

УДК 550.38435:551.71 (470.22)

Н.В. Лубнина¹, А.И. Слабунов²

РЕКОНСТРУКЦИЯ НЕОАРХЕЙСКОГО СУПЕРКОНТИНЕНТА КЕНОРЛЕНД ПО ПАЛЕОМАГНИТНЫМ И ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ³

С помощью нового подхода анализа палеомагнитных данных протестированы реконструкции взаимного положения неоархейских кратонов Каапвааль, Карельский, Пилбара и Сьюпириор. На основании палеомагнитных и геологических данных предложено наиболее вероятное положение этих кратонов в составе неоархейского суперконтинента Кенорленд. Новые палеомагнитные определения, полученные по неоархейским комплексам кратонов, позволили количественно обосновать их перемещение в составе единой литосферной плиты со средней скоростью 4–9 см/год. Взаимное расположение древних кратонов, построенное по палеомагнитным данным, согласуется с особенностями геологического строения и истории формирования этих структур.

Ключевые слова: палеомагнетизм, неоархей, суперконтинент Кенорленд, Карельский кратон, ключевые полюсы.

Based on the new paleomagnetic method, all reconstruction of the NeoArchean Kaapvaal, Karelian, Pilbara and Superia cratons have been testify. The most possible positions of these cratons as a part of the NeoArchean supercontinent Kenorland have been proposed. New paleomagnetic data obtain on the NeoArchean complexes allow to calculate the speed of the motions as 4–9cm/y. Paleomagnetic reconstruction supported by geological correlations of the even-age complexes.

Key words: paleomagnetism, NeoArchean, supercontinent Kenorland, Karelian craton, key poles.

Введение. Несмотря на достижения последних десятилетий в изучении архейских комплексов Земли (см. ссылки в [Розен и др., 2008; Bleeker, 2003; Evans, Pisarevsky, 2008]), многие вопросы, связанные с динамикой и механизмами формирования литосферы на ранних стадиях эволюции планеты, остаются дискуссионными.

Не существует единого мнения о соотношении механизмов плюмовой тектоники и тектоники литосферных плит в раннем докембрии. Вопрос о времени перехода от одного режима к другому также неоднозначен. В последнее десятилетие накапливается все больше данных о начале действия механизмов тектоники литосферных плит по крайней мере с мезоархей (~3,2–3,1 млрд лет назад, см. обзор в [Розен и др., 2008]). Однако вопрос о том, были ли эти процессы аналогичны фанерозойским, остается открытым.

Большая часть (более 60%) континентальной коры сформировалась в интервале 3,2–2,5 млрд л.н., ее фрагменты входят в состав всех современных континентов (см. обзор в [Розен и др., 2008]). В настоящее время идет поиск подходов к реконструкции положения и взаимосвязи этих континентальных блоков в мезо- и неоархее: принадлежали ли они единому ядру или были разрознены? [Лубнина, 2009; Bleeker, 2003; Evans, Pisarevsky, 2008].

В последнее время активно обсуждается возможность вхождения большинства фрагментов архейской

континентальной коры в состав неоархейского суперконтинента [Божко, 2009; Bleeker, 2003; Reddy, Evans, 2009; Soderlund et al., 2010]. Однако этот вопрос пока далек от решения. Существуют по крайней мере три принципиально разные модели взаиморасположения в мезо- и неоархее 35 известных в настоящее время архейских фрагментов континентальной коры [Bleeker, 2003]. Первая модель предполагает формирование к концу неоархейского единого суперконтинента (рис. 1, А). Его часто называют Кенорленд (Kenorland). Название впервые предложил Х. Вильямс с соавторами для обозначения палеогеографически неопределенного суперконтинента, который гипотетически мог образоваться в неоархее в результате кеноранской орогении [Williams et al., 1991]. Однако термин «Кенорленд» у разных авторов имеет различное значение. Л. Аспер и Дж. Чиарензелли подразумевают под Кенорлендом палеогеографически унаследованный от амальгамации Северной Америки суперконтинент, в который, помимо Лаврентии, могли входить Балтика (Восточно-Европейский кратон) и Сибирь. Однако взаиморасположение этих кратонов не уточняется. Вместе с тем эти авторы предполагают существование другого суперконтинента — Зимваалбара, состоящего из кратонов Зимбабве, Каапвааль, Пилбара и, возможно, кратонов Сан-Франциско и Индостанского. Образование и начало распада суперконтинента Зимваалбара происходило немного ранее

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, профессор, докт. геол.-минер. н., *e-mail*: natalia.lubnina@gmail.com

² Институт геологии КарНЦ РАН, зав. лабораторией, докт. геол.-минер. н., *e-mail*: slabunov@krc.karelia.ru

³ Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 10-05-01092-а, 11-05-93959-ЮАР, 11-05-00168-а).



Рис. 1. Три альтернативные модели эволюции Земли в неоярхее и на границе неоярхее—палеопротерозоя, по [Bleeker, 2003]: А — единый суперконтинент (модель Кенорленд); Б — несколько суперкратонов (суперкратонная модель); В — множество суперкратонов (наименее вероятная модель)

образования суперконтинента Кенорленд — между 2,90 и 2,65 млрд л.н.

В. Бликер определил понятие «Кенорленд» как гипотетический неоярхейский—палеопротерозойский суперконтинент, в котором три архейских суперкратона Слейв, Сьюпириор и Каапвааль вместе с окружающими их континентальными блоками могли занимать лишь удаленные позиции [Bleeker, 2003].

Иная точка зрения на время существования суперконтинента Кенорленд высказана М. Барли с соавторами (см. ссылки в [Лубнина, 2009]), предполагающая объединение всех известных кратонов мира в единый суперконтинент Кенорленд лишь к 2,45 млрд л.н. и его распад в интервале 2,25–2,10 млрд л.н. Подобная реконструкция хорошо коррелирует с данными изотопного датирования докембрийских пород — в интервале 2,45–2,25 млрд л.н. отмечается резкое снижение числа изотопных датировок [Reddy, Evans, 2009], что может означать уменьшение тектоно-термальной активности.

Другая модель — суперкратонная (рис. 1, Б) — предполагает существование в неоярхее трех суперконтинентальных ядер (суперкратонов): Ваалбара (Vaalbara), сформировавшегося около 2,9 млрд л.н. и объединявшего кратоны Каапвааль и Пилбара; Сьюпириа (Supergia), образовавшегося около 2,7 млрд л.н., в состав которого входили кратоны Сьюпириор, Карельский, Йилгарн и Вайоминг, а также Склавия (Scavaria) — 2,6 млрд л.н. и объединявшего кратоны Слейв, Зимбабве, Дарвар [Bleeker, 2003].

И, наконец, третья модель (рис. 1, В) — наименее возможная — предполагает существование в неоярхее многочисленных небольших континентов, т.е. отсутствие единого суперконтинента или нескольких суперкратонов [Bleeker, 2003].

Приблизиться к решению проблемы суперконтинента(ов) в неоярхее возможно на основании комплексного анализа палеомагнитных и геологических данных.

Методика построения неоярхейского суперконтинента на основании палеомагнитных и геологических данных. Методические основы реконструкции докембрийских суперконтинентов существенно отличаются от комплекса методов, традиционно используемых для построения моделей фанерозойских мега- и суперконтинентов, так как практически исключается возможность использования фациальных и палеонтологических критериев. Большую ценность имеет опыт реконструкции неоярхейского суперконтинента Родиния, проведенный международным коллективом ученых [Богданова и др., 2009]. Важная особенность предложенной ими методики — комплексное использование геологических и палеомагнитных данных.

Геологические материалы, т.е. данные о времени, продолжительности и геодинамических условиях формирования отдельных структур, служат исходными для проверки рабочих моделей о динамике формирования суперконтинентов и их конфигу-

рации. При этом применительно к реконструкции неоархейского суперконтинента по геологическим данным выделяются: 1) древние (донеоархейские) стабильные континентальные блоки земной коры, 2) новообразованные в неоархее фрагменты континентальной коры, 3) палеопротерозойские комплексы — индикаторы распада континентов (крупные магматические провинции, рои даек базитов и др.). Эти материалы позволяют оценить количество и размеры древних континентальных блоков, участвовавших в формировании суперконтинента. Данные о новообразованной неоархейской континентальной коре позволяют судить о механизмах ее роста, о положении субдукционно-аккреционных и коллизионных орогенов относительно древних блоков. Анализ времени проявления и пространственного расположения комплексов-индикаторов распада позволяет реконструировать заключительные стадии суперконтинентального цикла.

Вместе с тем названные геологические данные невозможно использовать для изучения суперконтинентов без определения независимыми методами расположения рассматриваемых геологических тел на поверхности Земли в различные моменты их истории. Для этих целей можно использовать палеомагнитный метод. Конечно, необходимо учитывать, что и он имеет ограничения. С одной стороны, палеомагнитные данные позволяют определить только широтное положение континентальных блоков в определенный момент времени и не дают возможности оценить долготную составляющую их положения. Это, безусловно, предопределяет многовариантность таких реконструкций. Вместе с тем построить непрерывные траектории кажущейся миграции полюса, традицион-

но используемые для реконструкции относительного положения континентальных блоков в фанерозое, не представляется возможным. С одной стороны, отсутствуют в значительном количестве надежные докембрийские палеомагнитные определения — ключевые полюсы, а с другой — нет докембрийских объектов, пригодных для проведения палеомагнитных исследований.

Д. Эванс и С. Писаревский предложили новый подход для исключения долготной неопределенности в относительном положении отдельных континентальных блоков при построении реконструкций в докембрии [Evans, Pisarevsky, 2008]. Суть этого подхода состоит в сопоставлении угловых расстояний, рассчитанных по дуге большого круга между парами разновозрастных ключевых полюсов разных кратонов. Совпадение угловых расстояний для нескольких кратонов свидетельствует об их перемещении в составе единой литосферной плиты в период совпадения пар разновозрастных полюсов. В случае совпадения угловых расстояний для всех кратонов, участвующих в анализе, можно говорить об их вхождении в состав единого супер/мегаконтинента. Отличие углового расстояния одного из континентального блока (кратона) свидетельствует о его независимом перемещении в этом временном интервале. Подчеркнем, что сходство угловых расстояний между парами разновозрастных полюсов указывает на их движение в составе единой литосферной плиты, а не на близкое сонахождение.

Геологические данные о фрагментах земной коры, которые входят в состав суперконтинента (суперкратона), были использованы для тестирования построенных, выполненных на основании палеомагнитных данных. В нашей работе при сопоставлении истории и механизмов формирования в архее земной коры Карельского кратона и сопряженного с ним Беломорского подвижного пояса (восточная часть Фенноскандинавского/Балтийского щита), кратона Сьюпириор (Канадский щит), мезоархейского кратона Каапвааль и сопряженных с ним кратона Зимбабве и подвижного пояса Лимпопо, объединяемых в неоархейский кратон Калахари (Южно-Африканский щит) и кратона Пилбара (Западно-Австралийский щит) основное внимание уделялось оценке роли субдукционно-аккреционных, коллизионных и плюмовых процессов, позволяющих реконструировать разновозрастные орогенетические пояса и рифтогенные бассейны соответственно. Структуры первого типа маркируют зоны конвергентного

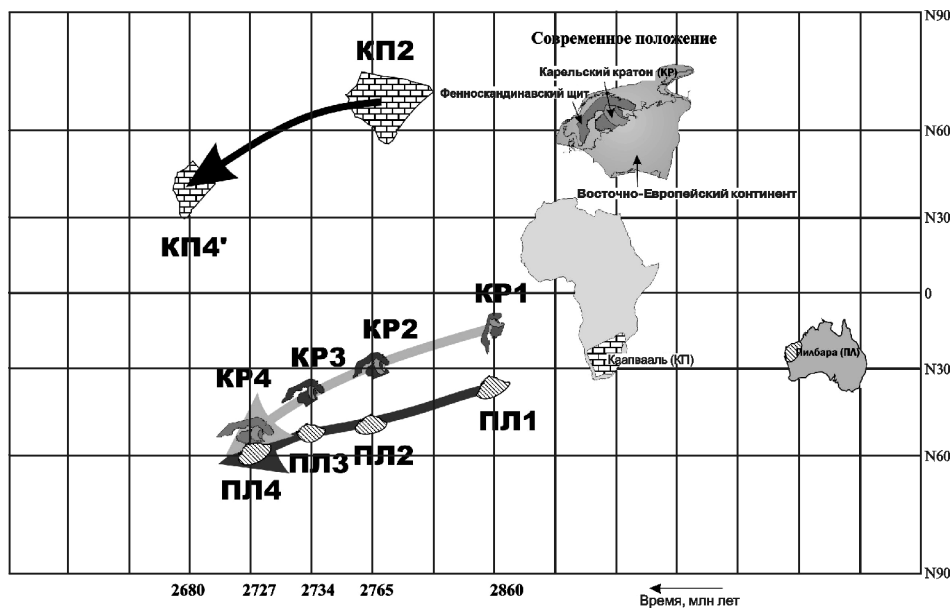


Рис. 2. Тренды перемещения кратонов Каапвааль, Карельского, Пилбара и Сьюпириор в неоархее—палеопротерозое.

Докембрийские кратоны: КП — Каапвааль; КР — Карельский; ПЛ — Пилбара; СЮ — Сьюпириор. Палеомагнитные полюсы, использованные для построения трендов, см. в таблице

взаимодействия литосферных плит, а второго — внутриплитную тектонику.

Реконструкция неоархейского суперконтинента по палеомагнитным данным. Анализ Глобальной палеомагнитной базы данных [Pisarevsky, 2005] и последних публикаций позволил выделить для архея—палеопротерозоя наиболее надежные палеомагнитные определения для четырех неархейских кратонов — Карельского, Сьюпириор, Каапвааль и Пилбара (таблица). На основании этих данных построены тренды их перемещения в интервале 2,88–2,45 млрд лет (рис. 2). Полученные новые палеомагнитные данные для различных фаз неархейского Панозерского санукитоидного массива Карельского кратона дали возможность реконструировать тренд его перемещения в интервале 2,78–2,72 млрд лет [Лубнина, Слабунов, 2009]. Следует отметить, что ближайшие полюсы, используемые для построения тренда, не должны отличаться по возрасту более чем на 30 млн лет [Buchan et al., 2000]. Данные свидетельствуют о перемещении в неархее Карельского кратона из умеренных северных в приэкваториальные широты с одновременным разворотом против часовой стрелки.

Палеомагнитные полюсы, использованные для расчета угловых расстояний между парами разновозрастных ключевых полюсов

Протократон	Индекс	Ф, °	Л, °	A95, °	Возраст, млрд лет	Ссылка*
Карельский	KP ₁	9	182	13	2,88	1
	KP ₂	-5	225	4	2,77	1
	KP ₃	-16	228	7	2,73	1
	KP ₄	-31	231	11	2,72	1
	KP ₅	10	256	10	2,45	4
Сьюпириор	СП ₁	69	227	5	2,68	3
	СП ₂	-50	244	5	2,45	2
Каапвааль	КП ₁	-40	5	18	2,78	3
	КП ₂	-63	337	4	2,69	6
	КП ₃	9	15	17	1,88	5
	КП ₄	12	360	8	1,85	6
Пилбара	ПЛ ₁	52	358	7	2,87	5
	ПЛ ₂	41	340	3	2,77	7
	ПЛ ₃	47	333	10	2,76	7
	ПЛ ₄	50	318	13	2,74	7
	ПЛ ₅	59	6	6	2,72	7

Примечание: 1 — [Лубнина, Слабунов, 2009]; 2 — [Buchan et al., 2000]; 3 — [Evans, Pisarevsky, 2008]; 4 — [Mertanen, Kohonen, 2011]; 5 — [Pisarevsky, 2005]; 6 — [Lubnina et al., 2010]; 7 — [Strik et al., 2003].

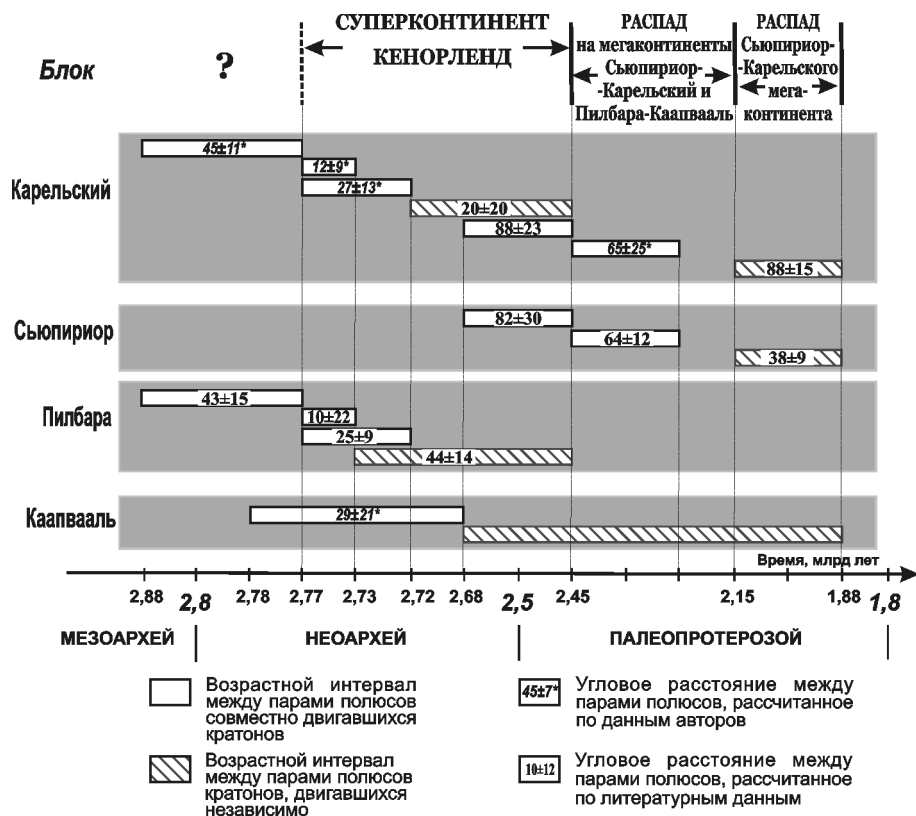


Рис. 3. Соотношение угловых расстояний между парами разновозрастных мезоархейских—палеопротерозойских полюсов кратонов Каапвааль, Сьюпириор, Пилбара и Карельского: 1 — возрастной интервал между парами разновозрастных полюсов совместно перемещавшихся докембрийских кратонов; 2 — возрастной интервал между парами разновозрастных полюсов независимо перемещавшихся кратонов; 3 — угловое расстояние между парой разновозрастных полюсов одного кратона

Аналогичный тренд перемещения построен для кратона Пилбара на основании палеомагнитных данных по потокам базальтов Фортеस्कью (возраст 2,75–2,15 млрд лет). Тренд перемещения кратона Каапвааль реконструирован на основании палеомагнитного полюса по неархейским Дердепорт-базальтам, а также долеритовым дайкам с возрастом ~2,65 млрд лет (см. ссылки в [Лубнина, 2009]). Для кратона Сьюпириор в настоящее время существуют лишь два надежных палеомагнитных полюса в интервале 2,80–2,45 млрд лет (таблица). Положение этого кратона в составе суперконтинента Кенорленд реконструировано исходя из пары этих полюсов и тестировалось на основании геологических данных.

В изученном временном интервале скорость перемещения кратона составляла 4–9 см/год, что коррелирует с данными по кратонам Каапвааль [Lubnina et al., 2008; de Kock et al., 2009] и Пилбара [Strik et al., 2003]. Резкое увеличение скорости перемещения до 11–14 см/год отмечается перед вхождением Карельского кратона в состав суперконтинента Кенорленд, т.е. около 2,75 млрд л.н., и в момент начала распада этого суперконтинента — около 2,5 млрд л.н. (рис. 2, врезка).

Для тестирования принадлежности неархейских кратонов единой литосферной плите были рассчитаны по дуге большого круга угловые расстояния между

парами разновозрастных полюсов кратонов Карельский, Сьюпириор, Каапвааль и Пилбара (рис. 3).

Результаты анализа показывают совпадение — в пределах ошибки угловых расстояний — между парами разновозрастных полюсов всех четырех кратонов в интервале 2,88–2,72 млрд лет (рис. 3). Это позволяет предположить их перемещение в составе единой литосферной плиты в конце мезоархея—неоархея. Палеомагнитные данные, таким образом, свидетельствуют, что рассматриваемые фрагменты континентальной коры являются частями единого суперконтинента Кенорленд.

Для реконструкции положения неоархейских кратонов в составе суперконтинента Кенорленд зафиксировано положение кратона Каапвааль согласно палеополюсу (2,72 млрд л.н.) этого кратона (рис. 4). Положение остальных блоков реконструировано таким образом, чтобы пары их разновозрастных полюсов имели наибольшее совпадение (рис. 4). Параметры вращения каждого кратона вокруг Эйлера полюса см. в подписях к рис. 4.

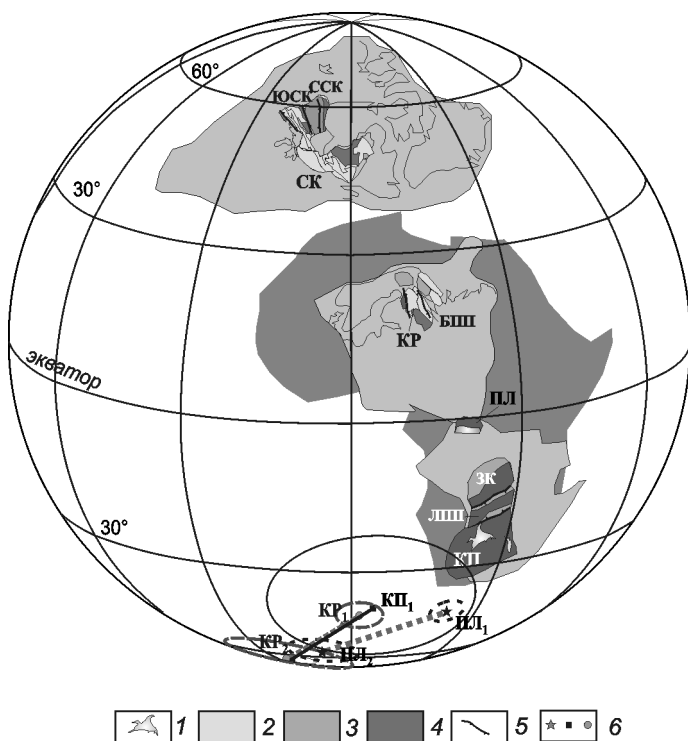


Рис. 4. Реконструкция неоархейского суперконтинента Кенорленд (на момент ~2,7 млрд лет), основанная на ключевых палеомагнитных полюсах кратонов Каапвааль (КП), Карельского (КР), Пилбара (ПЛ) и Сьюпириор (СК) и корреляции значимых геологических событий: 1 — мезо- и неоархейские (3,07–2,63 млрд лет) рифтогенные бассейны (Витватерсранд, Понгола, Фортесква); 2–4 — фрагменты архейской континентальной коры с возрастом (млрд лет): 2 — моложе 3,0–2,65; 3 — 3,0–2,7; 4 — древнее 3,2–2,8; 5 — ключевые палеомагнитные полюсы с доверительным интервалом (пунктирные линии). Кратон Пилбара развернут относительно кратона Каапвааль на 97° по часовой стрелке относительно Эйлера полюса (52°N 90°E), Карельский кратон — на 58° относительно полюса (36°N 312°E).

БПП и ЛПП — подвижные пояса Беломорский и Лимпопо, ССК и ЮСК — северная и южная части кратона Сьюпириор, ЗК — кратон Зимбабве

В предложенной авторами модели неоархейского суперконтинента Кенорленд Карельский кратон находился в тропических широтах Северного полушария и был ориентирован южной частью (современные координаты) в сторону современной северной части кратона Каапвааль (рис. 4). Севернее расположен кратон Сьюпириор, ориентированный современной восточной окраиной в сторону северо-восточной части Карельского кратона. Такое взаимное положение кратонов Карельского и Сьюпириор отличается от реконструкций, построенных с использованием традиционного подхода интерпретации палеомагнитных результатов [Buchan et al., 2000; Mertanen, Kohonen, 2011].

Согласно реконструкции, предложенной К. Бакеном с соавторами [Buchan et al., 2000], в палеопротерозое (2,45 млрд л.н.) Балтика (Карельский кратон) находилась в приэкваториальных широтах Южного полушария, при этом рой Карельских даек с возрастом 2,45 млрд лет имел северное простирание. Восточнее, в непосредственной близости был расположен кратон Сьюпириор, развернутый примерно на 180° по отношению к его современному положению. При этом дайковый рой Маттачеван кратона Сьюпириор параллелен Карельскому дайковому рою. Реконструкция взаимного положения кратонов Карельского и Сьюпириор, основанная на новых палеомагнитных определениях для неоархейского гранитного массива Коетре (Карельский кратон), свидетельствует о положении этих кратонов в высоких широтах Южного полушария в неоархея (~2,74–2,68 млрд л.н.) [Mertanen, Kohonen, 2011]. При этом санукитоидные массивы Карельского кратона имели ориентировку север—юг, в то время как санукитоиды кратона Сьюпириор — восток—запад.

В предложенной реконструкции кратоны Карельский и Сьюпириор находились независимо в интервале 2,68–2,50 млрд л.н. При этом в интервале 2,68–2,50 млрд л.н. кратон Сьюпириор переместился на 20° по широте с одновременным разворотом на 45° по часовой стрелке, в то время как Карельский кратон за тот же временной интервал испытал смещение на 70° по широте с одновременным разворотом почти на 120° по часовой стрелке [Mertanen, Kohonen, 2011]. Подобная реконструкция плохо согласуется с конфигурацией, построенной на сопоставлении «штриховых» кодов магматических событий [Bleeker, Ernst, 2006], коррелирующих палеопротерозойские радиальные рои даек Маттачеван (Сьюпириор) с габбро-норитовыми дайками Карельского кратона с возрастом 2,45 млрд лет. Реконструкция, предложенная на рис. 4, восполняет это противоречие.

Взаимное положение кратонов Пилбара и Каапвааль в конфигурации мегаконтинента Ваалбара обсуждается более 15 лет (см. обзор в [Лубнина, 2009]). С использованием нового подхода анализа палеомагнитных полюсов — совмещение пар разновозрастных полюсов — предложена единственно

возможная конфигурация мегаконтинента Ваалбара, показанная на рис. 4 [Лубнина, 2009; de Kock et al., 2009]. В этой конфигурации неoarхейский кратон Пилбара расположен на северо-запад по отношению к современному положению кратона Каапвааль, причем он развернут примерно на 90° против часовой стрелки относительно современного положения.

Совпадение трендов перемещения и угловых расстояний между парами разновозрастных полюсов мегаконтинентов Ваалбара и Сьюпириор—Карельского свидетельствует об их совместном перемещении в составе единой литосферной плиты — суперконтинента Кенорленд.

Тестирование предложенной модели неoarхейского суперконтинента Кенорленд по геологическим данным. Тестирование предложенной конфигурации неoarхейского суперконтинента Кенорленд проводилось на основании корреляции мезо- и неoarхейских субдукционно-аккреционных, коллизионных, плюмовых процессов в Карельском кратоне (КР) и Беломорском подвижном поясе (БПП) Фенноскандинавского (Балтийского) щита, южной (ЮСК) и северной (ССК) частях кратона Сьюпириор, кратонах Каапвааль (КП) и Зимбабве (ЗК) и подвижном поясе Лимпопо (ЛПП) кратона Калахари и в кратоне Пилбара (ПЛ) (рис. 5).

Геологические корреляции показывают значительное сходство мезо- и неoarхейской истории формирования континентальной земной коры Фенноскандинавского (Карельский кратон и Беломорский подвижный пояс) и Канадского щитов (кратон Сьюпириор) [Кожевников, 2008; Слабунов и др., 2006; Percival, 2007]. В этих структурах выделяются террейны, которые сформировались уже к концу мезоархея: в провинции Сьюпириор их около 10 [Percival, 2007], например Гудзонский (Gudson Bay), Северо-Сьюпириорский (Northern Superior), Миннесотский (Minnesota River Valley), Мармионский (Marmion) и др., в восточной части Фенноскандинавского (Балтийского) щита: Водлозерский, Исамли, а также ядра Беломорской структуры и террейна Кианта [Слабунов и др., 2006].

В неoarхее (около 2,72–2,7 млрд л.н.) в результате аккреционных и коллизионных процессов завершилось формирование рассматриваемых блоков земной

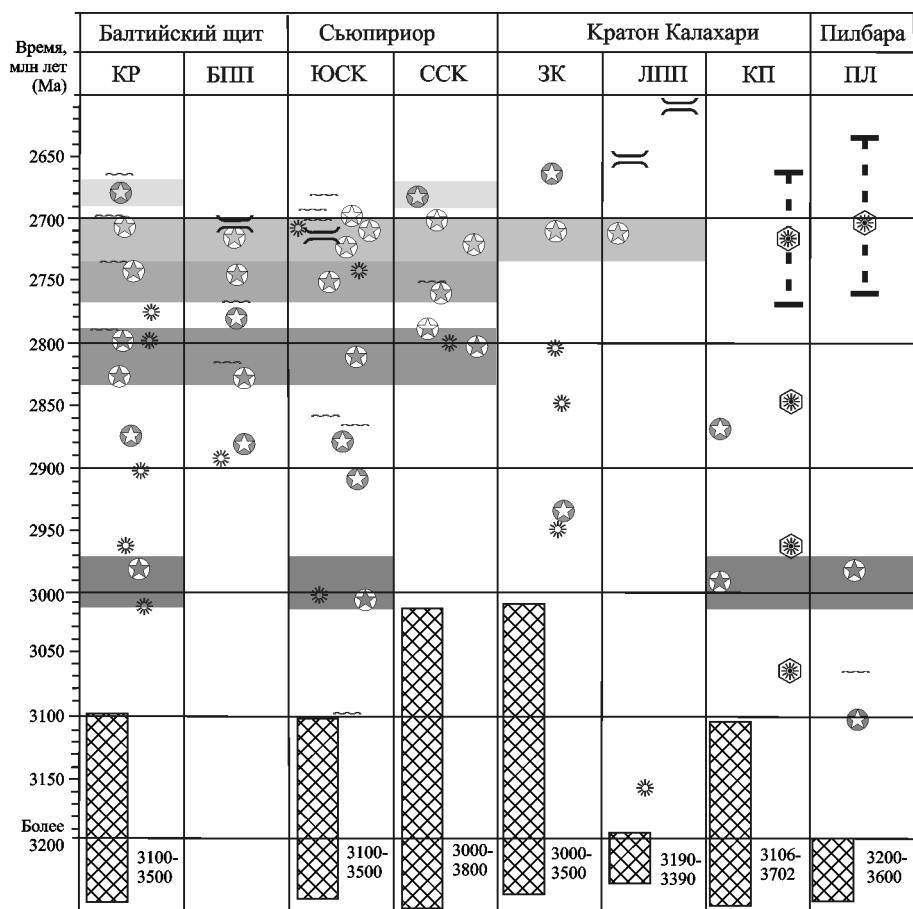


Рис. 5. Схема корреляции мезо- и неoarхейских субдукционно-аккреционных, коллизионных, плюмовых процессов в Карельском кратоне (КР) и Беломорском подвижном поясе (БПП) Фенноскандинавского (Балтийского) щита, южной (ЮСК) и северной (ССК) частях кратона Сьюпириор Канадского щита, кратонах Каапвааль (КП) и Зимбабве (ЗК) и подвижном поясе Лимпопо (ЛПП) кратона Калахари Южно-Африканского щита и кратоне Пилбара (ПЛ) Западно-Австралийского щита.
1 — древние ядра структур (цифры около них — возраст их коры в млн лет); 2 — субдукционные комплексы; 3, 4 — проявления плюмов: 3 — базальт-коматиитовые ассоциации, 4 — рифтогенные бассейны; 5 — аккреционные процессы; 6 — коллизионные процессы

коры. Весьма сходна история становления кратона Сьюпириор (рис. 5). Так, в период 2,72–2,71 млрд л.н. в ходе северо-сьюпириорской орогении [Percival, 2007] вслед за субдукцией южного направления (в современных координатах) происходила коллизия террейнов Северо-Сьюпириорского и Северо-Карибского (North Caribou). При этом в предложенной конфигурации Кенорленда направления движения взаимодействующих литосферных плит рассматриваемых структур Фенноскандинавского и Канадского щитов согласуются (рис. 5). В ходе учианской (Uchian) орогении (2,70 млрд л.н.) в провинции Сьюпириор к Северо-Карибскому террейну с юга причленился террейн Виннипег (Winnipeg River), их сутура маркируется метаосадками пояса Инглиш Ривер. Примерно в это же время в восточной части Балтийского щита происходили главная фаза беломорской коллизии и аккреционные процессы в центральной части Карель-

ского кратона. В период 2,69–2,68 млрд л.н. в ходе шебандованской (Shebondowanian) и миннесотской (Minnesotan) орогении завершилась амальгамация террейнов кратона Сьюпириор. Сходные процессы фиксируются в западной части Карельского кратона Балтийского щита. Таким образом, к концу неогархея существовал единый суперкратон, сформировавшийся в результате аккреционно-коллизийных процессов, в состав которого входили как новообразованные (2,9–2,68 млрд лет), так и более древние (с возрастом 4,3–3,0 млрд лет) фрагменты коры восточной части Фенноскандинавского и Канадского щитов.

Мезо- и неогархейская история формирования земной коры кратона Калахари, состоящего из древних кратонов Зимбабве и Каапвааль и подвижного пояса Лимпопо, имеет важные черты сходства с таковой кратона Сьюпириор, хотя в целом эти структуры весьма отличны (рис. 5). Прежде всего отметим, что кратон Калахари образовался в результате коллизии кратонов Каапвааль, Зимбабве и древних фрагментов пояса Лимпопо (2,65–2,57 млрд лет), что несколько моложе поздних фаз орогении в кратоне Сьюпириор. До этого времени развитие указанных структур существенно отличалось. Каапваальский фрагмент коры кратонизировался уже в мезогархее, когда начали формироваться крупные осадочные рифтогенные бассейны Витватерсранд (начиная с 3,07 млрд л.н.), а несколько позднее (2,96 млрд л.н.) — Понгола. В мезо- и неогархее в происходило формирование новой континентальной коры кратона Зимбабве, эпизоды которого сопоставимы с наблюдаемыми в кратонах Карельском [Володичев, Божко, 2002] и Сьюпириор и слабо синхронизируются с событиями в кратоне Каапвааль (рис. 4). В то же время история формирования последнего и кратона Пилбара имеет много общего. Особенно отметим синхронность формирования неогархейских осадочных рифтогенных бассейнов Вентерсдорп (2,78–2,70 млрд л.н.) и Фортескью (2,78–2,63 млрд л.н.) [Percival, 2007], что хорошо согласуется с существованием в мезо- и неогархее суперконтинента Ваалбара.

Таким образом, рассмотренные геологические данные свидетельствуют о том, что весьма сходное

развитие в неогархее имели кратоны Карельский, Сьюпириор и Зимбабве, их аккреционно-коллизийные комплексы формировались вдоль конвергентных границ литосферных плит. Эти данные хорошо согласуются с предлагаемой конфигурацией Кенорленда, за исключением оценки положения Зимбабве. Отсутствие палеомагнитных полюсов для архейских комплексов кратона Зимбабве не позволяют сделать надежные выводы. Кратоны Каапвааль и Пилбара в мезо- и, вероятно, в неогархее были внутриплитными структурами, находящимися под воздействием плюма(ов).

Однако более детальная реконструкция конфигурации суперконтинента Кенорленд возможна лишь с накоплением новых палеомагнитных ключевых полюсов для неогархейских комплексов кратонов и новых геохронологических данных для них. С появлением новых палеомагнитных ключевых полюсов, в первую очередь для кратонов Сьюпириор и Зимбабве, появится возможность протестировать «целостность» неогархейского суперконтинента Кенорленд.

Выводы. 1. На основании ключевых полюсов кратонов Каапвааль, Карельского и Пилбара реконструированы тренды перемещения этих кратонов в неогархее—палеопротерозое.

2. Предложена новая конфигурация гипотетического суперконтинента Кенорленд в неогархее (около 2,7 млрд лет).

3. Показано, что скорость перемещения блоков в составе суперконтинента Кенорленд в неогархее составляла 4–9 см/год, что достаточно близко к современным значениям скорости движения литосферных плит.

4. Данные о геологии и истории формирования земной коры кратонов Каапвааль, Карельского, Пилбара и Сьюпириор не противоречат предложенной конфигурации неогархейского суперконтинента Кенорленд. Однако более надежная реконструкция возможна лишь с накоплением новых палеомагнитных ключевых полюсов для неогархейских кратонов и появлением прецизионных геохронологических данных для индикаторных геологических комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Богданова С.В., Писаревский С.А., Ли Ч.Х. Образование и распад Родинии (по результатам МПГМ 440) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2009. Т. 17, № 3. С. 29–45.

Божко Н.А. Суперконтинентальная цикличность в истории Земли // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 13–27.

Володичев О.И., Божко Н.А. Сравнительный анализ геологического строения архейских кратонов Карельского и Зимбабве // Глубинное строение и геодинамика Фенноскандии, окраинных и внутриплатформенных транзитных зон / Мат-лы VIII Междунар. конференции. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 51–52.

Кожевников В.Н. Раннедокембрийские кратоны: глобальные корреляции, к перспективам алмазоносности Ка-

рельского региона // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып 11. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 5–17.

Лубнина Н.В. Восточно-Европейский кратон от неогархея до палеозоя по палеомагнитным данным: Автореф. докт. дисс. М., 2009. 41 с.

Лубнина Н.В., Слабунов А.И. Палеомагнетизм неогархейской полифазной Панозерной интрузии Фенноскандинавского щита: новые результаты // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 6. С. 18–25.

Розен О.М., Щипанский А.А., Туркина О.М. Геодинамика ранней Земли: эволюция и устойчивость геологических процессов (офиолиты, островные дуги, кратоны, осадочные бассейны). М.: Научный мир, 2008. 184 с.

Слабунов А.И., Лобач-Жученко С.Б., Бибикина Е.В. и др. Архей Балтийского щита: геология, геохронология,

геодинамические обстановки // Геотектоника. 2006. № 6. С. 3–32.

Bleeker W. The late Archean record: a puzzle in ca. 35 pieces // *Lithos*. 2003. Vol. 71. P. 99–134.

Bleeker W., Ernst R. Short-lived mantle generated magmatic events and their dyke swarms: the key unlocking Earth's palaeogeographic record back to 2,6 Ga // *Dyke swarms—time markers of crustal evolution*. L.: Taylor & Francis, 2006. P. 3–26.

Buchan K.L., Mertanen S., Park R.G. et al. Comparising the drift of Laurentia and Baltica in the Proterozoic: the importance of key palaeomagnetic poles // *Tectonophysics*. 2000. Vol. 319, N 3. P. 167–198.

de Kock M.O., Evans D.A.D., Beukes N.J. Validating the existence of Vaalbara in the Neoproterozoic // *Precamb. Res.* 2009. Vol. 174, N 1–2. P. 145–154.

Evans D.A.D., Pisarevsky S.A. Plate tectonics on the early Earth? — weighing the paleomagnetic evidence // *When did Plate tectonics begin?* // *Geol. Soc. of America*. 2008. P. 249–263.

Lubnina N., Ernst R., Klausen M., Soderlund U. Paleomagnetic study of NeoArchean—Paleoproterozoic dykes in the Kaapvaal Craton // *Precamb. Res.* 2010. Vol. 183, N 3. P. 523–552.

Mertanen S., Kohonen F. Paleomagnetic constraints on an Archean—Paleoproterozoic Superior—Karelia connection:

New evidence from Archean Karelia // *Precamb. Res.* 2011. Vol. 186, N 1–4. P. 193–204.

Percival J.A. Eo- to Mesoproterozoic Terranes of the Superior Province and Their Tectonic Context // *Developments in Precambrian Geology*. 2007. Vol. 15. P. 1065–1085.

Pisarevsky S.A. New edition of the Global Paleomagnetic Database // *EOS transact.* 2005. Vol. 86, N 17. P. 170.

Reddy S.M., Evans D.A.D. Palaeoproterozoic supercontinents and global evolution: correlations from core to atmosphere // *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 2009. Vol. 323. P. 1–26.

Soderlund U., Hofmann A., Klausen M.B. et al. Towards a complete magmatic barcode for the Zimbabwe craton: Baddeleyite U—Pb dating of regional dolerite dyke swarms and sill complexes // *Precamb. Res.* 2010. Vol. 183, N 3. P. 388–398.

Strik G., Blake T.S., Zegers T.E. et al. Palaeomagnetism of flood basalts in the Pilbara Craton, Western Australia: Late Archean continental drift and the oldest known reversal of the geomagnetic field // *J. Geophys. Res.* 2003. Vol. 108. P. 25–51.

Williams H., Hoffman P.H., Lewry J.F. et al. Anatomy of North America: thematic geologic portrayals of the continents // *Tectonophysics*. 1991. Vol. 187. P. 117–134.

Поступила в редакцию
03.03.2011