

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИБИРИ И БАЛТИКИ НА ФИНАЛЬНОМ ЭТАПЕ АМАЛЬГАМАЦИИ ЕВРАЗИЙСКОЙ ЧАСТИ ПАНГЕИ

© 2015 г. А. В. Шацилло

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

E-mail: shatsillo@gmail.com

Поступила в редакцию 18.12.2013 г.

На основе палеомагнитных данных рассматриваются возможные варианты взаимного положения древних остовов Сибирской платформы (Сибири) и Восточно-Европейской платформы (Балтики) в ранней перми и характер их перемещения на стадии консолидации в структуре суперконтинента Пангея. Анализ кинематики Сибири и Балтики показывает, что в течение перми они принадлежали разным литосферным плитам, но, уже с этого времени, могли испытывать согласованные перемещения. Структурные данные по складчатым областям, опоясывающим платформы, и ограничения по кинематическим параметрам позволяют предложить наиболее вероятный сценарий взаимодействия Сибири и Балтики в пермское время, согласно которому движение Сибири относительно Балтики может быть описано вращением по часовой стрелке вокруг полюса Эйлера, располагающегося на юго-западе архипелага Северная Земля. Такое взаимодействие палеоконтинентов согласуется с меридиональным удлинением, т.е. “выжиманием” по системам сдвиговых зон в северном и южном направлениях структур, реликты которых в настоящее время составляют фундамент Западно-Сибирской плиты, и подтверждается особенностями формирования ряда специфических структур Центрально-Азиатского складчатого пояса и Арктического региона.

DOI: 10.7868/S0002333715020088

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время накоплено достаточное количество геологических и геофизических данных, поддерживающих гипотезу суперконтинента Пангея [Morel, Irving, 1981; Smith, Livermore, 1991; Kent, Muttoni, 2003; и др.], в который, к концу палеозоя, объединились почти все континентальные блоки Земли. Амальгамация или “сборка” Пангеи рассматривается как достаточно длительный процесс, начавшийся еще в конце позднего докембрия – начале кембрия и выраженный в последовательном ассамблировании континентальных блоков в композитные континенты с их последующей консолидацией в единый суперконтинент (рис. 1).

Финальный этап амальгамации северной части суперконтинента приходится на поздний карбон – пермь, когда континенты Аркт-Лавруссия (включавший Арктиду, Лаврентию и Балтику), Казахстания, Тарим и Сибирь объединились в континент Аркт-Лавразия, который, при последующем столкновении с Гондваной (объединявшей южные континенты) и образовал Пангею. В отличие от большинства других крупных сиалических блоков, вошедших в состав композитных континентов уже в раннем и среднем палеозое, Сибирь испытывала “автономный” дрейф вплоть

до позднего палеозоя. Очевидно, что взаимодействие палеоконтинентов в процессе ассамблирования Пангеи в значительной степени обусловило “стиль” тектоники и структурный рисунок на их окраинах и в обрамляющих складчатых поясах. Таким образом, восстановление взаимного положения и характера перемещения Сибири, Балтики и других древних ядер консолидации Северной Евразии в течение позднего палеозоя имеет первостепенное значение для понимания процессов, происходивших в это время в складчатых поясах.

Существующие геодинамические модели развития Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) и Арктических областей в позднем палеозое в качестве главного структурообразующего механизма предполагают правостороннее (по часовой стрелке) вращение Сибири в субконсолидированной структуре каледонид – герцинид Северной Евразии. Именно такое вращение может реализовать наблюдаемый характер тектоники, наиболее ярким проявлением которой являются крупноамплитудные левые сдвиги и сопряженные с ними структуры сжатия – растяжения, широко распространенные в пределах ЦАСП [Буслов и др., 2003; Буслов, 2011; и др.]. К такому заключению пришли авторы первых плитотектонических реконструкций территории бывшего

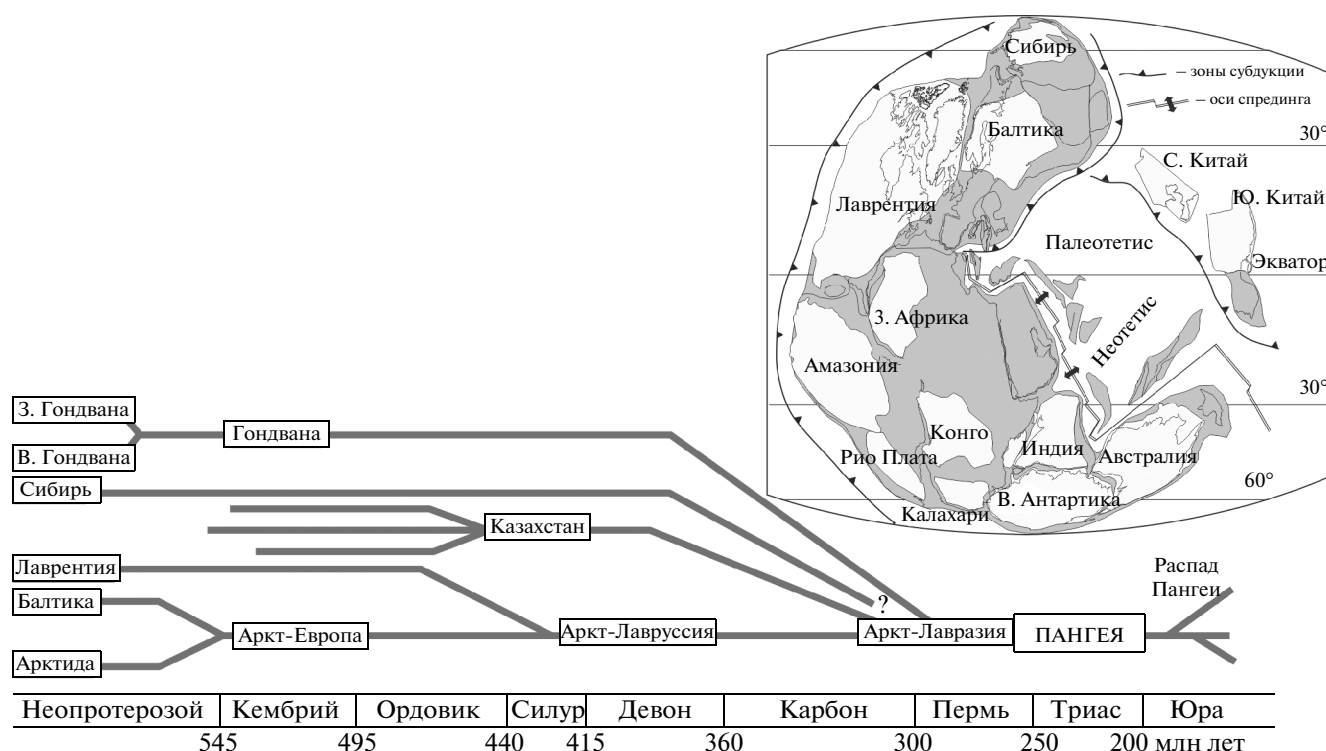


Рис. 1. Реконструкция Пангеи для поздней перми и последовательность амальгамации суперконтинента (заимствовано из работ [Torsvik, 2003] и [Кузнецов, 2009; Kuznetsov et al., 2010], соответственно).

СССР [Зоненшайн и др., 1990], использовавшие для оценки вращения Сибири накопленные к тому времени палеомагнитные данные [Храмов и др., 1982] и данные по траекториям движения континентов над горячими точками [Zonenshain et al., 1985]. В дальнейшем, эта идея получила широкое признание, впрочем, без подкрепления доказательной палеомагнитной базой [Буслов и др., 2003; Филиппова и др., 2001; и др.]. Некоторыми авторами аналогичные правосторонние вращения Сибири предполагались и для мезозоя [Баженов, Моссаковский, 1986; Метелкин и др., 2008; Метелкин, 2010; и др.], что ставило вопрос о жесткости Северной Евразии в послепалеозойское время. Однако анализ всего комплекса палеомагнитных данных по мезозою и кайнозою Сибири и ее складчатого обрамления, накопленных к 2012 г. [Павлов, 2012], при сравнении с данными по Балтике показал, что, *в пределах точности палеомагнитного метода*, такие вращения не фиксируются. То есть начиная с триаса, можно рассматривать Сибирь и Балтику как элементы единой жесткой структуры, как это и предполагалось в классических работах [Зоненшайн и др., 1990 Храмов и др., 1982; и др.]. Таким образом, процессы консолидации Северной Евразии и, соответственно, “главные” воздействия кратонов

на структуры обрамляющих складчатых поясов, произошли в домезозойское время.

Палеомагнитные данные для пермо-карбона Сибири и Казахстана, которые позволили бы выполнить такие построения, до последнего времени были крайне малочисленны и недостаточно надежны [Pisarevsky et al., 2006; Храмов и др., 1982; Печерский, Диденко, 1995; и др.]. Напротив, для Балтики позднепалеозойский интервал достаточно хорошо охарактеризован палеомагнитными определениями [Torsvik, Cocks, 2005]. Недавно появились валидные результаты и по центральному и восточному Казахстану [Abrazhevich et al., 2008; Levashova et al., 2003], указывающие на частичную консолидацию казахстанских структур и Балтики уже в ранней перми. В настоящей работе, на основе новых палеомагнитных результатов по ранней перми Сибири [Шацилло и др., 2014] и опубликованных материалов, будут рассмотрены возможные сценарии взаимодействия Сибири с Балтикой¹ и отражение процесса их столкновения в структурах складчатых поясов.

¹ Здесь и далее Балтика рассматривается совместно с Тимано-Печорским регионом и архипелагом Новая Земля, являющихся частями Арктиды.

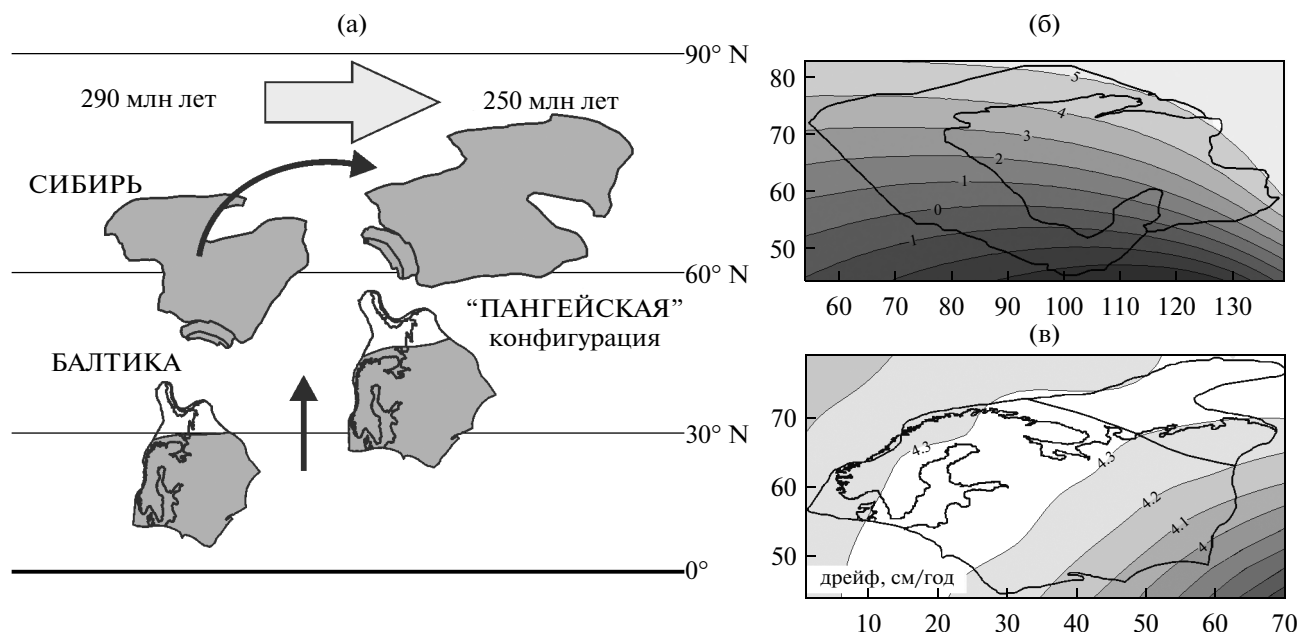


Рис. 2. Палеогеографическое положение Сибири и Балтики в раннепермское время и на рубеже пермь—триас (а) и скорость широтного дрейфа Сибири (б) и Балтики (в) в течение перми.

На рисунках (б) и (в) изолинии пермских скоростей платформ в современных координатах; положительные значения скорости — северный дрейф, отрицательные — южный. Подробнее о построении кинематического графика см. в работе [Шацилло, 2011]. Прочие пояснения в тексте.

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДРЕЙФА СИБИРИ И БАЛТИКИ В ТЕЧЕНИЕ ПЕРМИ

Для расчета кинематических параметров дрейфа Сибири и Балтики использовались палеомагнитные полюсы для двух возрастных уровней — ранняя пермь (290 млн лет) и рубеж пермь—триас (250 млн лет). Сибирский раннепермский полюс ($P_{\text{long}} = 125.8$; $P_{\text{lat}} = 36.1$; $A95 = 4.1$; $N = 23$) получен по гранитам Ангаро-Витимского батолита и перемагнитченным вмещающим породам Байкало-Патомского региона [Шацилло и др., 2014]. Полюс Балтики для этого возраста ($P_{\text{long}} = 166.7$; $P_{\text{lat}} = 43.0$; $A95 = 1.8$; $n = 67$) взят из синтетической кривой кажущейся миграции полюса (КМП) Лавруссии из работы [Torsvik, Cocks, 2005]. Исходя из предпосылки о ригидности Северной Евразии в мезозое [Павлов, 2012], в качестве общего пермь—триасового полюса для Сибири и Балтики использовался средний полюс Сибирских траппов “NSP-4” ($P_{\text{long}} = 151.1$; $P_{\text{lat}} = 57.2$; $A95 = 4.0$; $n = 8$), предложенный в работе [Pavlov et al., 2007].

Выполненные на основе рассматриваемого набора данных палеогеографические построения показывают (рис. 2а), что в течение пермского времени Балтика и Сибирь испытывали северный дрейф, при котором Балтика переместилась из тропических и субтропических широт в умерен-

ные, а Сибирь из умеренных — субарктических широт в субарктические, испытав при этом значительный разворот по часовой стрелке. В перми северной окраиной Балтики была ее Тимано-Новоземельская часть, север Сибири “смещался” от Алданской окраины на восток (к Сетте-Дабану).

Площадные оценки кинематических параметров палеоконтинентов представлены на (рис. 2б, 2в). Отметим, что, если оценки скорости широтного перемещения не зависят от характера движения платформ, т.е. от положения платформы относительно полюса вращения (позицию которого вычислить на основе только лишь палеомагнитных данных нельзя), то оценки скорости вращательной компоненты зависят от этого критически. Поэтому при анализе вращений информативны только данные по разнице склонений, характеризующие результирующий поворот относительно меридианной сетки. Как видно (рис. 2), в течение перми, Балтика практически не испытывала вращений, и ее перемещение характеризовал северный дрейф, скорость которого составляла около 4 см/год. Напротив, определяющей компонентой движения Сибири было вращение по часовой стрелке, составившее для центральных частей платформы около 60 градусов. В результате такого разворота Сибирь испытывала “дифференцированный” широтный дрейф, при котором современная юго-западная окраина платформы

смещалась к югу, а северная — к северу, с максимальной скоростью около 4–5 см/год.

Результаты проведенного анализа убедительно показывают, что в течение пермского времени Сибирь и Балтика были составляющими разных литосферных плит, характеризующихся существенно различной кинематикой. В то же время, близкие скорости северного дрейфа, характерные для современных арктических частей Сибирской и Восточно-Европейской платформ (рис. 2б, 2в) и, соответственно, соотношения арктических палеоширот, могут свидетельствовать в пользу того, что уже с начала перми движение платформ было в какой-то степени согласованным. То есть, пермское движение Сибири и Балтики, которое привело к их окончательной консолидации в структуре суперконтинента, можно рассмотреть как относительное вращение вокруг единого полюса Эйлера.

Палеомагнитные данные по ранней перми [Шацилло и др., 2014], рубежу пермь-триас [Pavlov et al., 2007] и началу мезозоя [Torsvik, Cocks, 2005; Walderhaug et al., 2005; Torsvik, Andersen, 2002] демонстрируют, что на границе палеозоя и мезозоя произошло кардинальное изменение кинематики Сибирской платформы. Именно в это время, когда Сибирь заняла свое место в структуре суперконтинента, преимущественное вращение по часовой стрелке, характерное для перми, сменилось триасовым северным дрейфом. Это свидетельствует о том, что литосферная плита, включавшая в себя Сибирскую платформу, потеряла свою тектоническую “индивидуальность” войдя в пангейский агломерат.

ВАРИАНТЫ ВЗАИМНОГО ПОЛОЖЕНИЯ И ДИНАМИКА СИБИРИ И БАЛТИКИ В ПЕРМСКОЕ ВРЕМЯ

Здесь и далее мы будем рассматривать перемещение Сибири, относительно современного положения Балтики, подразумевая, что современное взаимное положение платформ соответствует их Пангейской конфигурации (рис. 1).

Область, где может располагаться полюс относительного вращения платформ, должна характеризоваться равными палеоширотами² (или равными скоростями широтного дрейфа — рис. 2б, 2в), рассчитанными из раннепермских полюсов. Геометрически эта область представляет собой большой круг, перпендикулярный к середине дуги, соединяющей раннепермские палеомагнитные полюсы (рис. 3). Соответственно, перемещение Сибири будет выражено разворотом вокруг по-

люса вращения на угол, равный разнице раннепермских балтийских и сибирских склонений, рассчитанных для этой точки (для полюса вращения). В нашем случае, в зависимости от положения полюса вращения, угол поворота будет меняться от 32° (когда перемещение платформы описывается движением по дуге большого круга, полюс “90°”), до 180° при движении по дуге малого круга (полюс “0°”) (рис. 3).

При построении реконструкции раннепермского взаимного положения платформ, ограничения на выбор того или иного полюса вращения могут быть получены по двум критериям: 1) по сопоставлению реконструированных скоростей перемещения платформы со скоростями движения плит, наблюдаемыми в настоящее время (т.е. актуалистический подход) и 2) по сопоставлению реконструируемого характера взаимодействия палеоконтинентов с реально наблюдаемыми позднепалеозойскими структурами в складчатых поясах (в первую очередь согласованность с ориентацией сдвиговых и надвиговых зон и направлением смещений по этим дизъюнктивам).

1) *Скорости перемещения Сибири в зависимости от положения полюса вращения.* Очевидно, что при вращении вокруг Эйлера полюса угловая скорость одинакова для любой точки на сфере, при этом линейная скорость будет изменяться от нулевой (на полюсе вращения), до возможного максимума при удалении на 90° от полюса (т.е. при движении по дуге большого круга). Зависимость линейных скоростей Сибири от положения полюса вращения показана на (рис. 3), соответственно, максимальные и минимальные значения характеризуют скорости на окраинах платформы. В качестве максимального предела для линейной скорости автор предлагает использовать удвоенную среднюю скорость современного спрединга, что, согласно [DeMets et al., 2010], составляет ~8.5 см/год. Из проведенных расчетов следует, что допустимые, в рамках современной плитотектоники, скорости Сибири, возможны при вращении относительно полюсов “30°” и “40°”, предельно допустимые для полюсов “50°”, “60°” и “70°”, а варианты “0°”, “10°”, “20°”, “80°” и “90°” можно исключать из рассмотрения (рис. 3).

2) *Структурные ограничения характера движения Сибири.* Ключевым моментом для тестирования рассматриваемых вариантов вращения Сибири является позиция Карского блока относительно Балтики в допермское время. Карский блок в настоящее время представлен в структурах северного Таймыра и архипелага Северная Земля (рис. 4). Согласно имеющимся геологическим данным, его коллизия с Сибирью произошла на рубеже карбона-перми, что определяется по возрасту синколлизионных гранитоидов (306 ± 2 и 304 ± 5 млн. лет) [Верниковский, 1996; Pease, 2001], на это могут

² Это условие является необходимым, но недостаточным. Для обоснования положения полюса вращения необходимы независимые структурные ограничения (рассмотрены ниже).

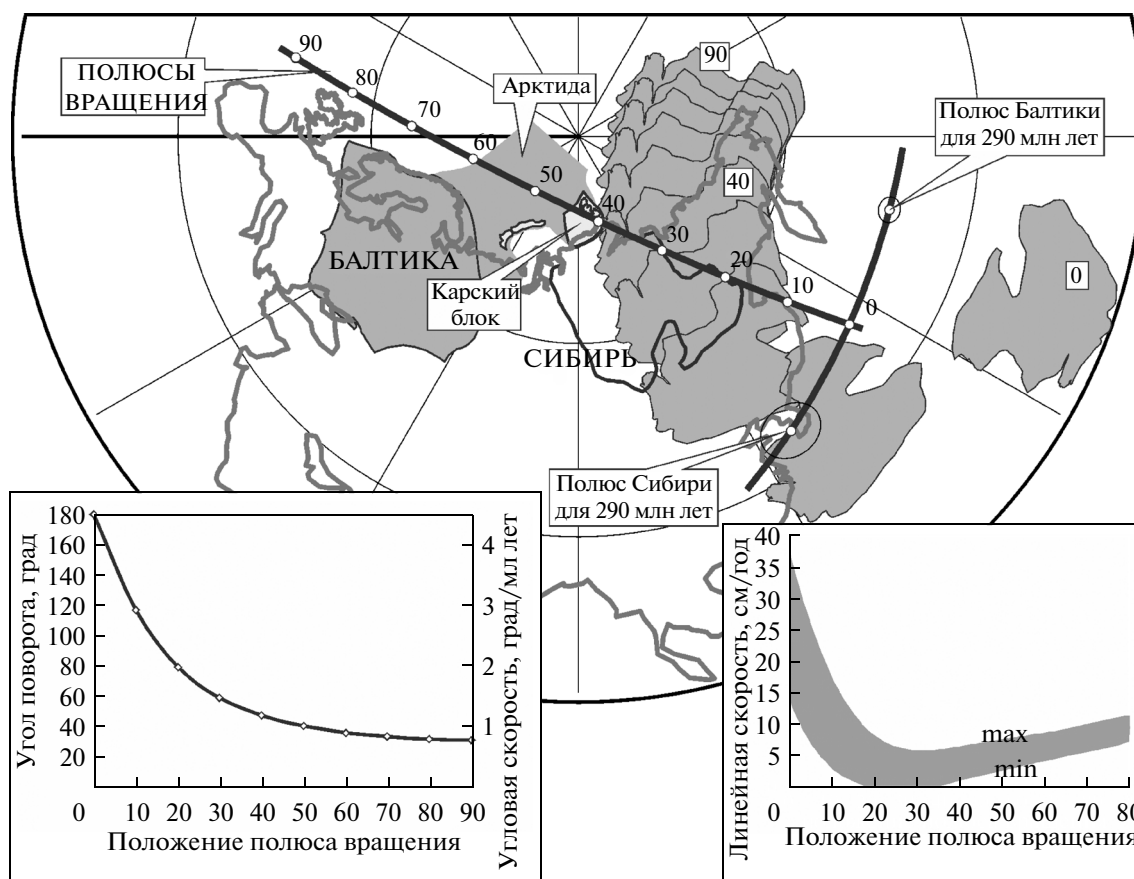


Рис. 3. Варианты взаимного положения Сибири относительно Балтики в раннепермское время (в координатах современной Евразии). На врезках: угловая скорость и величина поворота Сибири в пермское время в зависимости от выбора полюса вращения (слева); справа — то же для линейной скорости Сибири.

Залитые контуры Сибири — реконструируемые положения относительно Балтики в ранней перми, незалитый контур — положение в «пангейской» конфигурации. Прочие пояснения в тексте.

указывать и палеомагнитные данные [Metelkin et al., 2005] (в данной работе авторы интерполируют линейный кембрийско-силурийский участок траектории КМП Карского блока на позднепалеозойский сегмент КМП Сибири). По поводу палеозойской (допермской) геологической истории Карского блока конкурируют две концепции. Согласно [Кузнецов, 2009; Kuznetsov et al., 2007; 2010; и др.], в начале кембрия Карский блок в составе континента Арктида столкнулся с Балтикой и стал частью композитного континента Аркт-Европа (рис. 1). Частичная дезинтеграция этого континента началась только в мезозое, при образовании спрединговых зон Ледовитого океана и Атлантики. Другая концепция предполагает независимый от структур Аркт-Европы палеозойский дрейф Карского блока [Metelkin et al., 2005; и др.]. Отметим, что как геологические, так и палеомагнитные данные свидетельствуют в пользу связи Карского блока с Балтикой, начиная с раннего палеозоя (подробный обзор в [Kuznetsov et al., 2007, 2010]). На это также указывают новейшие

геолого-геофизические данные, согласно которым Карский блок и Баренция входили в единый бассейн осадконакопления в раннем-среднем палеозое [Дараган-Сущева и др., 2013].

Таким образом, если мы принимаем единство Балтики и Карского блока, то, учитывая тот факт, что в конце карбона — начале перми он столкнулся с Сибирью [Верниковский, 1996; Pease, 2001], единственно возможным вариантом пермского перемещения Сибири характеризует полюс вращения «40». Как видно (рис. 3, рис. 5) все другие варианты предполагают пермское перемещение Карского блока (и Сибири), на удалении от Балтики.

В зоне сочленения Северо-Земельских (Карских) и Таймырских (Сибирских) структур фиксируются надвиги со смещениями к юго-востоку и правосторонние сдвиги СВ-ЮЗ простирания (рис. 4). Амплитуды смещения по Таймырским разрывным нарушениям оцениваются в первые десятки километров [Мальцев, Беззубцев, 1979]. Субмеридиональные правосторонние смещения, наследующие общую складчатую структуру реги-

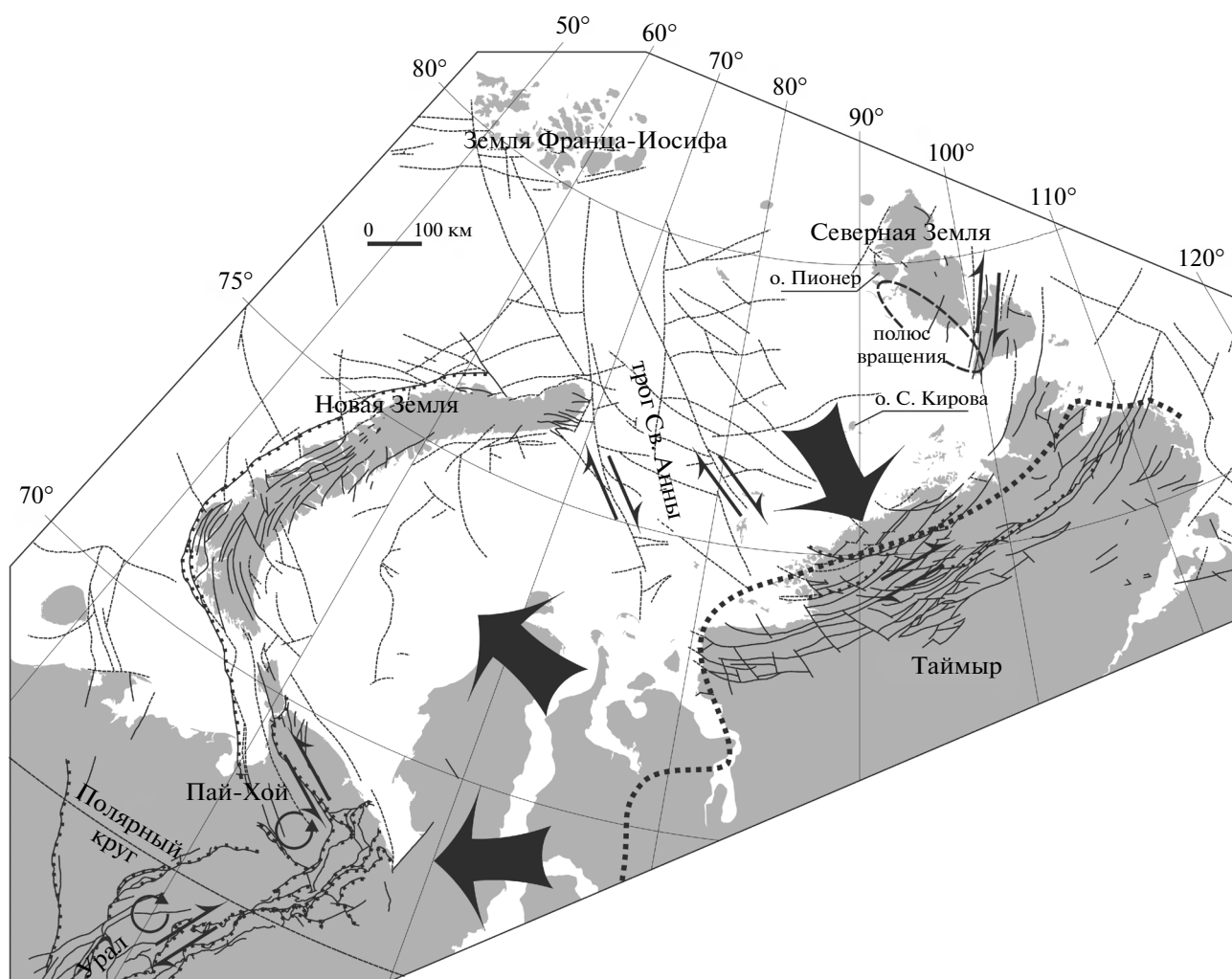


Рис. 4. Схема разрывных нарушений и пермской динамики Таймыра, Пай-Хоя, Полярного Урала и прилегающих Арктических территорий (составлена на основе [Harrison et al., 2010]).

Жирные стрелки — напряжения, вызванные разворотом Сибири; закругленные стрелки — вращения структур; двойные стрелки — направления перемещения по сдвиговым зонам; жирный пунктир — контур Сибирской платформы. Прочие пояснения в тексте.

она, зафиксированы в пределах архипелага Северная Земля [Геология..., 1970; Lorenz et al., 2007]. Такая кинематическая картина наилучшим образом согласуется с правосторонним вращением Сибири вокруг Эйлера полюса, располагающегося в пределах Северо-Земельского архипелага (т.е. полюса “40” или близкого к нему). Очевидно, что по мере удаления от полюса вращения амплитуда перемещения Сибири будет увеличиваться, что должно отражаться на степени и характере деформаций Карской плиты, Баренции и складчатых областей разделяющих платформы.

Воздействие северо-западного “угла” Сибирской платформы на структуры фундамента карско-баренцевоморского шельфа выражено в развитии позднепалеозойских-раннемезозойских правосдвиговых зон на востоке (т.н. трог Св. Ан-

ны [Шипилов, Матишов, 2006]) и левосдвиговых зон на западе (Байдарацкая система разломов), трассирующихся на континентальной части в складчатом сооружении Пай-Хоя [Филатова, Хаин, 2010] и прослеживающихся там в виде сдвигонадвигов [Юдин, 1994] (рис. 4).

Таким образом, в пределах акватории Карского моря тектонические напряжения, вызванные поворотом Сибири, релаксировали на системах сдвиговых зон, обеспечивающих смещение структур Новоземельского архипелага в северо-западном направлении (рис. 4, рис. 5). Эти разрывные нарушения могут быть прослежены к югу в пределы Западно-Сибирской плиты, где они смыкаются со структурой Колтогорско-Уренгойского рифта, заложившегося в поздней перми [Казаков и др., 2000; Медведев и др., 2003], и системой разломов,

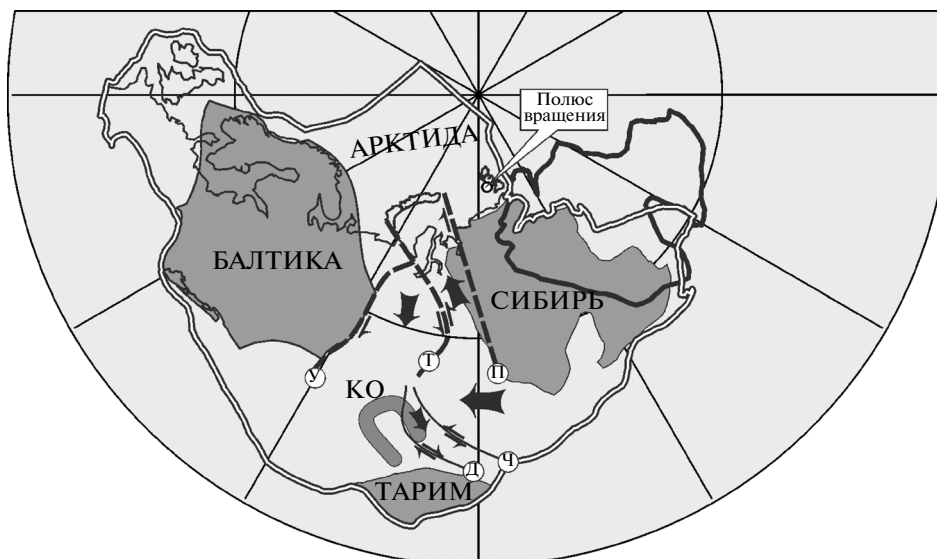


Рис. 5. Геодинамическая модель взаимодействия Сибири, Балтики и разделяющих их мобильных поясов в пермское время (в современных координатах Балтики).

Двойная линия – контур Евразийской части Пангеи; незалитый контур Сибири – положение относительно Балтики в ранней перми, залитый контур – положение в “пангейской” конфигурации. Стрелки – направления перемещения структур. Буквами на схеме: Д – Джунгарский сдвиг и Центрально-Казахстанский разлом [Коробкин, 2011]; Ч – Чарская и Южно-Монгольская сутурные зоны, реактивированные в перми в режиме сдвига [Буслов, 2011]; П, Т, У – Приенисейская, Томско-Новоземельская, Уральская, коровые разломные зоны [Егоров, Чистяков, 2003]; КО – Казахстанский ороклад. Прочие пояснения в тексте.

ограничивающих Сибирскую платформу с запада [Егоров, Чистяков, 2003]. То есть, Новоземельский архипелаг и прилегающие с юга структуры Карской акватории и части Западно-Сибирской плиты, можно рассматривать как тектонический блок, ограниченный сдвиговыми зонами и “выдавленный” на северо-запад в результате пермского разворота Сибири (рис. 5), что хорошо вписывается в систему глубинных разломов фундамента Западной Сибири [Егоров, Чистяков, 2003].

В структурах Карской плиты, прилегающих к Таймырской окраине Сибирского кратона (не нарушенной высокоамплитудными поперечными сдвигами), следует ожидать проявление преимущественно складчато-надвиговых дислокаций. На наличие складчато-надвиговых зон в пределах притаймырской части Карского моря может указывать полоса контрастных магнитных аномалий, протягивающаяся в ССВ направлении от острова Сергея Кирова до острова Пионер (рис. 4) архипелага Северная Земля [Аглонов и др., 1996] (авторы указанной работы интерпретируют данную полосу аномалий как реликт палеоокеанской девонской коры). Прямые геологические наблюдения показывают, что на острове Пионер осадочные толщи, представленные мелководно-морскими (силур) и лагунно-континентальными (девон) фациями, смяты в складки, резко отличные по своей форме, размерам и простираниям от общего структурного рисунка архипелага [Геология...,

1970], что свидетельствует в пользу сделанного нами предположения о “деформационной” природе полосы магнитных аномалий. Сейсмические профили в этой части Карского моря [Малышев и др., 2012] также фиксируют наличие дислоцированных комплексов палеозоя (по девон включительно), конформных Таймырским структурам и перекрытых с угловым несогласием мезозойскими толщами. Рассмотренная выше зона полосовых магнитных аномалий может быть ассоциирована с выходом кристаллического фундамента, контактирующего с палеозойскими толщами по взбросо-надвиговой границе со смещением в СЗ направлении (надвиговый фронт “Большевик”, согласно [Малышев и др., 2012]), т.е. с обратной, по сравнению с надвигами Таймыра, вергентностью. Перечисленные особенности структур указывают на южное (в современных координатах) давление Сибири на структуры Карского блока. Именно такое давление могло быть реализовано при вращении кратона относительно полюсов “40” и ниже (рис. 3).

Вероятно, ЮЗ-СВ простирание структур северного Таймыра, по отношению к меридиональным Северо-Земельским структурам (рис. 4), вторично, поскольку наблюдаемые амплитуды юго-восточной надвиговой компоненты в пределах континентальной части Таймыра [Мальцев, Беззубцев, 1979] не могут “компенсировать” разворот Сибири (предполагающий смещения на севе-

ро-западе Таймыра на 500–600 км). То есть, можно предполагать, что характерный структурный изгиб в области перехода от северо-восточного Таймыра к Северной Земле (рис. 4, рис. 5) обусловлен пермским правосторонним разворотом Сибири, при этом, первоначально, Таймырско-Североземельская шовная зона представляла полную дугу или была прямолинейна.

Таким образом, пермское постколлизийное взаимодействие Таймыра и Карского блока происходило по широкой правосдвиго-надвиговой границе при фиксированном положении Карского блока относительно Балтики. Этот тектонический процесс находит отражение в омоложении Rb–Sr и K–Ar изотопных систем и новообразования минералов в породах докембрия северного Таймыра, для которых получены оценки возраста этими методами в интервале от 279 до 258 млн лет [Верниковский, 1996 и ссылки в этой работе]. Стабилизации региона отвечает внедрение постколлизийных гранитоидов с возрастом 264 ± 8 (U–Pb) и 253 ± 1 (Ar–Ar) млн лет, распространенных на севере Таймыра [Верниковский, 1996].

В рамках рассматриваемого тектонического сценария находит логичное объяснение структурный рисунок и взаимоотношение позднепалеозойско-раннемезозойских структур Новой Земли, Пай-Хоя и Полярного Урала (рис. 4). Ранее [Зоненшайн и др., 1990] характерные дугообразные очертания складчато-надвиговой системы Новоземельского архипелага объяснялись инденторным воздействием северо-западной части Сибирской платформы в результате ее правостороннего разворота. Близкая модель обсуждалась В.Н. Пучковым в работе [Пучков, 2003], где зона Байдарацких разломов трактуется как трансформно-сдвиговая граница между эпибайкальским обрамлением Сибири и структурами Балтики, где эти континентальные блоки сочленяются. В настоящей работе мы предлагаем рассматривать Новую Землю, Южно-Карскую впадину и восточную часть Западно-Сибирской плиты (включающие Южно-Карский, Новопортовский, Ямало-Гыданский, Няояхско-Кетский и Колпашевский блоки фундамента Западной Сибири, в терминологии [Егоров, Чистяков, 2003]) как единую структуру, выдавленную при правостороннем развороте Сибири по системе “сквозь-коровых” сдвигов (Томско-Новоземельская и Приенисейская зоны разломов) на северо-запад и, соответственно, надвинутую на восточную окраину Баренцевоморской плиты (рис. 5). Подчеркнем, что смещение этого “композиата” относительно Сибирского кратона обосновывается, в первую очередь, правосдвиговой кинематикой трога Св. Анны [Шипилов, Матишов, 2006] (рис. 4). На правосдвиговую кинематику вдоль юго-западной окраины Сибири указывают также посткарбонные правосторонние блоковые вращения, фикси-

рующиеся в структурах Рыбинской впадины [Шацилло, 2008]. К аналогичному выводу пришли [Кутейников и др., 1994] при анализе структурных форм “плановых очертаний” складчатых сооружений Арктики. Это также подтверждается проявлением надвиговой тектоники в пределах Новой Земли с шарьированием пластин в западном направлении (Восточно-Новоземельский аллохтон) [Филатова, Хаин, 2010]. Возраст рассматриваемых деформаций определяется по син- и посттектоническим гранитоидам, прорывающим надвиговые пластины и соответствует поздней перми – раннему триасу (256 ± 2 и 244 ± 0.8 млн лет) [Кораго, Тимофеева, 2005], а также подтверждается наличием мощной позднепермской-раннетриасовой молассы. Аналогичные орогенные молассовые комплексы характерны для Предпайхойского (Коротайхского) и Предуральского (Косью-Роговского) прогибов [Юдин, 1994].

Палеомагнитные исследования пермских пород Пай-Хоя и Полярного Урала [Иосифиди, Храмов, 2010 и ссылки в этой работе] позволили установить смещение этих структур в юго-западном направлении на расстояние в первые сотни километров, с вращениями разного знака, относительно стабильной части Балтики, сопоставимые суммарные амплитуды смещения получены при палинспастических реконструкциях [Юдин, 1994]. По данным [Иосифиди, Храмов, 2010] структуры Пай-Хоя были развернуты против часовой стрелки, что хорошо согласуется с левосдвиговыми смещениями по Байдарацкой системе разломов и по преимущественно надвиговым дизъюнктивам Пай-Хоя с левосдвиговой составляющей (рис. 4). Полярно-Уральские структуры вращались по часовой стрелке, что предполагает правосдвиговые смещения вдоль уральского края Балтики (рис. 4, рис. 5). Очевидно, что такая кинематика может быть обусловлена общим давлением с северо-востока, вызванным пермским разворотом Сибири. То есть, в противовес восточной (Приенисейской) части Западно-Сибирской плиты, ее западная (Приуральская) часть могла испытывать некоторое смещение в южном направлении по системе Уральских разломных зон, для которых (в частности Копейской и Уйской Южного Урала) доказана триасовая правосдвиговая транспрессивная кинематика [Тевелев, 2012].

Таким образом, “дефицит пространства” в пределах эпигерцинской Западно-Сибирской плиты, вызванный пермским сближением Сибири и Балтики, мог компенсироваться ее “расползанием” в северном и южном направлениях по системам трансрегиональных коровых разломных зон [Егоров, Чистяков, 2003] – правосдвиговых Шерхалинской (Уральской) и Приенисейской, а также разделяющей их левосдвиговой Томско-Новоземельской (рис. 5). Отметим, что на возможность таких внутриплитных движений

в постпалеозойское время могут указывать палеомагнитные данные по пермо-триасовым траппам Кузбасса и близковозрастным магматическим комплексам Колывань-Томской зоны [Казанский и др., 2005; Метелкин, 2010]. Палеомагнитные данные по этим объектам дают статистически значимое различие палеоширот, по сравнению с расчетными сибирскими [Pavlov et al., 2007] для этого региона, что предполагает “пост-трапповое” смещение Кузбасса и Колывань-Томской зоны к северу (в современных координатах). Можно предположить, что подобный механизм “выдавливания” тектонических клиньев по системам сдвиговых зон в пределах ЦАСП привел к присдвиговым блоковым вращениям средне- и позднепалеозойских структур Казахстана [Levashova et al., 2003; Abrajevitch et al., 2008] и “дожиманию” Казахстанского ороклаина, время формирования которого оценивается интервалом средний девон – поздняя пермь [Abrajevitch et al., 2007]. В частности, это могло реализоваться посредством смещений по Центрально-Казахстанскому разлому и продолжающей его на юго-востоке Джунгарской правосдвиговой зоне, имеющей пермский возраст [Буртман, 2006] и по располагающейся восточнее Чарской сутурной зоне, для которой доказана пермская реактивация в режиме левого сдвига [Буслов и др., 2003] (рис. 5).

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ АРГУМЕНТАЦИЯ МОДЕЛИ

Региональный анализ геохронологических данных. Как уже отмечалось, в пределах Таймырской и Новоземельской складчатых систем, гранитоиды, маркирующие позднепалеозойские син- и постколлизийные процессы, сформировались в интервале от ~305 до 245 млн лет. На севере Западно-Сибирской плиты, в комплексах домезозойского фундамента бурением вскрыты гранитоиды близкого возрастного диапазона: 301.6 ± 3.6 , 300.5 ± 3 , 291.8 ± 2.1 , 284 ± 5 , 277.3 ± 4 , 274.4 ± 3.4 и 259.6 ± 2.3 млн. лет (Rb–Sr, U–Th–Pb, U–Pb методы) [Иванов и др., 2005; 2012; Вотяков и др., 2013]. Эти данные свидетельствуют в пользу того, что в течение перми рассматриваемые регионы развивались как единая коллизийная система, эволюционировавшая в результате взаимодействия Сибири, Балтики и разделявшего их складчатого пояса, “субконсолидированного” (по крайней мере, в его южной части в пределах Тянь-Шаня, Казахстана и Алтае-Саянского региона) уже в карбоне [Буслов и др., 2003; и др.].

На севере складчатого пояса пермские коллизийные процессы находят отражение также и в омоложении изотопных систем домезозойских комплексов. Автором были проанализированы данные по К–Аг омоложению метаморфических, интрузивных и вулканических пород Приполяр-

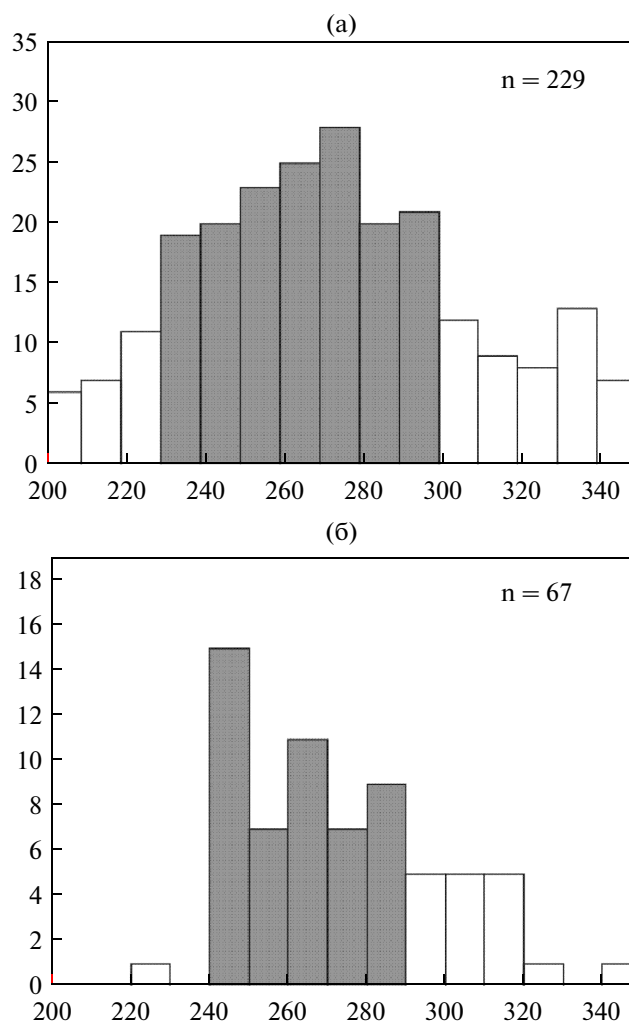


Рис. 6. Гистограммы распределения возрастов. (а) – К–Аг изотопного омоложения домезозойских комплексов фундамента Западно-Сибирской плиты и Приполярного Урала; (б) – разрывных нарушений ЦАСП и Среднего Урала; n – количество определений (вертикальная ось); горизонтальная ось – возраст в млн лет. Прочие пояснения в тексте.

ного Урала и фундамента Западной Сибири, имеющих среднепалеозойский и более древний возраст (сводки изотопных датировок даны в работах [Андреичев, 1999; Иванов и др., 2005]). В анализ были включены К–Аг определения, попадающие в интервал 350–200 млн лет, т.е. заведомо “перекрывающие” время син- и постколлизийного гранитоидного магматизма, установленного в пределах Таймыра и Новой Земли. В результате в объединенную выборку вошло 229 определений. Диаграмма частотного распределения возрастов К–Аг омоложения пород (рис. 6а) демонстрирует нормальное (Гауссово) распределение, при этом наибольшее число датировок попадает в интервал 300–230 млн лет, что идеально согласуется с временем син- и постколлизийного магматизма Арктических территорий.

Геохронологические свидетельства пермской тектонической активности в пределах южных частей складчатого пояса, на которые также должно было распространяться влияние кратонных окраин Сибири и Балтики в ходе их сближения, можно продемонстрировать на основе анализа возрастов крупных разломных зон. Такие данные базируются на определении возраста метаморфических, метасоматических и магматических пород, формирование которых прямо или косвенно связано с проявлением разломной тектоники (датирование синтетектонических минералов из зон бластомилолитов, приразломных жил и т.д.). В объединенную выборку (67 определений) вошли датировки, полученные по сдвиговому и надвиговому зонам Среднего Урала, Тянь-Шаня, Казахстана, Алтая и Саяна, попадающие, по аналогии с анализом возрастов K–Ar омоложения, в диапазон 350–200 млн. лет [Dehandschutter et al., 1997; Glasmacher et al., 1999; Hetzel, Glodny, 2002; K. de Jong et al., 2009; Laurent-Charvet et al., 2003; Zhang et al., 2003; Буслов и др., 2009, 2013; Куйбида и др., 2013; Полянский и др., 2011; Сухоруков, Полянский, 2013; Травин и др., 2001]. Диаграмма частотного распределения возрастов, отражающих активное развитие крупных разломных зон, имеет более сложный характер, сравнительно с рассмотренными данными по K–Ar изотопному омоложению пород северных регионов (рис. 6б), однако, здесь также преобладают датировки, соответствующие перми – среднему триасу, укладывающиеся в интервал 290–240 млн. лет. Как видно, в интервале <240 млн. лет тектоническая активность разломов практически полностью затухает.

Таким образом, проведенный региональный анализ достаточно убедительно показывает, что имеющиеся геохронологические данные, характеризующие различные геологические процессы, протекавшие на севере и юге складчатого пояса в позднем палеозое – раннем мезозое, укладываются в близкие возрастные диапазоны, соответствующие, главным образом, пермскому времени. Эти геологические процессы могут рассматриваться как следствия тектонического события более высокого ранга – пермского сближения Сибири и Балтики и их консолидации в структуре Северной Евразии.

Региональный анализ простираций складчатых структур и разломных зон. Независимые ограничения на положение полюса относительного вращения Сибири и Балтики могут быть получены на основе анализа простираций складчатых структур и разрывных нарушений периферии платформ и в пределах складчатых поясов, формирование которых связано с процессами позднепалеозойской амальгамации Северной Евразии. Принцип, на котором базируются такие построения, подробно рассмотрен в работе [Gortz, Heilscher, 2010], он основан на предположении, что ориентировки складок и разрывных наруше-

ний связаны с направлениями осей максимальных напряжений, вызванных сближением плит. В свою очередь, пересечение больших кругов, нормальных к осям максимальных напряжений и рассчитанных для удаленных регионов, определяет полюс относительного вращения плит. Согласно существующим теоретическим разработкам [Anderson, 1942; Cox, Hart, 1986; Wdowski, 1998], простирация “фронтальных” складчатонадвиговых зон перпендикулярны (нормальны) к осям максимальных напряжений, простирация трансформных зон параллельны, а простирация сдвиговых зон ориентированы к осям максимальных напряжений под углом 45(135) градусов.

В работе [Gortz, Heilscher, 2010], рассмотренный подход был реализован при расчете полюса относительного вращения Сибири и Балтики в ходе их позднепалеозойской консолидации в контексте формирования Уральского орогена, однако, по мнению автора, набор структурных данных, использованных при построении модели, был не вполне корректным. В частности, для расчета полюса относительного вращения Сибирской и Восточно-Европейской платформ в позднем палеозое были использованы структурные данные в т.ч. по Британским и Скандинавским каледонидам, формирование которых связано со среднепалеозойскими тектоническими событиями при образовании Лавруссии, то есть с процессами, не имевшими отношения к “сборке” Северной Евразии в системе Сибирь–Балтика.

Автором были проанализированы геологические карты Урала, Пай-Хоя, Новой Земли, Таймыра, Северной Земли, зоны Норильских и Игарских дислокаций Енисейской окраины Сибири (м-б 1 : 1 000 000), Енисейского Кряжа (м-б 1 : 1 500 000), Восточного Казахстана в пределах Иртышской сдвиговой зоны (м-б 1 : 500 000) и м-ба 1 : 200 000 для зоны Главного Саянского разлома. Для данных территорий были “сняты” географические координаты замыкания складок для наиболее отчетливых линейных структур и (или) зон разломов, определяющих структурный рисунок региона. Далее были построены аппроксимирующие большие круги, соответствующие простирациям структур и рассчитаны их средние для каждого участка (табл. 1, рис. 7). В результате, с введением соответствующих поправок для простираций трансформных и сдвиговых зон (табл. 1), был рассчитан полюс относительного вращения платформ³. Необходимо отметить, что трансформно-сдвиговый характер границ, который

³ Снятие точных координат структур с растровых изображений геологических карт выполнялось при помощи программы “Digger”, расчет нормалей для единичных структур и введение поправок проводились с использованием программы “MS Excel”, статистическая обработка данных на сфере и расчет полюса вращения выполнялись в пакете палеомагнитных программ Р. Энкина.

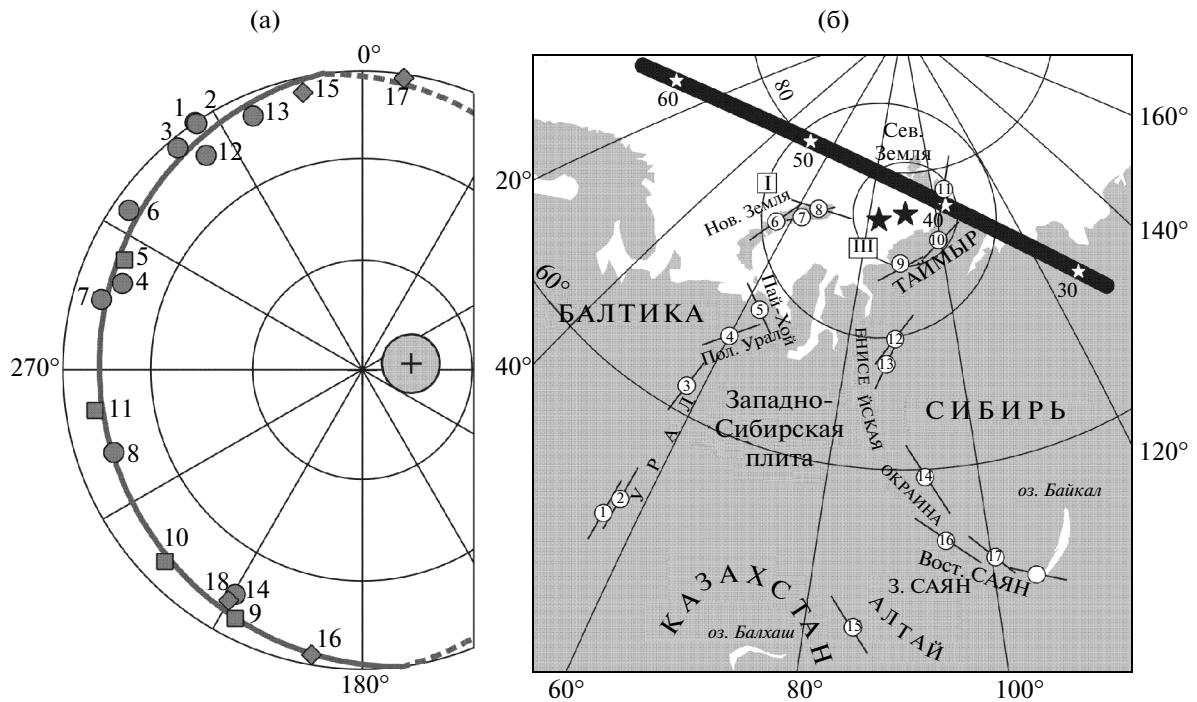


Рис. 7. Анализ простираций складчатых и разрывных структур.

(а) — распределение осей максимальных напряжений и рассчитанный полюс вращения платформ. Кружки — нормали к простирациям фронтальных складчатых структур; ромбики — нормали к простирациям сдвиговых зон, развернутые на 45 градусов по час. стрелке; квадратики — нормали к простирациям трансформных зон, развернутые на 90 градусов; жирная линия — аппроксимирующий большой круг; крестик — рассчитанный полюс вращения (нормаль к аппроксимирующему большому кругу) по всей выборке (вариант расчета I в табл. 1). Проекция на нижнюю полусферу.

(б) — простираения структур и сравнение полюсов вращения платформ, рассчитанных по структурным и палеомагнитным данным. Кружки с цифрами и линии, проведенные через них — конкретные геологические структуры и их простираения (цифры соответствуют данным в табл. 1 и на рис. 7а); залитые звездочки и соответствующие им круги (довесики) с римскими цифрами — варианты расчета полюса вращения платформ по структурным данным (см. табл. 1); не залитые звездочки на жирной линии и соответствующие им цифры — область возможных полюсов вращения платформ, рассчитанная по палеомагнитным данным (в соответствии с рис. 3). Прочие пояснения в тексте.

предполагается автором для структур Пай-Хоя, Таймыра и Северной Земли — гипотетический, в тоже время, даже при исключении из выборки данных по этим регионам, итоговый результат практически не меняется (см. табл. 1, варианты расчета полюса I и II). Кроме того, расчет, выполненный исключительно по предполагаемым трансформным зонам (вариант III), дает наилучшую сходимость данных — значение кучности (k) в 20 раз превышает этот параметр по отношению к вариантам I и II (табл. 1). Другие варианты селекции (подробно не рассматриваются) не приводят к значимым изменениям положения полюса вращения — в любом случае полюс “попадает” в пределы акватории Карского моря и статистически не отличается от рассмотренных вариантов I, II и III.

Как видно (рис. 7б), область полюсов Эйлера “40”–“50”, рассчитанных на основе палеомагнитных данных, совпадает, в пределах доверительного интервала (A95), с полюсом, полученным по региональным структурным данным, что отлично согласуется с рассмотренными выше

структурными и скоростными ограничениями на положение искомого полюса вращения Сибири относительно Балтики.

НЕКОТОРЫЕ ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ

Поскольку окончательное формирование складчатой структуры Полярного Урала и Новой Земли произошло только к концу триаса, Пай-Хоя — к концу мела [Юдин, 1994; Геология..., 1970], а Южного Таймыра — не раньше среднего триаса [Torgvik, Andersen, 2002], то есть спустя 50, 180 и 20 млн лет после консолидации Сибири и Балтики в структуре Северной Евразии, то предлагаемый геодинамический сценарий не может полностью объяснить всю историю деформаций арктических территорий.

В тоже время, для структур Пай-Хоя установлено, что основные деформации приходятся на пермь и триас, а последующие деформации (того же структурного плана) “мигрируют” в юго-за-

Таблица 1. Простирации складчатых структур и разрывных нарушений и расчет полюса вращения платформ по структурным данным

№	Регион	SLONG	SLAT	n	NLONG	NLAT	A95	NLONG45	NLAT45	NLONG90	NLAT90
1	Урал	56.4	51.5	8	326.0	0.3	6.7				
2	Урал	57.3	52.9	9	326.1	0.9	3.7				
3	Урал	57.8	61.8	4	320.3	4.0	3.8				
4	Полярный Урал	59.9	66.1	5	289.8	15.9	6.4				
5	Пай-Хой	62.6	68.6	26	200.8	16.3	3.9			294.8	13.5
6	Новая Земля	56.7	74.3	8	304.4	6.1	10.8				
7	Новая Земля	61.9	75.4	4	285.1	10.7	18.3				
8	Новая Земля	65.1	76.4	7	251.6	13.5	2.5				
9	Таймыр	89.3	73.9	6	299.0	14.4	12.9			207.1	7.3
10	Таймыр	99.4	75.3	5	317.6	11.8	10.1			225.8	8.7
11	Северная Земля	103.9	78.6	5	352.1	4.3	4.1			261.3	10.5
12	Норильские дислокации	88.5	68.8	4	323.9	12.4	8.9				
13	Игаркские дислокации	87.1	67.1	3	336.7	8.4	10.2				
14	Енисейский Кряж	92.9	59.5	149	209.5	14.7	1.9				
15	Иртышская сдвиговая зона	84.9	49.2	25	203.5	22.6	4.0	347.9	5.9		
16	ГСР Рыбинская впадина	95.0	55.1	22	230.6	26.4	3.5	190.1	3.5		
17	ГСР Зима	100.4	53.6	26	226.5	23.5	2.7	8.1	1.7		
18	ГСР Култук	104.5	51.9	23	253.2	33.8	2.3	210.0	11.8		

ПОЛЮС ВРАЩЕНИЯ

- I. По всем регионам
LONG = 82.9; LAT = 76.7; A95 = 7.9; k = 17.4 (n = 18)
- II. Без № 5, 9, 10, 11
LONG = 79.6; LAT = 76.9; A95 = 8.2; k = 20.8 (n = 14)
- III. Только № 5, 9, 10, 11
LONG = 90.7; LAT = 77.2; A95 = 3.5; k = 400.0 (n = 4)

№ – порядковый номер (соответствует номерам на рис. 7); SLONG/SLAT – средняя географическая долготы/широта структуры; n – количество отдельных складок и(или) разрывов участвующих в статистике или регионов (при расчете полюса); A95 – радиус круга доверия (при вероятности 95%) для нормали к среднему простиранию; NLONG/NLAT – долготы/широта нормали к среднему простиранию структур; то же с индексами 45/90 – с разворотом вокруг вертикальной оси относительно SLONG и SLAT на 45 градусов по часовой стрелке для сдвиговых зон / на 90 градусов для трансформных зон. Расчет полюса вращения по структурным данным – нормаль к большому кругу, проведенному через нормали к простираниям структур (с соответствующими поправками для трансформных и сдвиговых зон). LONG/LAT – долготы/широта полюса вращения; A95 – радиус круга доверия при вероятности 95%; k – кучность (в данном случае мера сходимости данных, рассчитана из значений n и A95). В столбце “Регион”: ГСР – Главный Саянский разлом. Прочие пояснения в тексте.

падном направлении (в сторону платформенной части Балтики) [Юдин, 1994]. Можно предположить, что пост-пермские деформации, по крайней мере, отчасти, вызваны “пост-коллизийным гравитационным коллапсом” и, вследствие этого, “расползанием” изостатически всплывающего коллизийного орогена. Альтернативным объяснением может быть последующая тектоническая реактивация региона, наследующая позднепалеозойские поля напряжений и связанная с киммерийскими событиями при образовании Верхояно-Колымско-Северо-Аляскинского орогенного пояса, а также с раскрытием Американо-Евразийского бассейнов Ледовитого океана (см. недавний обзор в [Филатова, Хаин, 2010] и ссылки в этой работе). В частности, такой механизм предлагался для объяснения деформаций в мезозойских толщах Таймыра [Верниковский, 1996]. Возможно, более правильно рассматривать комбинированный механизм.

Другим “краеугольным камнем” предлагаемой модели является проявление пермо-триасового рифтогенеза и вулканизма в пределах Западной Сибири (Колтогорско-Уренгойский и Худосейский рифты [Казаков и др., 2000; Медведев и др., 2003]), что предполагает существование условий растяжения в это время. Из нашей же модели, напротив, следует существенное сокращение пространства в структуре субконсолидированных комплексов Западно-Сибирской плиты, предполагающее, соответственно, обстановку сжатия (рис. 5). В таких условиях рифты могут быть интерпретированы как протяженные системы структур присдвигового растяжения типа “pull-apart”, развитые по транзитным пермским разломным зонам или, возможно, рифтовые структуры наследовали эти ослабленные зоны — близкая по сути модель была предложена ранее в работе [Allen et al., 2006].

ВЫВОДЫ

1. В течение пермского времени Сибирский (Сибирь) и Восточно-Европейский (Балтика) кратоны были составляющими разных литосферных плит, характеризующихся различной кинематикой, их консолидация произошла к началу мезозоя.

2. Инициальная стадия коллизии Сибири и Балтики (которая к тому времени уже стала частью композитного континента Аркт-Лавруссия) маркируется столкновением Таймыра и Карского блока на рубеже карбона и перми [Верниковский, 1996].

3. Пермское взаимодействие Сибири и Балтики и обрамляющих их складчатых областей, закончившееся консолидацией суперконтинента Пангея, может быть описано вращением Сибири по часовой стрелке на 46° вокруг полюса Эйлера, располагающегося на юго-западе архипелага Се-

верная Земля (79° с.ш., 95° в.д.), при этом предполагается фиксированное положение Карского блока по отношению к структурам Балтики с палеозойского времени.

4. Такой механизм взаимодействия Сибири и Балтики в значительной степени определил структурный рисунок и характер деформаций в пределах складчатых систем Арктики и Центрально-Азиатского пояса, сохранившихся до наших дней. Вероятно, проблема пространства в субконсолидированной коре Западной Сибири, вызванная сближением Сибири и Балтики, реализовывалась посредством “расползания” структур мобильного пояса к северу и югу по системам сдвиговых зон. Есть основания полагать, что такие движения могли продолжаться и в постпермское время [Казанский и др., 2005].

Автор выражает благодарность рецензентам статьи М.Л. Баженову и Н.Б. Кузнецову (ГИН РАН), а также Д.В. Метелкину (ИНГГ СО РАН) и А.Н. Диденко (ИТиГ ДВО РАН), ознакомившихся с первоначальным вариантом рукописи, за ценные замечания и рекомендации которые позволили существенно улучшить работу. Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-05-00705, 12-05-00403, 13-05-12030, 14-05-92602) и Министерства образования (договор № 14.Z50.31.0017).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреичев В.Л. Изотопная геохронология доуралид Приполярного Урала. Сыктывкар. 1999. 48 с.
- Аглонов С.В., Шмелев Г.Б., Краснов Д.К. Геодинамика Баренцево-Карского шельфа (по геофизическим данным) // Геотектоника. 1996. № 4. С. 58–76.
- Баженов М.Л., Моссаковский А.А. Горизонтальные перемещения Сибирской платформы в триасе, по палеомагнитным и геологическим данным // Геотектоника. 1986. № 1. С. 59–69.
- Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия: Тектоника и геодинамика в палеозое. // Труды Геологического института. М.: ГЕОС. 2006. 216 с.
- Буслов М.М. Тектоника и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупноамплитудных сдвигов // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 1. С. 66–90.
- Буслов М.М., Ватанабе Т., Смирнова Л.В., Фудживара И., Ивата К., де Граве И., Семаков Н.Н., Травин А.В., Кирьянова А.П., Кох Д.А. Роль сдвигов в позднепалеозойско-раннемезозойской тектонике и геодинамике Алтае-Саянской и Восточно-Казахстанской складчатых областей // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 1–2. С. 49–75.
- Буслов М.М., Рябинин А.Б., Жимулев Ф.И., Травин А.В. Проявление позднекарбонно-раннепермских этапов формирования покровно-складчатых структур в южном обрамлении Сибирской платформы (Восточные Саяны, Южная Сибирь) // Докл. РАН. 2009. Т. 428. № 4. С. 1–4.

- Буслов М.М., Джен Х., Травин А.В., Отгонбаатар Д., Куликова А.В., Минг Чен, Глори С., Семаков Н.Н., Рубанова Е.С., Абилаева М.А., Войтишек Е.Э., Трофимова Д.А. Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 10. С. 1600–1627.
- Верниковский В.А. Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области. Новосибирск: Изд-во СО РАН. НИЦ ОИГГМ. 1996. 202 с.
- Вотьяков С.Л., Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Хиллер В.В., Бочкарев В.С., Захаров А.В., Коротков С.А. Вещественный состав и химическое микрозондовое Th–U–Pb–датирование гранитов из фундамента полуострова Ямал // Литосфера. 2013. № 3. С. 57–66.
- Геология СССР. Том XXVI. Острова Советской Арктики. Геологическое описание. М.: Недра. 1970. 548 с.
- Дараган-Суцкова Л.А., Петров О.В., Дараган-Суцов Ю.И., Васильев М.А. Особенности геологического строения Северо-Карского шельфа по сейсмическим данным // Региональная геология и металлогения. 2013. № 54. С. 5–16.
- Егоров А.С., Чистяков Д.Н. Структура консолидированного фундамента Западно-Сибирской платформ и прилегающих складчатых областей // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 1–2. С. 101–119.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра. 1990. Т. 1 327 с.; Т. 2. 334 с.
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Ронкин Ю.Л., Ерохин Ю.В. Геохронологические исследования фундамента Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна; итоги 50 лет изучения // Литосфера. 2005. № 3. С. 117–135.
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Писецкий В.Б., Пономарев В.С., Погромская О.Э. Новые данные о строении фундамента Западно-Сибирской плиты // Литосфера. 2012. № 4. С. 91–106.
- Иосифиди А.Г., Храмов А.Н. К истории развития надвиговых структур Пай-Хоя и Полярного Урала: палеомагнитные данные по раннепермским и раннетриасовым отложениям // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5. № 2. http://www.ngtp.ru/rub/4/21_2010.pdf
- Казаков А.М., Могучева Н.К., Девятков В.П., Смирнов Л.В. Триасовая система в разрезе Тюменской сверхглубокой скважины СГ-6 (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 3. С. 318–326.
- Казанский А.Ю., Метелкин Д.В., Брагин В.Ю., Кунгурцев Л.В. Палеомагнетизм пермтриасового траппового комплекса Кузнецкого прогиба (Южная Сибирь) // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 11. С. 1107–1120.
- Кораго Е.А., Тимофеева Т.Н. Магматизм Новой Земли (в контексте геологической истории Баренцево-Северокарского региона). СПб.: ВНИИ Океанология. 2005. 225 с.
- Коробкин В.В. Тектоническое районирование и структурные стили палеозой Казахстана // Изв. Томского политехнического университета. Геология и полезные ископаемые 2011. Т. 319. № 1. С. 71–77.
- Кузнецов Н.Б. Кембрийская коллизия Балтики и Арктиды — начальный этап “собираения” северной части позднепалеозойско-раннемезозойской Пангеи // Бюллетень МОИП. Отд. Геологический. 2009. Т. 84. Вып. 1. С. 18–38.
- Куйбида М.Л., Крук Н.Н., Мурзин О.В., Шокальский С.П., Гусев Н.И., Кирнозова Т.И., Травин А.В. Геологическая позиция, возраст и петрогенезис плагиогранитов северной части Рудного Алтая // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 10. С. 1668–1684.
- Кутейников Е.С., Кутейникова Н.С., Паталаха Е.И., Смирнов А.В. Структурный анализ при палеогеодинамических реконструкциях М. 1994. 256 с.
- Малышев Н.А., Никишин В.А., Никишин А.М., Обметко В.В., Мартыросян В.Н., Клещина Л.Н., Рейдик Ю.В. Новая модель геологического строения и истории формирования Северо-Карского осадочного бассейна // Докл. РАН. 2012. Т. 445. № 1. С. 50–54.
- Мальцев Ю.М., Беззубцев В.В. О надвиговых структурах Таймырской складчатой области // Геология и геофизика. 1979. № 3. С. 47–54.
- Медведев А.Я., Альмухамедов А.И., Рейчов М.К., Сандерс А.Д., Вайт Р.В., Кирда Н.П. Абсолютный возраст базальтов доюрского основания Западно-Сибирской плиты (по $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ данным) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 6. С. 617–620.
- Метелкин Д.В. Эволюция структур Центральной Азии и роль сдвиговой тектоники по палеомагнитным данным // Дисс... докт. геол.-мин. наук. Новосибирск. 2010. 482 с.
- Метелкин Д.В., Верниковский В.А., Казанский А.Ю., Каширцев В.А., Брагин В.Ю., Кунгурцев Л.В. Мезозойский интервал траектории кажущегося движения полюса Сибирского домена Евразийской плиты // Докл. РАН. 2008. Т. 418. № 4. С. 500–505.
- Павлов В.Э. Сибирские палеомагнитные данные и проблема жесткости Северо-Евразийского континента в послепалеозойское время // Физика Земли. 2012. № 9–10. С. 56–73.
- Печерский Д.М., Диденко А.Н. Палеоазиатский океан. М.: ИФЗ РАН. 1995. 298 с.
- Полянский О.П., Сухоруков В.П., Травин А.В., Алехин И.Г., Юдин Д.С. Тектоническая интерпретация термохронологических данных и Р-Т-параметров метаморфизма пород зонального комплекса Бодончин (Монгольский Алтай) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 9. С. 1256–1275.
- Пучков В.Н. Уралиды и тиманиды, их структурные связи и место в геологической истории Урало-Монгольского складчатого пояса // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 1–2. С. 28–39.
- Сухоруков В.П., Полянский О.П. Позднепалеозойский возраст деформаций в Цэлском метаморфическом поясе (Монгольский Алтай) // Докл. РАН. 2013. Т. 450. № 6. С. 696–701.
- Тевелев А.В. Особенности кинематики шовных зон Южного Урала как причина формирования конвергентной структуры Восточно-Уральской мегазоны // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2012. № 3. С. 17–26.
- Травин А.В., Бовен А., Плотников А.В., Владимиров В.Г., Тениссен К., Владимиров А.Г., Мельников А.И., Титов А.В. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование пластических деформаций в Иртышской сдвиговой зоне (Восточный Казахстан) // Геохимия. 2001. № 12. С. 1–5.
- Филатова Н.И., Хаин В.Е. Кратон Арктида и неопротерозойские — мезозойские орогенные пояса Циркумпольного региона // Геотектоника. 2010. № 3. С. 3–29.

- Филиппова И.Б., Буш В.А., Диденко А.Н. Среднепалеозойские субдукционные пояса - ведущий фактор формирования структуры Центрально-Азиатского покровно-складчатого пояса // Российский журнал наук о Земле. 2001. Т. 3. № 6. С. 405–427.
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнетология. Л.: Недра. 1982. 312 с.
- Шацилло А.В. Палеомагнетизм девона Рыбинской впадины в решении проблем позднепалеозойской тектоники юга Сибири. Предварительные результаты. Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 6. Иркутск: ИЗК СО РАН. 2008. Т. 2. С. 154–156.
- Шацилло А.В. Пермская динамика Сибирской платформы: роль в структурообразующих процессах палеозойских складчатых поясов Северной Евразии / в сб. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. Борок. 2011. С. 259–265.
- Шацилло А.В., Федюкин И.В., Паверман В.И. Палеомагнетизм позднепалеозойских гранитов Ангаро-Витимского батолита и вмещающих пород Байкало-Патомской складчатой области: тектонические следствия // Геология и Геофизика. 2014 (в печати).
- Шуилов Э.В., Матишов Г.А. Тектоническая позиция и геодинамическая природа трога Святой Анны (север Баренцево-Карской континентальной окраины) // Докл. РАН. 2006. Т. 411. № 5. С. 1–5.
- Юдин В.В. Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: УИФ Наука. 1994. 285 с.
- Abrajevitch A., Van der Voo R., Levashova N.M., Bazhenov M.L. Paleomagnetic constraints on the paleogeography and oroclinal bending of the Devonian volcanic arc in Kazakhstan // Tectonophysics. 2007. V. 441. P. 67–84.
- Abrajevitch A., Van der Voo R., Bazhenov M.L., Levashova N.M., Phil J.A. McCausland The role of the Kazakhstan orocline in the late Paleozoic amalgamation of Eurasia // Tectonophysics. 2008. V. 455. P. 61–76.
- Allen M.B., Anderson L., Searl R.C. and Buslov M. Oblique rift geometry of the West Siberian Basin: tectonic setting for the Siberian flood basalts // J. Geol. Soc., London. 2006. V. 163. P. 901–904.
- Anderson E.M. The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Britain. Oliver and Boyd, Edinburgh. 1942.
- Cox A., Hart R.B. Plate Tectonics - How It Works. Blackwell Science, Cambridge. 1986. P. 392.
- Dehandschutter B., Delvaux D., Boven A. 1997. The Lake Teletsk tectonic depression (Altai): New kinematic data and chronological relations. Mus. R. Afr. Centr., Tervuren (Belg.), Dep't. Geol. Min., Rapp. Ann. 1995. 1996. P. 147–167.
- DeMets C., Gordon R.G., Argus D.F. Geologically current plate motions // Geophys. J. Int. 2010. V. 181. P. 1–80.
- Glasmacher U.A., Reynolds P., Alekseyev A.A., Puchkov V.N., Taylor K., Gorozhanin V., Walter R. 40Ar/39Ar Thermochronology west of the Main Uralian fault, southern Urals, Russia // Geol Rundsch. 1999. V. 87. P. 515–525.
- Gortz I., Heilscher P. An explicit plate kinematic model for the orogeny in the southern Uralides // Tectonophysics. 2010. V. 493 P. 1–26.
- Harrison J.C., St-Onge M.R., Petrov O., Strelnikov S., Lopatin B., Wilson F., Tella S., Paul D., Lynds T., Shokalsky S., Hults C., Bergman S., Jepsen H.F. and Solli A. Geological map of the Arctic (scale 1 : 5000000) // Geological Survey of Canada. 2010.
- Hetzl R., Glodny J. A crustal-scale, orogen-parallel strike-slip fault in the Middle Urals: age, magnitude of displacement, and geodynamic significance // Int. J. Earth Sciences (Geol Rundsch). 2002. V. 91. P. 231–245.
- K. de Jong, Wang B., Faure M., Shu L., Cluzel D., Charvet J., Ruffet G., Chen Y. New 40Ar/39Ar age constraints on the Late Palaeozoic tectonic evolution of the western Tianshan (Xinjiang, northwestern China), with emphasis on Permian fluid ingress // Int. J. Earth Sciences (Geol Rundsch). 2009. V. 98: P. 1239–1258.
- Kent D.V., Muttoni G. Mobility of Pangea: Implications for Late Paleozoic and Early Mesozoic paleoclimate / in Le-Tourneau P.M., and Olsen P.E., eds. The Great Rift Valleys of Pangea in Eastern North America. V. 1. Tectonics, Structure, and Volcanism: New York. Columbia University Press. 2003. P. 11–20.
- Kuznetsov N.B., Nataflov 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. DOI:10.1016/j.gr.2009.08.005.
- 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. 12. № 3. P. 305–323. DOI:10.1016/j.gr.2006.10.021
- Laurent-Charvet S., Charvet J., Monie' P., Shu L.S. Late Paleozoic strike-slip shear zones in eastern Central Asia (NW China): new structural and geochronological data. Tectonics. 2003. V. 22. № 2. P. 1099–1101. doi:10.1029/2001TC901047.
- Levashova N.M., Degtyarev K.E., Bazhenov M.L., Collins A.Q., Van der Voo R. Permian paleomagnetism of East Kazakhstan and the amalgamation of Eurasia // Geoph. J. Inter. 2003. V. 152. P. 677–687.
- Lorenz H., Gee D.G., Whitehouse M.J. New geochronological data on Palaeozoic igneous activity and deformation in the Severnaya Zemlya Archipelago, Russia, and implications for the development of the Eurasian Arctic margin // Geol. Mag. 2007. V. 144(1). P.105–125.
- 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.
- Morel P., Irving E. Paleomagnetism and the evolution of Pangea // Journal of Geophysical Research. 1981. V. 86. P. 1858–1887.
- Pavlov V.E., Courtillot V., Bazhenov M.L., Veselovsky R.V. Paleomagnetism of the Siberian traps: new data and a new overall 250 Ma pole for Siberia // Tectonophysics. 2007. V. 443. P. 72–92.
- Pease V. East European Craton margin source for the allochthonous Northern Terrane of Tajmyr, Arctic Siberia //

- EOS Transactions, American Geophysical Union. 2001. 82(47).
- Pisarevsky S.A., Gladkochub D.P., Donskaya T.A., De Waele B., Mazukabzov A.M.* Palaeomagnetism and geochronology of mafic dykes in south Siberia, Russia: the first precisely dated Early Permian palaeomagnetic pole from the Siberian craton // *Geoph. J. In.* 2006. V. 167. P. 649–658.
- Smith A.G., Livermore R.A.* Pangea in Permian to Jurassic time // *Tectonophysics* 1991. V. 187. P. 135–179.
- Torsvik T.H.* The Rodinia Jigsaw Puzzle // *Science*. 30 May 2003. V. 300. P. 1379–1381.
- Torsvik T.H., Andersen T.B.* The Taimyr fold belt, Arctic Siberia: timing of prefold remagnetisation and regional tectonics // *Tectonophysics*. 2002. V. 352. P. 335–348.
- Torsvik T.H., Cocks L.R.M.* Norway in space and time: A Centennial cavalcade // *Norwegian J. Geol.* 2005. V. 85. P. 73–86.
- Walderhaug H.J., Eide E.A., Scott R.A., Inger S., Golionko E.G.* Palaeomagnetism and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology from the South Taimyr igneous complex, Arctic Russia: a Middle-Late Triassic magmatic pulse after Siberian flood basalt volcanism // *Geoph. J. In.* 2005. V. 163. Issue 2. P. 501–517.
- Wdowinski S.* A theory of intraplate tectonics // *J. Geoph. Res.* 1998. V. 103(B3). P. 5037–5059.
- Zhang L.C., Shen Y.C., Ji J.S.* Characteristics and genesis of Kanggur gold deposit in the eastern Tianshan mountains, NW China: evidence from geology, isotope distribution and chronology // *Ore Geol. Rev.* 2003. V. 23. P. 71–90.
- Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M.* Absolute reconstructions of the Paleozoic oceans // *Earth Plan. Sci. Lett.* 1985. V. 74. № 1. P. 103–116.