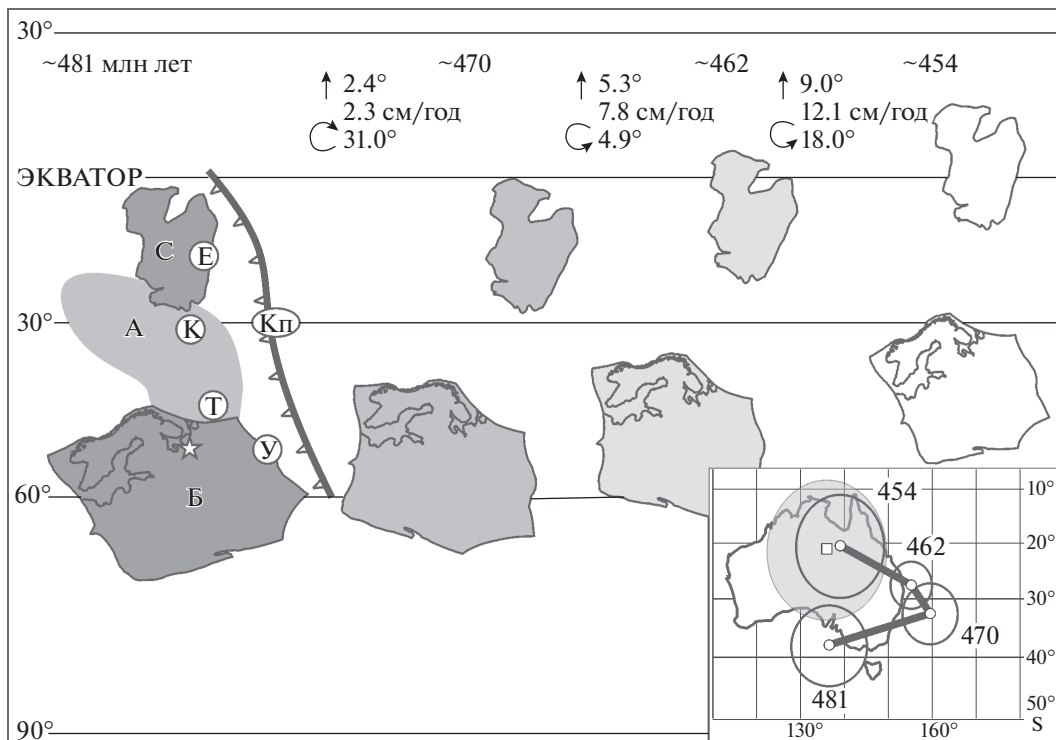


Рис. 4. Взаимное положение Сибири и Балтики в рамках композитного континента САБ (Сибирь–Арктида–Балтика), его палеогеографическое положение и характер дрейфа вдоль палеомеридиана в ордовикское время. На врезке – комбинация кривая кажущейся миграции полюса Сибири–Балтики в “сибирских” координатах: С – Сибирь, А – Арктида (контур условный), Б – Балтика, У – уральская окраина, Е – енисейская окраина, Кп – гипотетическая островная дуга Кипчак. Структуры Арктиды: Т – ороген Протоуралид-Тиманид, К – Карский блок. Круговые стрелки и соответствующие им цифры – направление и масштабы вращения (в градусах). Вертикальные стрелки и соответствующие им цифры – направление широтного дрейфа, масштаб перемещения (в градусах), скорость перемещения (см/год). Звездочка – референтная точка (г. Архангельск), для которой рассчитаны кинематические параметры континента САБ. На врезке: квадратик и соответствующий ему круг доверия с серой заливкой – палеомагнитный полюс среднего–позднего ордовика Карского блока Арктиды согласно [Metelkin et al., 2005], приведенный к “сибирским” координатам с использованием полюса Эйлера варианта “Б” (табл. 2).

вал направленный широтный дрейф в северном направлении, скорость дрейфа возростала от ~2 см/год в раннем ордовике до ~12 см/год в позднем ордовике. Среднему ордовика соответствует изменение направления вращения САБ от правостороннего (по часовой стрелке) к левостороннему, которое отражено в изломе кривой КМП (рис. 4). Возможно, что резкое изменение характера перемещения САБ могло быть связано с глобальной перестройкой движения всего ансамбля литосферных плит, что, в свою очередь, можно рассматривать “предвестником” крупнейшего тектонического события раннего–среднего палеозоя – закрытия океана Япетус и коллизии САБ и Лаврентии.

Эволюция осадконакопления в ордовикских бассейнах Балтики и Сибири и модель САБ

Сравнительный анализ зависимых от климата мелководных фаций в разрезах ордовика Сибири и Балтики демонстрирует, что характер эволюции

осадконакопления на этих двух палеоконтинентах в рассматриваемое время резко различался. На Балтике разрез ордовика начинается кварцевыми и глауконитовыми песчаниками (большая часть нижнего ордовика), которые аналогичны холодноводным “нубийским фациям” ордовика Гондваны. В самом конце нижнего и в среднем ордовике, на смену силицикlastическому, постепенно приходит карбонатное осадконакопление, причем, поначалу это наиболее конденсированные холодноводные известняки с обилием глауконита (нижняя часть среднего ордовика). Вверх по разрезу мощности региональных стратиграфических подразделений постепенно возрастают и количество карбонатного ила в них увеличивается. Смена карбонатов умеренного климата, типичными тропическими доломитами и известняками, происходит с середины верхнего ордовика. Даже в самом конце позднего ордовика, в то время, когда в Гондване фиксируется покровное оледенение, в пределах Балтики накапливаются типичные для тропического климата оолитовые

грейнстоуны [Dronov, Rozhnov, 2007]. Описанный тренд хорошо объясняется ордовикским дрейфом Балтики из высоких широт южного полушария в низкие (рис. 4).

Эволюция осадконакопления в разрезах ордовика Сибири имеет прямо противоположную направленность. Разрез здесь начинается с мощной (до 600 м) серии тропических известняков и доломитов со всеми признаками осадконакопления в низких широтах, включая широкое распространение строматолитовых построек, оолитовые грейнстоуны, плоскогалечные конгломераты и признаки карстификации. В лагунных фациях встречаются гипсы, ангидриты и многочисленные глиптоморфозы по галиту. Во второй половине среднего ордовика эта гигантская карбонатная платформа внезапно прекращает свое существование и тропическое карбонатное осадконакопление практически на всей Сибирской платформе сменяется силицикlastическим (байкитские песчаники и их аналоги). Следует отметить, что появление типично “нубийских фаций” в среднем ордовике Сибири сопровождается появлением в них следов гигантских трилобитов [Kushlina, Dronov, 2011], которые считаются характерными для холодноводных областей Гондваны [Neto de Carvalho, Vaucon, 2016]. Верхи среднего и весь верхний ордовик в Тунгусском бассейне Сибирской платформы представлен относительно маломощной (не более 100 м) серией холодноводных карбонатов [Dronov, 2013]. Учитывая положение Сибири в течение всего ордовика в низких приэкваториальных широтах (на что указывают палеомагнитные данные), появление во второй половине среднего ордовика холодноводных карбонатов может быть объяснено, по-видимому, только появлением холодных течений.

В целом, описанные резкие различия в эволюции осадконакопления в ордовике Сибири и Балтики не противоречат вхождению этих палеоконтинентов в состав единого континентального агломерата САБ (рис. 4). В то же время, кардинальные изменения характера седиментации Сибирского бассейна, выраженные среднеордовикской деформацией тропической карбонатной платформы и широким распространением силицикlastических фаций, которые, однако, практически не имеют отражения в эволюции бассейнов Балтики, нуждаются в дальнейшем осмыслении.

Модель “ШНБ” в свете концепции САБ и геохронологических данных

Как отмечалось во Введении, “отправной точкой” модели “ШНБ” является взаимное положение Сибири и Балтики в венде — начале палеозоя. В соответствии с моделью “ШНБ”, на рубеже докембрия и палеозоя Сибирь и Балтика представляли собой 1) единый континент и 2) были

обращены друг к другу своими современными северными окраинами, таким образом, что уральская окраина Балтики надстраивала енисейскую окраину Сибири [Sengör et al., 1993, Fig. 3A]. Как видно из реконструкции САБ (рис. 4), для ордовикского времени это условие в целом соблюдается, однако предполагает связь Сибири и Балтики “через” континент Арктида. Аналогичная конфигурация САБ предполагается для позднего венда [Шацилло, 2015б]. Это имеет своим следствием то, что в фундаменте гипотетической дуги Кипчак, сформировавшейся согласно гипотезе “ШНБ” на полосе континентальной коры, отторгнутой в результате венд-кембрийского рифтинга от уральско-енисейской окраины Сибири–Балтики, должны были присутствовать фрагменты как Сибири и Балтики, так и Арктиды. Если это так, то “следы” САБ (докембрийские комплексы уральско-енисейской периферии САБ) должны фиксироваться сейчас в пределах ЦАПП в ассоциации с островодужными комплексами раннего палеозоя. С другой стороны, “отпечаток” инициального рифтинга и островодужного вулканизма дуги Кипчак должен присутствовать в раннепалеозойских осадочных толщах енисейско-уральской окраины САБ (Уральской окраины Балтики и Баренцевоморской части Арктиды, а также — Енисейской окраины Сибири) в виде туфогенной примеси.

Есть ли подобные геологические свидетельства в пределах ЦАПП и на окраинах платформ? Ответ на этот вопрос можно получить на основании регионального анализа геохронологических данных по детритовым цирконам, содержащимся в раннепалеозойских осадочных толщах платформ и складчатого пояса и сопоставления этих данных с установленными “геохронологическими образцами” САБ и его частей. Данные по возрастам детритовых цирконов позволяют дать 1) интегральную оценку возрастов источников сноса того или иного региона, определяющих его индивидуальность и 2) возраст аэрального вулканизма, синхронного времени седиментации, если таковой был. В контексте тестирования модели “ШНБ” принципиально важные геохронологические и изотопно-геохимические данные к настоящему времени получены по следующим регионам:

1). уральской части ЦАПП (Восточно-Уральское поднятие и Сакмарская зона — терригенные толщи нижнего-среднего ордовика: маячная, рымнинская и кидрясовская свиты) [Кузнецов и др., 2016]. Данные по U—Pb возрастам и Lu—Hf изотопии детритовых цирконов из этих объектов показывают, что слагающие их ордовикские песчаники могли образовываться за счет размыва комплексов, аналогичных по своему возрасту и изотопным характеристикам комплексам фундамента Арктиды, с вкладом кембрийских магматических (вероятно

островодужных) комплексов. Это может означать, что источниками сноса для ордовикских толщ Восточно-Уральского поднятия и Сакмарской зоны южного Урала служили фрагменты островной дуги (или серии островных дуг), заложившихся на “осколках” Арктиды. Наличие в кидрясовской свите Сакмарской зоны олистостром, включающих раннекембрийские археоциатовые известняки ([Кузнецов, 2009], и ссылки в этой работе), может свидетельствовать о том, что островная дуга располагалась в низких “теплых” широтах, близких к Сибири – “родине” археоциат – организмов, не известных в кембрийских холодноводных отложениях Балтики. Это, в свою очередь, позволяет высказать предположение о том, что фундамент островной дуги первоначально принадлежал “присибирской” части Арктиды. Альтернативная точка зрения на интерпретацию геохронологических данных по детритовым цирконам из песчаников ордовикских толщ Южного Урала высказывалась ранее и предполагала в качестве источников сноса комплексы, аналогичные кадомидам Европы и южного обрамления Балтики (Скифско-Туранской плиты) [Кузнецов, 2009; Кузнецов и др., 2017];

2). верхнекембрийско-нижнеордовикским толщам западной зоны Полярного и Приполярного Урала (манитаньрдская серия, погурейская и саблегорская свиты [Соболева и др., 2012; Никулова и др., 2016; Miller et al., 2011]). В тектоническом отношении эти толщи рассматриваются как элементы строения нижних уровней разреза Печорской плиты и одновременно как элементы строения пассивной окраины континента [Пучков, 2010], в строении которого эта плита участвовала в раннем палеозое. Согласно точке зрения [Кузнецов, Романюк, 2014], эти толщи рассматриваются как комплексы рифтогенного бассейна, отделившегося от континента блок, на котором в среднем палеозое развилась Малоуральская островная дуга. Вне зависимости от представлений о геодинамической природе манитаньрдской серии, погурейской и саблегорской свит, фундамент, на котором они залегают, представлен дислоцированными неопротерозойскими комплексами протоуралид-тиманид, т.е. комплексами, сформированными в результате произошедшей на рубеже позднего венда и кембрия коллизии Арктиды и Балтики, ознаменовавшей формирование композитного континента Аркт-Европа [Kuznetsov et al., 2007; 2010]. Спектр возрастов детритовых цирконов из песчаников этих толщ указывает на то, что основным источником сноса терригенного материала для них был ороген протоуралид-тиманид (т.е. фундамент), кроме этого присутствует значимая популяция цирконов, с возрастными близкими времени седиментации пород [Соболева и др., 2012; Никулова и др., 2016]. Возрасты самых молодых цирконов 481, 508 и

495 млн лет (манитаньрдская серия, погурейская и саблегорская свиты, соответственно) интерпретируются как отражающие проявления конседиментационного магматизма, связанного с рифтогенезом на уральской окраине Аркт-Европы [Соболева и др., 2012; Никулова и др., 2016]. Песчаники саблегорской свиты Приполярного Урала подстилаются вулканогенно-осадочными породами, что согласуется с рифтовой моделью [Никулова и др., 2016], при этом выше в разрезе вулканы отсутствуют. В противовес объектам Приполярного Урала песчаники манитаньрдской серии и погурейской свиты Полярного Урала не находятся в тесной ассоциации с вулканитами, которые могли бы быть поставщиком “молодых” цирконов, исключая маломощный поток базальтоидов, залегающий в самом основании манитаньрдской серии в западной части поднятия Енганэ-Пэ [Соболева и др., 2012]. Нижнеордовикские (верхнекембрийско-нижнеордовикские) терригенные породы, содержащие конседиментационные (туфогенные) цирконы, в разрезах располагаются выше толщ, в значительной мере сложенных вулканическими породами. Ассоциирующие в отдельных (редких) случаях с этими породами потоки базальтоидов вряд ли могут обеспечить присутствие в них разновозрастных цирконов, т.к. обычно базальты крайне бедны первично-магматическим цирконом. Это позволяет нам предположить, что источником туфогенных цирконов мог быть пирокластический материал, образовавшийся при островодужном вулканизме, начавшемся почти синхронно с процессами раннепалеозойского рифтогенеза;

3). верхнекембрийским толщам енисейской окраины Сибирской платформы (эвенкийская свита Енисейского Кряжа). В терригенно-карбонатных отложениях эвенкийской свиты, участвующей в строении платформенного чехла западных районов Сибирской платформы, наряду с мезо-неопротерозойскими “не сибирскими” популяциями цирконов и архей-раннепротерозойскими популяциями, типичными для фундамента Сибири, присутствуют зерна с возрастными близкими ко времени седиментации пород [Прияткина и др., 2016]. По всей вероятности эти “молодые” цирконы имеют конседиментационный возраст, туфогенную природу и “не сибирский” источник, поскольку какие-либо проявления позднекембрийского магматизма на территории Сибирской платформы не известны. В качестве наиболее вероятного источника для цирконов конседиментационного возраста в верхнекембрийской эвенкийской свите логично предположить островодужный аэральный вулканизм, проявлявшийся в кембрии в пределах структур, реликты которых известны в нынешнем ЦАПП. Возможно, что венд-кембрийская островная дуга была поставщиком цирконов с возрастом

~540 млн лет, содержащихся в породах воровской серии позднего неопротерозоя, распространенной на северо-западе Енисейского Кряжа [Летникова и др., 2016].

В свете рассматриваемого вопроса определенный интерес представляют данные по возрастам детритовых цирконов из палеозойских метаосадочных толщ Монголии [Rojas-Agramonte et al., 2010; Kröner et al., 2011], несущих информацию о возрасте пород, входивших в состав вендско-кембрийских островодужных комплексов этой части ЦАПП. Геохронологические данные по рассматриваемым объектам позволили авторам этих публикаций высказать гипотезу, согласно которой фундамент островодужных комплексов представляли отторженцы Таримского блока. По нашему мнению, полученные спектры возрастов подразумевают комбинированный источник, включающий комплексы раннекембрийского фундамента Сибири (или продукты их переотложения), а также неопротерозойские комплексы протоуралид-тиманид, что, однако, пока недостаточно обосновано.

Таким образом, обзор геохронологических данных по детритовым цирконам из раннепалеозойских толщ окраин Балтики, Сибирского кратона и структур ЦАСП позволяет предполагать, что: 1) в вендско-кембрийское время в пределах Палеоазиатского океана вблизи енисейской и уральской окраин Сибири и Балтики (и Арктиды) функционировали островодужные системы (или единая система); 2) по крайней мере, некоторые из вендско-кембрийских островных дуг Палеоазиатского океана заложились на континентальной коре, представленной отторженцами Балтики и Арктиды, и, возможно, Сибири (или их комбинацией) и 3) инициальные стадии формирования венд-кембрийских островных дуг (рифтогенез на пассивной окраине) фиксируются по уральской окраине Арктиды (Приполярный Урал). Сделанное заключение, безусловно, не является доказательством модели “ШНБ”, но предоставляет дополнительные аргументы в поддержку тестируемой концепции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный комплексный анализ палеомагнитных, геологических и геохронологических данных позволяет высказать ряд в той или иной степени обоснованных выводов и предположений:

1) палеомагнитные данные по Сибири и Балтике характеризуются схожими тенденциями смещения палеомагнитных полюсов в течение ордовика. Сходство трендов смещения полюсов позволяет предполагать, что рассматриваемые континентальные блоки в ордовике могли испытывать согласованные перемещения, то есть вхо-

дить в состав общей литосферной плиты. Наилучшее совмещение палеомагнитных полюсов ордовика Сибири и Балтики достигается путем их поворота вокруг полюса Эйлера, располагающегося в пределах акватории Карского моря. Как было показано в работе [Шацилло, 2015а], аналогичный полюс Эйлера описывает пермский разворот Сибири относительно Балтики в ходе амальгамации северной части Пангеи, т.е. формирования Северной Евразии в ее раннемезозойской конфигурации, близкой к современной. Это позволяет предполагать, что Сибирь и Балтика в течение *всего* палеозоя, а, возможно, и с позднего венда [Шацилло, 2015б], представляли единый “континентальный агломерат”, конфигурация которого определялась относительным разворотом кратонов вокруг одного и того же полюса вращения. Если сделанное заключение верно (“противопоказаний” к нему обнаружено не было), то палеомагнитные данные по палеозою Сибири и Балтики, с введением соответствующих тектонических поправок, могут совместно использоваться для построения палеореконструкций и разработки комбинированной (общей) кривой кажущейся миграции полюса;

2) выполненная на основе комбинированного набора палеомагнитных данных по ордовику Сибири и Балтики палеотектоническая реконструкция показывает: а) в течение ордовика северная (таймырская) окраина Сибири была обращена к северо-восточной (тиманской) окраине Балтики, при этом их разделяло пространство шириной около 2000 км; б) пространство между Сибирью и Балтикой занимал континент Арктида, чему, в частности, не противоречат палеомагнитные данные по ордовику Карского блока (архипелаг Северная Земля) [Metelkin et al., 2005], входившего в его состав; в) поскольку коллизия Арктиды и Балтики оценивается поздним вендом—ранним кембрием [Kuznetsov et al., 2014], а взаимное положение Сибири и Балтики в позднем венде предполагается аналогичным ордовикскому [Шацилло, 2015б; Шацилло и др., 2015 и ссылки там], все эти три блока могут быть объединены в конце венда—начале палеозоя в составе композитного континента Сибирь—Арктида—Балтика (САБ);

3) континент САБ был вытянут вдоль меридиана и простирался от субполярных до экваториальных климатических поясов южного полушария. При этом балтийский фрагмент САБ занимал средне-высокоширотные области, а сибирский фрагмент — низкоширотные. В течение ордовика САБ испытывал северный дрейф со скоростью ~2–8 см/год в раннем—среднем ордовике, в позднем ордовике скорость дрейфа возросла до 12 см/год. Позднеордовикскому скачку скоростей широтного дрейфа САБ предшествовало изменение направления его вращения — от вращения по часовой стрелке (ранний ордовик) к вра-

шению против часовой стрелки. Набор фаций и литологические особенности пород, накапливавшихся в ордовикских бассейнах Сибири и Балтики, согласуются с представлениями о широтном дрейфе балтийского фрагмента САБ из высоких широт южного полушария в низкие, а также с низкоширотным положением сибирского фрагмента САБ, по крайней мере, в раннем — начале среднего ордовика. Появление во второй половине среднего ордовика в сибирских разрезах холодноводных карбонатов может быть объяснено появлением холодных течений, что требует дальнейшего осмысления. Не исключено, что изменение системы течений в мировом океане в среднем ордовике могло быть связано с глобальной тектонической перестройкой всего ансамбля литосферных плит и изменением характера их движения, что, в свою очередь, могло быть предвестником крупнейшего тектонического события среднего палеозоя — коллизии Балтики (балтийской части САБ) и Лаврентии, и с чем, возможно, связано изменение характера дрейфа САБ в середине ордовикского времени;

4) анализ геохронологических данных по детритовым цирконам из кембрийско-ордовикских толщ уральской окраины Балтики, енисейской окраины Сибири и некоторых объектов ЦАПП допускает, что в пределах структур ЦАПП могут содержаться реликты континентальной коры Арктиды и, возможно, Сибири (или их комбинация). Эти фрагменты САБ могли служить фундаментом для вендско-кембрийских островодужных комплексов, слагающих сейчас значительную часть ЦАПП. Вероятно, что обособление этих фрагментов САБ от континентальной части было вызвано венд-кембрийским рифтингом на енисейско-уральской окраине континента. Такое заключение в какой-то степени согласуется с моделью “ШНБ” [Sengör et al., 1993], рассматривающей раннепалеозойскую эволюцию ЦАПП как результат функционирования гигантской островной дуги Кипчак, протягивавшейся вдоль енисейско-уральской окраины Сибири и Балтики и заложившейся на полосе континентальной коры, отторгнутой от кратонов в венде-кембрии в результате рифтогенеза. Предлагаемая нами конфигурация САБ в целом согласуется с базовыми позициями модели “ШНБ”, в соответствии с которыми в венде—раннем кембрии Сибирь и Балтика должны были быть обращены друг к другу своими современными северными окраинами. В своих построениях мы не стремимся доказать справедливость модели “ШНБ”, однако, сделанные нами заключения в целом не противоречат рассматриваемой концепции и могут указывать на то, что часть (и возможно значительная) вендско-кембрийских островодужных комплексов, представленных сейчас в структуре ЦАПП, заложилась на фрагментах композитного континента

Сибирь—Арктида—Балтика, а не на отторженцах Гондваны или Таримского блока, как это предполагается в ряде работ [Диденко и др., 1994; Buslov et al., 2001; Rojas-Agramonte et al., 2010; Kröner et al., 2011; и др.].

Тематика исследований соответствует научным планам Лабораторий Главного геомагнитного поля и петромагнетизма и Археомгнетизма ИФЗ РАН, а также Лаборатории Геодинамики позднего докембрия и фанерозоя ГИН РАН. Частично исследования финансируются за счет средств МОН РФ (№ 14.Z50.31.0017 — систематизация палеомагнитных данных по ордовика Балтики, Сибири и современной Арктики), РФФИ (14-27-00058 — изотопное датирование цирконов из ордовикских песчаников Южного Урала) и РФФИ (16-05-00519 и 16-05-00799 — обработка данных по детритовым цирконам из ордовикских песчаников Южного Урала и попарное сопоставление ордовика Сибирской платформы и Балто-Скандии, соответственно), а также из средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров. Работа является вкладом в международный проект IGCP 653.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буслов М.М. Тектоника и геодинамика Центрально-Азиатского Складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупноамплитудных сдвигов // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 1. С. 66—90.
- Верниковский В.А., Метелкин Д.В., Толмачева Т.Ю., Малышев Н.А., Петров О.В., Соболев Н.Н., Матушкин Н.Ю. К проблеме палеотектонических реконструкций в Арктике и тектонического единства террейна Новосибирских островов: новые палеомагнитные и палеонтологические данные // Докл. РАН. 2013. Т. 451. № 4. С. 23—429.
- Гуревич Е.Л., Храмов А.Н., Родионов В.П., Деккерс М., Федоров П.В. Палеомагнетизм ордовикских и девонских осадочных пород северо-запада Русской платформы: новые данные о кинематике Балтики в палеозое и о пермотриасовом перемагничивании // Физика Земли. 2005. № 7. С. 48—64.
- Данукалова М.К., Кузьмичев А.Б., Коровников И.В. Кембрий острова Беннетта (Новосибирские острова) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 4. С. 3—28.
- Диденко А.Н., Моссаковский А.А., Печерский Д.М., Руженцев С.В., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. Геодинамика палеозойских океанов Центральной Азии // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 7—8. С. 59.
- Зональная стратиграфия фанерозоя России / Науч. ред. Корень Т.Н. СПб.: изд-во ВСЕГЕИ. 2006. 256 с.
- Кузнецов Н.Б. Кембрийская коллизия Балтики и Арктиды, ороген Протоуралид-Тиманид и продукты его размыва в Арктике // Докл. РАН. 2006. Т. 411. № 6. С. 788—793.

- Кузнецов Н.Б. Комплексы протоуралид-тиманид и позднедокембрийско-раннепалеозойская эволюция восточного и северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Автореферат дис. ... на соискание ученой степени докт. геол.-мин. наук. Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. М. 2009. 49 с.
- Кузнецов Н.Б., Горожанин В.М., Белоусова Е.А., Дегтярев К.Е., Горожанина Е.Н., Романюк Т.В., Каныгина Н.А. Первые результаты U–Pb датирования детритовых цирконов из ордовикских терригенных толщ Соль-Илецкого блока Восточно-Европейской платформы // Докл. РАН. 2017. Т. 437. № 3.
- Кузнецов Н.Б., Дегтярев К.Е., Романюк Т.В., Рязанцев А.В., Белоусова Е.А., Третьяков А.А., Толмачева Т.Ю. Результаты U/Pb-изотопного датирования и изучения Lu/Hf-изотопно-геохимических характеристик обломочных цирконов из ордовикских толщ Южного Урала и Кокчетавского массива. Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 14. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2016. С. 149–152.
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В. Палеозойская эволюция Полярного Урала: Войкарский бассейн с корой океанического типа существовал не менее 65 млн лет // Бюллетень МОИП, отд. геологич. 2014. Т. 89. Вып. 5. С. 56–70.
- Летникова Е.Ф., Вишневская И.А., Ветрова Н.И., Прошенкин А.И., Прияткина Н.А., Бродникова Е.А. Вендские отложения западной окраины Сибирской платформы (вороговская серия, Енисейский Кряж). Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы совещания. Вып. 14. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2016. С. 184–186.
- Лубнина Н.В., Зайцев А.В., Павлов В.Э. Новые данные о положении палеомагнитного полюса Восточно-Европейского континента в ордовике // Докл. РАН. 2005. Т. 401. № 1. С. 89–94.
- Метелкин Д.В. Эволюция структур центральной Азии и роль сдвиговой тектоники по палеомагнитным данным. Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Новосибирск: Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. 2010. 482 с.
- Никулова Н.Ю., Удоротина О.В., Хубанов В.Б. Возраст песчаников в основании разреза уралид на хр. Сабля (Приполярный Урал) по результатам U–Pb датирования детритных цирконов // Бюллетень МОИП. Отд. Геологический. 2016. Т. 91. № 1. С. 15–23.
- Павлов В.Э., Веселовский Р.В., Шаццлло А.В., Галле И. Магнитная стратиграфия опорного разреза ордовика среднего течения р. Ангары – еще одно доказательство существования ордовикского геомагнитного суперхрона // Физика Земли. 2012. № 4. С. 14–22.
- Павлов В.Э., Толмачева Т.Ю., Веселовский Р.В., Латышев А.В., Фетисова А.М., Бигун И.В. Магнитная стратиграфия ордовика нижнего течения р. Котуй: возраст бысырюхской толщи и частота геомагнитных инверсий накануне суперхрона // Физика Земли. 2017. № 5. С. 89–100.
- Прияткина Н.С., Кузнецов Н.Б., Шаццлло А.В., Рудько С.В., Худолей А.К., Коллинз В.Дж. U/Pb Датирование цирконов из позднедокембрийских и раннепалеозойских песчаников Енисейского кряжа. Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы совещания. Вып. 14. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2016. С. 230–232.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис. 2010. 280 с.
- Родионов В.П., Гуревич Е.Л. Опорный магнитостратиграфический разрез отложений нижнего ордовика северо-запада Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5. № 3. http://www.ngtp.ru/rub/2/38_2010.pdf.
- Родионов В.П., Гуревич Е.Л., Павлов В.Э. Магнитостратиграфия ордовика Алексеевского карьера (Ленинградская область): новые данные для построения шкалы магнитной полярности раннего палеозоя. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент / Под ред. Гапеева А.К. М.: ГЕОС. 2002. С. 78–80.
- Соболева А.А., Кузнецов Н.Б., Миллер Э.Л., Удоротина О.В., Герелс Дж., Романюк Т.В. Первые результаты U/Pb-датирования детритных цирконов из базальных горизонтов уралид (Полярный Урал) // Докл. РАН. 2012. Т. 415. № 5. С. 570–576.
- Храмов А.Н. (ред.) Палеомагнитология. Л.: Недра. 1982. 312 с.
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А., Осипова Э.П., Погарская И.А., Родионов В.П., Слауцитайс И.П., Смирнов Л.С., Форш Н.Н. Палеомагнетизм палеозоя. Труды ВНИГРИ. 1974. № 335. С. 3–238.
- Храмов А.Н., Иосифиди А.Г. Палеомагнетизм осадочных пород нижнего ордовика и кембрия в разрезе правого берега р. Нарва: к построению модели кинематики Балтики в раннем палеозое // Физика Земли. 2009. № 6. С. 3–19.
- Шаццлло А.В. Взаимодействие Сибири и Балтики на финальном этапе амальгамации евразийской части Пангеи // Физика Земли. 2015а. № 2. С. 150–164.
- Шаццлло А.В. Единство Сибири, Арктиды и Балтики в палеозое: гипотеза “протоевразийской” плиты. Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. Материалы XLVII Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС. 2015б. С. 277–282.
- Шаццлло А.В., Кузнецов Н.Б., Павлов В.Э., Федонкин М.А., Прияткина Н.С., Серов С.Г., Рудько С.В. Первые магнитостратиграфические данные о стратотипе верхнепротерозойской лопатинской свиты (северо-восток Енисейского кряжа): проблемы ее возраста и палеогеографии Сибирской платформы на рубеже протерозоя и фанерозоя // Докл. РАН. 2015. Т. 465. № 4. С. 464–468.
- Шенгер А.М., Натальин Б.А., Буртман В.С. Тектоническая эволюция Алтаид // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 7–8. С. 41–57.
- Buslov M.M., Saphonova I.Yu., Watanabe T., Obut O.T., Fujiwara Y., Iwata K., Semakov N.N., Sugai Y., Smirnova L.V., Kazansky A.Yu. Evolution of the Paleo-Asian Ocean (Altai Sayan Region, Central Asia) and collision of possible Gondwana-derived terranes with the southern marginal part of the Siberian continent // Geosciences J. 2001. V. 5. № 3. P. 203–224.

- Claesson K.C.* Swedish Ordovician limestones: Problems in clarifying their directions of magnetization // *Phys. Earth Planet. Inter.* 1978. V. 16. P. 65–72.
- Dronov A., Rozhnov S.* Climatic changes in the Baltoscandian basin during the Ordovician: sedimentological and palaeontological aspects // *Acta Palaeontologica Sinica*. 2007. 46 (Suppl.). P. 108–113.
- Dronov A.* Late Ordovician cooling event: Evidence from the Siberian Craton // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2013. V. 389. № 1. P. 87–95.
- Enkin R.J.* A computer program package for Analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada. 1994. 16 p.
- Gallet Y., Pavlov V.* Magnetostratigraphy of the Moyero river section (northwestern Siberia): Constraints on geomagnetic reversal frequency during the early Palaeozoic // *Geophys. J. Int.* 1996. V. 125(1). P. 95–105.
- Ogg James G., Gabi M. Ogg, Felix M.* Gradstein A Concise Geologic Time Scale 6 – Ordovician. Published by Elsevier. 2016. P. 57–69.
- Kröner A., Demoux A., Zack T., Rojas-Agramonte Y., Jian P., Tomurhuu D., Barth M.* Zircon ages for a felsic volcanic rock and arc-related early Palaeozoic sediments on the margin of the Baydrag microcontinent, central Asian orogenic belt, Mongolia // *J. Asian Earth Sciences*. 2011. V. 42. P. 1008–1017.
- Kushlina V.B., Dronov A.V.* A giant Rusophycus from the Middle Ordovician of Siberia. In: Gutiérrez-Marco J.C., Rábano I., García-Bellido D. (eds.), *Ordovician of the World*. Cuadernos del Museo Geominero, 14. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. 2011. P. 279–285.
- Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Alekseev A.S., Romanyuk T.V.* New data on detrital zircons from the sandstones of Lower Cambrian Brusov Formation (White-Sea region, East-European craton): unraveling the timing of the onset of the Arctida-Baltica collision // *International Geology Review*. 2014. V. 56. № 16. P. 1945–1963.
- Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A., Reilly S.Y.O., Griffin W.L.* Geochronological, geochemical and isotopic study of detrital zircon suites from late Neoproterozoic clastic strata along the NE margin of the East European Craton: Implications for plate tectonic models // *Gondwana Research*. 2010. V. 17. № 2–3. P. 583–601.
- Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V., Hertseva M.V., Andreichev V.L.* Pre-Ordovician tectonic evolution and volcano–plutonic associations of the Timanides and northern Pre-Uralides, northeast part of the East European Craton // *Gondwana Research*. 2007. V. 2. № 3. P. 305–323.
- Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Kazansky A.Yu., Bogolepova O.K., Gubanov A.P.* Paleozoic history of the Kara microcontinent and its relation to Siberia and Baltica: paleomagnetism, paleogeography and tectonics // *Tectonophysics*. 2005. V. 398. P. 225–243.
- Miller E.L., Kuznetsov N., Soboleva A., Udoratina O., Grove M., Gehrels G.E.* Baltica in the Cordillera? // *Geology*. 2011. V. 39. P. 791–794.
- Neto de Carvalho C., Baucon A.* 2016. Giant trilobite burrows and their paleobiological significance (Lower Ordovician from Penha Garcia, UNESCO Naturtejo Global Geopark). *Ichnologia de Portugal e Transfronteiriça*. Comunicações Geológicas. Tomo 103, Fascículo Especial I, Lisboa. 2016. P. 71–82.
- Pavlov V., Bachtadse V., Mikhailov V.* New Middle Cambrian and Middle Ordovician palaeomagnetic data from Siberia: Llandelian magnetostratigraphy and relative rotation between the Aldan and Anabar–Angara blocks // *Earth and Planetary Science Letters*. 2008. V. 276. № 3–4. P. 229–242.
- Pavlov V., Gallet Y.* Upper Cambrian to Middle Ordovician magnetostratigraphy from the Kulumbe river section (northwestern Siberia) // *Phys. Earth Planet. Inter.* 1998. V. 108. P. 49–59.
- Perroud H., Robardet M., Bruton D.L.* Palaeomagnetic constraints upon the palaeogeographic position of the Baltic Shield in the Ordovician // *Tectonophysics*. 1992. V. 201. P. 97–120.
- Plado Jüri, Ulla Preeden, Argo Joeleht, Lauri J. Pesonen, Satu Mertanen* Palaeomagnetism of Middle Ordovician Carbonate Sequence, Vaivara Sinimäed Area, Northeast Estonia, Baltica // *Acta Geophysica*. 2016. V. 64. № 5. P. 1391–1411.
- Plado J., Preeden U., Pesonen L.J., Mertanen S., Puura V.* Magnetic history of Early and Middle Ordovician sedimentary sequence, northern Estonia // *Geophys. J. Int.* 2010. V. 180. № 1. P. 147–157.
- Powerman V., Shatsillo A., Coe R., Zhao X., Gladkochub D., Buchwaldt R., Pavlov V.* Palaeogeography of the Siberian platform during middle Palaeozoic Times (~450–400 Ma): new palaeomagnetic evidence from the Lena and Nyuya rivers // *Geophys. J. Int.* 2013. V. 194. P. 1412–1440.
- Rojas-Agramonte Y., Kröner A., Demoux A., Xia X., Wang W., Donskaya T., Liu D., Sun M.* Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: Significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt // *Gondwana Research*. 2011. V. 19. P. 751–763.
- Sengör A.M.C., Natal'in B.A., Burtman V.S.* Evolution of the Altai tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia // *Nature*. 1993. V. 364. P. 299–307.
- Smethurst M.A., Khramov A.N., Pisarevsky S.A.* Palaeomagnetism of the Lower Ordovician Orthoceras Limestone, St. Petersburg, and a revised drift history for Baltica in the early Palaeozoic // *Geophys. J. Int.* 1998. V. 133. P. 44–56.
- Torsvik T.H., Tait J., Moralev V.M., McKerrow W.S., Sturt B.A., Roberts D.* Ordovician palaeogeography of Siberia and adjacent continents // *J. the Geological Society, London*. 1995a. V. 152. P. 279–287.
- Torsvik T.H., Rehnstrom E.F.* The Tornquist Sea and Baltica–Avalonia docking // *Tectonophysics*. 2003. V. 362. P. 67–82.
- Torsvik T.H., Trench A.* Ordovician magnetostratigraphy: Llanvirn–Caradoc Limestones of the Baltic platform // *Geophys. J. Int.* 1991b. V. 107. P. 171–184.
- Torsvik T.H., Trench A.* The Lower–Middle Ordovician palaeofield of Scandinavia: southern Sweden “revisited” // *Phys. Earth Planet. Inter.* 1991a. V. 65. P. 283–291.
- Torsvik T.H., Trench A., Lohmann K.C., Dunn S.* Lower Ordovician reversal asymmetry: An artifact of remagnetization or non-dipole field disturbance? // *J. Geophys. Res.* 1995b. V. 100. P. 17885–17898.
- Zonenshain L., Kuzmin M.I., Natapov L.M.* Geology of the U.S.S.R.: A Plate Tectonic Synthesis. American Geophysical Union, Geodynamics Series. 1990. V. 21. 242 p.