

УДК 551.248. 1

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА В РАМКАХ СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ

Н. А. Божко

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Геологический факультет (Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991)

В результате проведенного анализа геодинамики восточной части Балтийского щита в последние 3 млрд лет ее истории на фоне суперконтинентальной цикличности установлено полное участие этой территории в двух суперконтинентальных циклах, связанных с развитием суперконтинентов Кенорленд и Колумбия. В течение остальных циклов рассматриваемая территория находилась в составе более крупных континентальных фрагментов, не участвуя непосредственно в создании и распаде суперконтинентов, испытывая внутриплитный режим под влиянием тектоники мантийных плюмов.

Ключевые слова: суперконтинент; суперконтинентальный цикл; внутриплитный режим; магматизм; рифтогенез; мантийный плюм

Для цитирования: Божко Н. А. Геодинамическая эволюция восточной части Балтийского щита в рамках суперконтинентальной цикличности // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 6. С. 5–16. doi: 10.17076/geo1887

N. A. Bozhko. GEODYNAMIC EVOLUTION OF THE EASTERN PART OF THE BALTIC SHIELD AGAINST THE BACKGROUND OF SUPERCONTINENTAL CYCLICITY

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology (1 Leninskiye Gory, 119991 Moscow, Russia)

An analysis of the geodynamics of the eastern part of the Baltic shield in the last 3 billion years of its history, set against the background of supercontinental cyclicality, showed the territory was fully involved in two supercontinental cycles associated with the development of the Kenorland and Columbia supercontinents. During the rest of the cycles, the territory was part of larger continental fragments and was not directly involved in the creation and disintegration of supercontinents, experiencing an intraplate regime under the impact of mantle plume tectonics.

Keywords: Supercontinent; supercontinental cycle; intraplate regime; magmatism; rifting; mantle plume

For citation: Bozhko N. A. Geodynamic evolution of the Eastern part of the Baltic shield against the background of supercontinental cyclicality. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2024. No. 6. P. 5–16. doi: 10.17076/geo1887

Введение

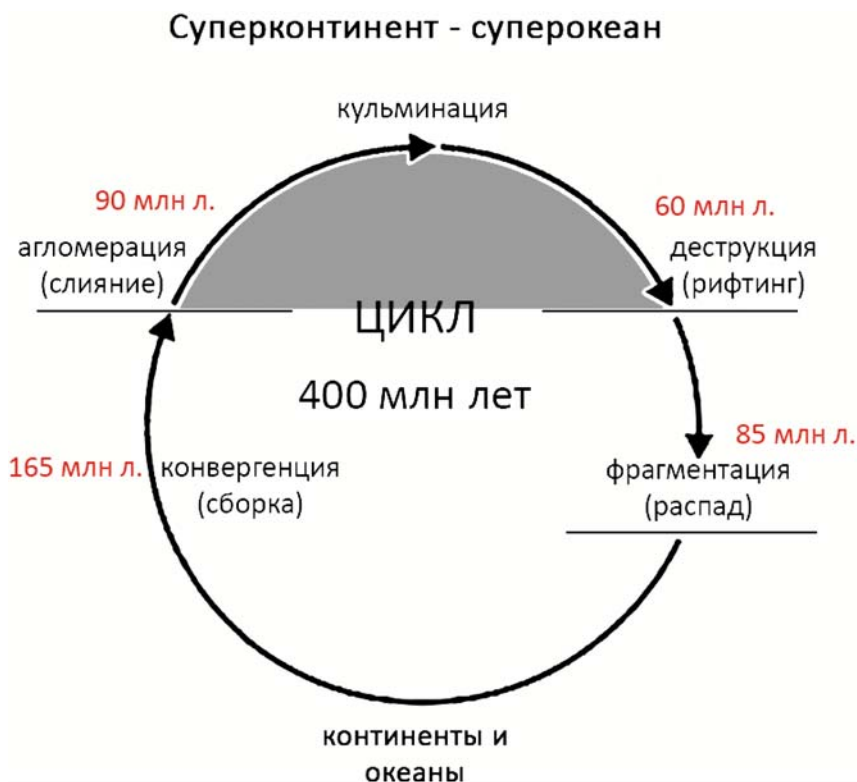
Настоящее исследование посвящено анализу почти трехмиллиардной истории восточной части Балтийского (Фенноскандинавского) щита в ходе глобальной суперконтинентальной цикличности.

Современное состояние геотектоники характеризуется признанием того, что в истории Земли было несколько суперконтинентов и что Пангея является лишь самым молодым из них. Это привело к обособлению нового самостоятельного направления в геологии, изучающего древние суперконтиненты и содержащего обширный круг специфических проблем. При этом под термином «суперконтинентальный цикл» (СЦ) понимается круговорот процессов в литосфере, вначале приводящих к объединению всех существовавших на Земле разобщенных континентальных масс в единый суперконтинент, его последующей фрагментации и распаду, а на заключительной стадии – к сборке нового суперконтинента. Последовательность СЦ составляет суперконтинентальную цикличность.

В структуре любого СЦ предполагается существование двух стадий, отражающих два

состояния литосферы: *собственно суперконтинентальной* (один континент – один океан) и *межсуперконтинентальной* (несколько континентов и несколько океанов) [Божко, 2009] (рис.). Каждая из этих стадий состоит из двух фаз. В рамках первой стадии различаются фаза агломерации, или слияния (слипания) континентальных фрагментов в новообразованном суперконтиненте и фаза его деструкции в виде проявлений континентального рифтогенеза, намечающих будущий распад. Первая фаза (фрагментации) второй стадии СЦ, соответствующая распаду, характеризуется быстрым спредингом в раскрывшихся океанах, а вторая фаза (конвергенции) – активными процессами субдукций и коллизий, приводящими к закрытию океанов, формированию коллизионных орогенов и сборке нового суперконтинента.

В настоящее время отсутствует общепринятая оценка длительности СЦ. В нашем анализе используется цикличность с продолжительностью СЦ в 400 млн лет (рис.) [Божко, 2009] с фазами агломерации (90 млн лет), деструкции (60 млн лет), фрагментации (85 млн лет) и конвергенции (165 млн лет). Исходя из этой схемы и на основании имеющихся геолого-геохронологических данных в последние 3 млрд лет



Структура суперконтинентального цикла
The structure of the supercontinent cycle

истории Земли можно выделить семь СЦ и, соответственно, такое же число суперконтинентов. При этом важно выявить влияние СЦ на ход геодинамических и других процессов в конкретном регионе на основе имеющихся геолого-геохронологических данных.

В этом плане территория Балтийского щита представляется подходящей для такого анализа, учитывая богатый докембрийский материал, содержащийся в ней, и то обстоятельство, что все суперконтиненты на Земле, за исключением Пангеи, существовали в докембрии. Балтийский щит характеризуется длительным изучением, включая работы зарубежных и отечественных классиков геологии докембрия, а также выдающиеся последующие и современные исследования. На основании этих весьма многочисленных работ в восточной части Балтийского щита с СВ на ЮЗ в основном выделяются четыре крупные тектонические единицы: Кольский архейский кратон, Лапландско-Беломорский архейско-палеопротерозойский гранулитогнейсовый пояс, Карельский архейский кратон и Свекофеннский раннепротерозойский орогенический пояс.

Ниже рассмотрены особенности геодинамики восточной части Балтийского щита в циклах различных суперконтинентов.

Суперконтинент Ваалбара (~3120–2970 млн лет) и СЦ (~3120–2720 млн лет). Под таким названием Т. Зегерсом был выделен суперконтинент, образованный в интервале 3,3–3,1 млрд лет, объединявший ныне разобщенные кратоны Пилбара и Каапвааль, представляющие древнейшие мезоархейские гранит-зеленокаменные области (ГЗО). Предполагаемые границы и этого суперконтинента и СЦ даны согласно вышеуказанной схеме цикличности. Сравнительный анализ показывает, что в ряде неоархейских кратонов обнаруживаются древнейшие палео-мезоархейские сегменты (протократоны), окруженные неоархейскими образованиями, которые могут рассматриваться как «ядра» консолидации, фрагменты более обширной Ваалбары, такие как блоки Токве в кратоне Зимбабве, Антон в кратоне Слейв и другие. В этом плане интерес представляет Водлозерский блок в юго-восточной части Карельского кратона [Лобач-Жученко и др., 1989 и др.]. Он выделяется как область развития древнейших на Балтийском щите пород, представленных образованиями тоналит-трондьемит-гранодиоритовой (ТТГ) ассоциации с возрастом более 3,0 млрд лет, и по своему тектоническому строению в этом отношении сходен с другими протократонами, упомянутыми выше.

Распад Ваалбары отмечен в геологической летописи важным событием – заложением и развитием позднеархейской генерации зеленокаменных поясов, эволюция которых привела к созданию многочисленных гранит-зеленокаменных областей (ГЗО) – архейских кратонов.

Для формирования фундамента Карельского кратона используется аккреционно-коллизийная геодинамическая модель присоединения молодых террейнов к древним континентальным ядрам зеленокаменных поясов [Кожеников, 2000]. В отличие от Водлозерского блока – ядра мезоархейской консолидации основная часть Центральной Карелии образовалась путем аккреции – последовательного приращения серии позднеархейских островных дуг с востока на запад. Аккреция террейнов около 2,83–2,75 млрд лет сменилась коллизией, когда была сформирована современная структура Карельского кратона.

Формирование Кольского кратона [Митрофанов, 2009] в составе Мурманского блока, зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья и Кольско-Норвежского домена завершилось на рубеже в 2,74 млрд лет и фиксируется внедрением интрузий габбро-гранитного Колмозерского комплекса [Петровский и др., 2010].

На основании обобщения данных [Ранний..., 2005; Слабунов и др., 2006; Слабунов, 2008, 2019 и др.] можно предположить следующую геодинамическую модель. К рубежу около 2,75 млрд лет сформировались два стабильных блока континентальной коры – Кольский и Карельский, которые были разделены Беломорским океаническим бассейном. Начиная примерно с 2,72 млрд лет эта система вступила в коллизийную стадию развития, которая маркируется проявлениями покровной тектоники, высокобарического метаморфизма, гранитообразованием и в результате – образованием Беломорского коллизийного пояса. Коллизия Карельского и Кольско-Мурманского блоков (супертеррейнов) датируется периодом 2,71–2,68 млрд лет [Слабунов, 2019]. В структурном отношении она выразилась в создании архейского Карельского – Беломорско-Кольского палеоконтинентального сегмента. В пользу такой трактовки истории развития Беломорского пояса может свидетельствовать и присутствие здесь архейских эклогитов [Володичев и др., 2004], которые, по-видимому, отражают субдукцию и закрытие океанического бассейна, за которым последовала коллизия, образование Беломорского пояса и создание единого континентального образования, вошедшего в состав суперконтинента Кенорленд. В его формировании, таким образом, выделяются все

фазы суперконтинентального цикла: существование древнего суперконтинента, его распад и сборка нового.

Суперконтинент Кенорленд (~2720–2570 млн лет) и СЦ (~2720–2320 млн лет). Позднеархейский суперконтинент с возрастом около 2,7 млрд лет был выделен под названием Пангея 0 [Хаин, Божко, 1988]. Х. Вильямс с соавторами в 1991 г. [Williams et al., 1991] предложили термин «Кенорленд» для неоархейского суперконтинента, который ныне широко используется в геологической литературе [напр., Лубнина, Слабунов, 2011].

Структура восточной части Балтийского щита в составе суперконтинента Кенорленд аналогична структуре кратона Калахари в Южной Африке, состоящего из кратонов Каапвааль и Зимбабве, разделенных гранулитовым поясом Лимпопо, или Северо-Китайского кратона с двумя блоками, разделенными Транссеверокитайским поясом. Это время отмечено проявлением внутриплитного магматизма и тектоники. В пределах Карельской провинции выделены базит-ультрабазитовые комплексы интервала 2,74–2,60 млн лет в виде многофазных санукитоидов, коматиитов, базальтов, а также интрузий и даек базитов [Арестова и др., 2019].

Распад Кенорленда и образование молодых океанов охватили в основном территории современных Южной Австралии, Антарктиды, Индии, Северного Китая. Их закрытие привело к проявлению коллизий и орогений и формированию суперконтинента Ятулия [Божко, 2009]. В кратонах этих континентов отмечаются процессы магматизма, деформаций и метаморфизма в интервале 2,56–2,42 млрд лет [Barley et al., 2005].

В Евразии тектонические процессы времени распада и формирования нового суперконтинента проявлялись преимущественно в виде внутриплитных тектоно-термальных событий. Это относится и к территории Балтийского щита, где отмечается отсутствие корообразующих процессов, синхронных означенным выше, и проявление плюмовых тектоники и магматизма. Этой эпохе по времени здесь в значительной степени соответствует сумийско-сариолийский этап развития (2,55–2,30 млрд лет), проходивший во внутриплитной обстановке. Интрузивный магматизм сумийско-сариолийского этапа носит типичный кратонный характер и уникален образованием расслоенных ультрамафит-мафитовых плутонов.

Базиты палеопротерозойского этапа (2,45–2,41 млрд лет) в Карельской провинции представлены крупными расслоенными интрузиями: Бураковской, интрузиями Олангской группы,

коматиитами Ветреного пояса, а также сумийскими базальтами и дайками во всех доменах провинции [Арестова и др., 2019]. Внедрение этих магматитов происходило в виде поясов, приуроченных к рифтам северо-восточного простирания: Кеми-Койлиσμα (Финляндия) – Кивакка – Кундозеро (С Карелия) и Бураковско-Монастырскому (ЮВ Карелия).

Дайки базитов с возрастом около 2,5–2,4 млрд лет установлены в Кольско-Мурманской и Карельской провинциях [Степанова и др., 2019], соответствуя по времени деструкции суперконтинента.

Магматизм этого времени хорошо развит в пределах Беломорского пояса в виде большого числа средних и мелких тел базитов, ультрабазитов, габбро-анортозитов (друзитов) и в меньшей степени – диоритов, гранодиоритов и гранитов, которые секут метаморфизованные и деформированные породы беломорского комплекса и с которыми связано проявление высокотемпературного метаморфизма селецкого цикла в интервале 2,40–2,43 млрд лет, проходившего в анорогенных условиях. В породах беломорской эклогитовой провинции Балтийского щита установлено проявление палеопротерозойского высокотемпературного гранулитового метаморфизма с возрастом ~ 2,45 млрд лет [Докукина и др., 2019], который в отличие от высокобарического указывает на внутриплитный характер процесса.

Суперконтинент Ятулия (~2320–2170 млн лет) и СЦ (~2320–1800 млн лет).

В списке «общепринятых» суперконтинентов за Кенорлендом следует Колумбия. Однако ранее [Божко, 2009] автор выделил между ними в разработанной им суперконтинентальной цикличности суперконтинент Ятулия (~2320 млн лет) на основании анализа тектонических событий, произошедших после распада неоархейского суперконтинента Кенорленд.

Эпоха существования суперконтинента Ятулия приблизительно соответствует подразделению Ятулий (2,3–2,1 млрд лет) местной шкалы. Ему соответствовало суперплюмовое событие около 2,25 млрд лет, сопровождавшееся излиянием траппов, формированием дайковых комплексов и рифтовых систем [Cadman et al., 1993]. В это время территория Карельского кратона представляла собой эпиконтинентальный мелководный бассейн, в пределах которого накапливались терригенные осадки и происходило периодическое излияние трапповых базальтов. Трещинные излияния лав в ятулийское время охватили огромную территорию в пределах Балтийского щита и образовали обширное

лавовое плато. Образование суперконтинента и последующее тектоническое затишье привели к потере архейского метана, оледенениям и кислородному составу атмосферы. В интервале 2,40–2,22 млрд лет кратоны Сьюпириор, Карельский и Калахари испытали три последовательных оледенения. К этому времени относится накопление протоплатформенных чехлов в виде эпиконтинентальных отложений группы Претория (2350–2050 млн лет) супергруппы Трансвааль, групп Пиривири (>2,15 млрд лет) и Чиванда (>2,16 млрд лет) Африки; групп Тури Крик (2,4–2,2 млрд лет) и Вилу (2,2 млрд лет) во впадине Хамерсли Австралии; группы Гурон (2,4–2,2 млрд лет) и пород впадин оз. Верхнее Северной Америки; группы Парасикаба супергруппы Минас Бразилии; Удоканской серии Алданского щита.

В восточной части Балтийского щита по времени им соответствуют образования Ятулия (2,3–2,1 млрд лет) [Ранний..., 2005]. Палеопротерозойские ятулийские вулканические породы возрастом 2,22–2,06 млрд лет широко распространены в пределах всего Фенноскандинавского щита и наиболее полно представлены на территории Карелии. Трещинные излияния лав в ятулийское время охватили огромную территорию и образовали обширное лавовое плато. По геологическим и геохимическим характеристикам ятулийские вулканы сопоставимы с фанерозойскими континентальными платобазальтами. К этому времени относится становление дайковых комплексов Финляндии с возрастом 2200 млн лет, продолжение формирования рифтогенной структуры Печенга-Имандра-Варзуга (2,3–1,97 млрд лет).

В Людиковии (2,1–1,92 млрд лет) обстановка обширной платформы изменяется. Распространение магматизма характеризуется отчетливой приуроченностью к зонам глубинных разломов, а особенности продуктов магматизма указывают на внутриконтинентальный рифтогенный режим этого периода. Переход к Людиковию отмечен появлением интенсивного пикритового вулканизма в Онежской структуре, синхронного с таковым в Печенгской структуре Кольского полуострова, что рассматривалось как признак раскрытия океана. По своему содержанию это время соответствует фазе деструкции суперконтинентального цикла. Пространственно сближенные вулканы центрального типа, образующие линейные зоны, мелководный характер бассейнов осадконакопления и геохимические особенности продуктов магматизма указывают на внутриконтинентальный рифтогенный режим этого периода.

Людиковийское время на территории Онежской впадины завершилось всплеском суйсарского базит-гипербазитового вулканоплутонизма, образовавшим мощные толщи лавовых потоков, покровов и субвулканических тел от пикрит-базальтового до плагиобазальтового составов и подавившим терригенное осадконакопление.

На людиковийское время приходится важнейшее событие в регионе – раскрытие Свекофеннского (Людиковийского) океана.

Распад суперконтинента Ятулия на Балтийском щите отражен в раскрытии Лапландско-Кольского и Свекофеннского океанов [Ранний..., 2005]

Образование океанического бассейна на месте будущего Лапландско-Кольского коллизионного орогена начинается около 2.0 Ga с раскола древней континентальной коры и формирования относительно неширокого океана красноморского типа, о чем свидетельствуют палеомагнитные и изотопные данные [Daly et al., 2006].

Формированию Свекофеннского аккреционного орогена также предшествовало образование океана в период 2,0–1,95 млрд лет, о чем свидетельствуют офиолиты Йормуа с возрастом 1,97 млрд лет. Их существование указывает на то, что длительный этап глобального рифтогенеза привел на рубеже 1,97–1,96 млрд лет к раскрытию Людиковийского океана. После его раскрытия примыкающая к краю Карельского кратона (Саво-Ладожская зона) в калевийское время (1,920–1,800 млн лет) территория перешла в тектонический режим пассивной окраины и формирования ритмичных турбидитных осадков с участием привносимой пирокластики из размывающихся людиковийских образований. Этому времени во внутриконтинентальных структурах соответствуют проявления мощного весьма специфического пикритового вулканизма и образование дайковых роев.

Формирование Балтийского щита как фрагмента суперконтинента Колумбии происходило, таким образом, в две стадии с образованием Лапландско-Кольского коллизионного и Свекофеннского аккреционного орогенов [Балаганский и др., 2016].

Лапландско-Кольский ороген является структурой второго порядка по отношению к архейско-протерозойскому Лапландско-Беломорскому гранулитогнейсовому поясу [Божко и др., 2021]. Он представляет собой типичный коллизионный пояс дивергентного покровного строения. Эволюция пояса завершилась субдукцией, сопровождавшейся образованием эклогитов [Щукина и др., 2015] и коллизией Кольского и Карельско-Беломорского

эпиархейских континентальных блоков в конце раннего протерозоя, в интервале 1,93–1,9 млрд лет [Daly et al., 2006] с пиком 1,90–1,91 млрд лет [Balagansky et al., 2014], что привело к формированию современной структуры докембрийских образований региона. Эти события сопровождались гранулитовым метаморфизмом и формированием зон пластического сдвигового течения субширотного и северо-западного простирания. Коллизионные высокобарические гранулиты Лапландско-Колвицкого гранулитового пояса были сформированы в интервале 1900–1910 млн лет при T 850 °C и P 11–12 кбар [Balagansky et al., 2014]. В свою очередь, палеопротерозойские коллизионные события Лапландско-Кольского орогена проявились в Беломорском поясе в виде тектоно-термальной переработки его пород, включающей наложенные деформации, магматизм, метаморфизм, изотопное омоложение пород.

Одновременно с окончанием коллизии в Лапландско-Кольском орогене на юго-западной окраине Карельского кратона начались главные свекофеннские аккреционные события в виде причленения островодужных террейнов к краю Карельского кратона. Этот процесс закончился Свекофеннской орогией 1,83–1,80 млрд лет тому назад [Ранний..., 2005].

На свекофеннском этапе деформаций территория Балтийского щита подверглась интенсивным складчато-разрывным деформациям. Проявления деформаций в центральной части Балтийского щита, вызвавших значительную перестройку сформированных структур (в том числе Онежской впадины), и определили характер рисунка их современной тектонической структуры.

Периоду завершения коллизионных процессов в Лапландско-Кольском орогене и началу аккреционных процессов в Свекофеннском поясе отвечает формирование крупной магматической провинции (КМП) в пределах Кольского и Карельского блоков Восточной Фенноскандии на уровне 1980 млн лет, представленной комплексами толеитовых базальтов, пикритов, дифференцированных габбро-анортозит-сиенитовых интрузий, щелочных интрузий и кимберлитов [Самсонов и др., 2019]. Проявление такого масштабного внутриплитного магматизма во фрагменте континентальной коры, окруженном орогеническими поясами, требует самостоятельного рассмотрения. Возможно, оно вызвано действием неглубоких мантийных плюмов, возникающих во время субдукции при движении литосферного слэба вдоль границы нижней и верхней мантии.

После раскрытия Свекофеннского (Людикийского) океана в калевийское время территория, примыкающая к краю Карельского кратона, перешла в режим пассивной окраины и формирования толщи ритмичных турбидитных осадков с участием привносимой пирокластике и размывающихся людикийских образований. В северо-восточной части Балтийского щита свекофеннский этап характеризовался рифтогенным тектоническим режимом.

Завершение указанных выше и синхронных с ними орогений на всех материках спаяло разрозненные фрагменты континентальной коры в интервале 2,1–1,8 млрд лет в суперконтинент Колумбия. Как видим, в процессе его создания проявились все фазы суперконтинентального цикла.

Суперконтинент Колумбия (~1920–1770 млн лет) и СЦ (~1920–1520 млн лет).

Суперконтинент конца раннего протерозоя под названием Пангея 1 был выделен [Хаин, Божко, 1988] на основе геохронологических и геологических данных того времени. Существование суперконтинента, созданного в период 2,0–1,8 млрд лет, предполагалось рядом исследователей. Роджерс и Сантош в 2002 г. назвали этот суперконтинент «Колумбия» по наименованию реки Колумбия на западе Северной Америки. Его существование отмечено распространением петрологически идентичных и разновозрастных пород на расстояние тысяч км через границы ныне существующих континентов. На всех кратонах отмечено распространение протоплатформенных чехлов, которые с угловым несогласием перекрывают разновозрастные подстилающие комплексы в условиях нового суперконтинента Колумбия: Рорайма (1,95–1,88 млрд лет), Атабаска (1,76 млрд лет), Умкондо (1,9–1,5 млрд лет) и другие. В это время на Балтийском щите накапливаются отложения Вепсия (1,8–1,7 млрд лет) [Ранний ..., 2005].

Суперконтинентальная эпоха Колумбии отмечена внедрением анорогенных интрузий и комагматичных кислых субаэральных вулкаников: лополита Седбери (1,85 млрд лет), Кодар (1,9 млрд лет), Бушвельдского комплекса (2,09–1,92 млрд лет), рапакиви Наберру (1,76 млрд лет), вулкаников Уатума (1,85 млрд лет) и др.

После завершения формирования людикийских и, возможно, части калевийских образований территория Онежской впадины претерпела структурную перестройку и деформации, проявление которых определило трансгрессивный характер залегания вышележащих толщ вепсия (1800–1650 млн лет), которые с угловым несогласием перекрывают разновозрастные подстилающие комплексы.

Постсвекофенским событиям в пределах Карельского кратона отвечает по времени формирование Западно-Онежского комплекса, представленного лавовыми потоками (базальты Кайлахта) и пластовым интрузивом габбродолеритов (Ропручейский силл), а также кимберлитами Кимозеро. Вепсийское событие силлообразования с возрастом 1770 млн лет в Южно-Онежской мульде последовало после накопления в континентальных стабильных условиях отложений сероцветной толщи петрозаводской свиты с маломощными лавами основного состава и корами выветривания в кровле потоков, а также красноцветных кварцито-песчаников шокшинской свиты вепсия, полого залегающих с угловым несогласием на деформированных породах более древних горизонтов.

Фрагментация Колумбии сопровождалась более значительным дроблением южной полушария. В пределах Восточной Гондваны (Индия, Антарктида, Австралия) возник ряд микроконтинентов, в то время как Лавразия, по видимому, представляла собой обособленный когерентный блок, окаймленный океанами, в районе Гренвильской провинции Канады, юго-запада США и Прибалтики.

Распад Колумбии, соответствующий приблизительно интервалу 1770–1685 млн лет, отмечен широким проявлением анорогенного магматизма на площади суперконтинента и рифтогенезом на его окраинах. Он не проявился в прямой форме на территории восточной части Балтийского щита, которая продолжала развиваться во внутриплитном режиме. По времени ему отвечает формирование Западно-Онежского комплекса, представленного лавовыми потоками (базальты Кайлахта) и Ропручейским силлом габбродолеритов (1770 млн лет). Конвергентная фаза данного СЦ проявлена орогеническими событиями в раскрывшихся после распада Колумбии океанических бассейнах, значительное число которых было сосредоточено в южной полушарии Земли. В ЮЗ части Балтийского щита она выражена последовательностью коробразующих событий в интервале 1,7–1,55 млн лет (готская орогения), включающих аккрецию островных дуг на фоне обращенной к западу субдукции [Mansfeld, Andersen, 1999; Connolly, 2001]. Эта и синхронные орогении в других частях света привели к объединению почти всех континентальных фрагментов в новый суперконтинент Готия к рубежу около 1500 млн лет.

В восточной части Балтийского щита, находившегося в составе континентального фрагмента, они не нашли прямого отражения, здесь продолжался внутриплитный режим. Эта эпоха

примечательна широким проявлением анорогенного магматизма в интервале 1,4–1,5 млрд лет в виде субаэральных вулканитов, анортозитов, гранитов-рапакиви. Раннемезопротерозойские магматические породы широко распространены в Северном и Восточном Приладожье. Здесь они представлены потоками Салминских ферробазальтов, габбромонцитонитовыми Валаамским и Мантсинсаарским силлами, интрузией Хопунваара и дайками двух генераций.

Суперконтинент Готия (1520–1370 млн лет) и СЦ (1520–1120 млн лет) был выделен [Божко, 2009], как указывалось, в результате анализа коллизионных событий, предшествующих этому рубежу, в раскрывшихся после распада Колумбии океанических бассейнах; значительное их число было сосредоточено в южной полушарии Земли: Восточной Австралии, Антарктиде, Индостане, Африке, Южной Америке, а также Скандинавии в северо-восточной Лаврентии. Современные данные подтверждают правомочность выделения суперконтинента. Так, Л. Песонен с соавторами [Pesonen et al., 2012] представили палеомагнитную реконструкцию суперконтинента на уровне 1,53 млрд лет.

Время существования мезопротерозойского суперконтинента Готия отвечает в основном раннему рифею отечественной шкалы и характеризуется преобладанием поднятий. Протоплатформенные чехлы Готии имели ограниченное распространение. В Евразии они представлены карбонатно-терригенными олигомиктовыми толщами, генетически тесно связанными с корами выветривания и формировавшимися в плоских изолированных впадинах, наложенных на древние образования. Более значительное осадконакопление имело место в это время в Индостане, Австралии, Южной Америке.

Распад Готии отразился в формировании пассивной окраины на северо-востоке Балтики, впоследствии вовлеченной в тиманский орогenez, и связанной с ней палеорифтовой системы Белого моря около 1,2 млрд лет назад. Эта система образована узкими линейными прогибами, впадинами северо-западного простирания в древнем гранитогнейсовом кристаллическом фундаменте, которые заполнялись терригенными отложениями, турбидитами среднего и верхнего рифея. Онежско-Кандалакшский палеорифт своим северо-западным концом раскалывает восточную часть Балтийского щита, а Баренцевоморский (Мезенский) обрамляет последний с севера и северо-востока.

Конвергентная фаза цикла связана со сборкой суперконтинента Родиния. В его формировании принимали участие орогении в интервале между 1300 и 900 млн лет [Li et al., 2008].

К ним относится фаза Свеконорвежской орогении на юго-западе Балтийского щита в интервале 1,14–0,96 млрд лет [Bogdanova et al., 2008]. Со сборкой Родинии (1285–1120 млн лет) совпадает внедрение кимберлитов и лампроитов Кухмо-Лентира-Костомукша Карелии (1230 млн лет) [Божко, Прусакова, 2014].

Суперконтинент Родиния (1120–970 млн лет) и СЦ (1120 – ~650 млн лет). В большинстве реконструкций Родинии западная часть щита помещается совместно с Лаврентией, Гренландией и Амазонией [Buchan et al., 2001]. В восточной части Балтийского щита, не затронутой орогеническими процессами, имело место развитие рифтогенеза и плюмового магматизма. Вдоль пассивной окраины продолжают развиваться рифтовые зоны Беломорской рифтовой системы. В неопротерозое (позднем рифее) рифтовые впадины палеорифтовой системы Белого моря продолжали углубляться. В них откладывались терригенные отложения верхнего рифея. На рубеже рифея и венда в Онежско-Кандалакшском палеорифте проявился вулканизм толеитовой серии. Позднерифейский импульс растяжения тиманской окраины Балтики связан с распадом Родинии и раскрытием палеоокеана Япетус [Балуев, 2013].

Начало конвергентной стадии рассматриваемого цикла отмечено континентальными коллизиями. Главнейшие из них происходили в Южном полушарии, что привело к образованию мегаконтинента Гондвана. По-видимому, Балтика была относительно монолитным приподнятым фрагментом после распада Родинии.

Этому времени соответствуют кимберлиты (759–756 млн лет) поля Куусамо, расположенного в Восточной Финляндии близ границы с Россией [Божко, Прусакова, 2014].

В результате слияния евразийских осколков Родинии между собой и с новообразованной Гондваной образовался суперконтинент Паннотия.

Суперконтинент Паннотия (~650–570 млн лет) и СЦ (~650–320 млн лет). Неопротерозойский суперконтинент, о существовании которого предполагали многие исследователи, был выделен в 1995 г. С. Пауэллом. Паннотия располагалась целиком в Южном полушарии, что обусловило этимологию этого названия («пан» – все и «нотиус» – южный).

Существованию Паннотии соответствует глобальное развитие оледенений в интервале 750–580 млн лет. В пределах раннедокембрийских платформ лавразийского ряда завершили развитие древние континентальные рифтовые системы (авлакогены), сформированные в позднем рифее в связи с раскрытием палеоокеанов.

Как указывалось выше, время распада Паннотии принимается на уровне около 570 млн лет. Распад ее привел к обособлению Гондваны, которая в раннем палеозое сохраняла свою цельность и стабильность, тогда как в пределах Лавразии шло активное океанообразование (океаны Япетус, Палеоазиатский, Прототетис). Новообразованные океаны замкнулись в основном в результате каледонских и герцинских орогений. На северо-востоке Восточно-Европейского кратона, по-видимому, произошел переход пассивной окраины в активную и формирование кадомско-тиманского орогена в интервале около 600–550 млн лет [Пучков, 2008].

К рубежу 320 млн лет коллизия новообразованной Лавразии и Гондваны привела к возникновению Пангеи. Восточная часть Балтийского щита не была затронута орогеническими процессами. Это время отвечает проявлению в ее пределах палеозойской тектоно-магматической активизации, которая выразилась в поднятии, рифтогенезе и плюмовом платформенном магматизме. Раннепалеозойские интрузии щелочных гранитов отмечены на Кольском полуострове (хребет Кейвы). В среднем и позднем палеозое образовались Хибинский и Ловозерский интрузивные щелочные массивы в центральной части полуострова. Оба массива в основном выражены нефелиновыми сиенитами. В среднем-позднем девоне произошла регенерация заложенных в рифее рифтовых зон и развитие внутриплитного магматизма. В юго-восточной погребенной части палеорифтовой системы Белого моря (Зимнебережный район) и на ее поднятых блоках фундамента формируются известные поля кимберлитовых и базальтовых трубок с сопутствующими им дайками щелочного состава. Сборке Пангеи (485–320 млн лет) по времени соответствует внедрение трубки Гриба в Архангельской провинции (372 млн лет) и кимберлитов Терского берега Кольского полуострова (375–372 млн лет) [Арзамасцев и др., 2001; Божко, Прусакова, 2014].

Суперконтинент Пангея (320–170 млн лет) и СЦ (320–? млн лет). Формирование Пангеи произошло 320 млн лет назад в среднем карбоне в результате объединения крупных палеоматериков Гондваны и Лавразии. Окончательная же сборка и кульминация слитности суперконтинента завершилась на границе верхнего и среднего триаса (230 млн лет).

Последующие мезо-кайнозойские события, такие как распад Пангеи в геологической истории рассматриваемой территории, уже не нашли значительного отражения. Это время характеризуется достаточно спокойным режимом без существенных проявлений

внутриплитной тектоники и магматизма. Импульсы высокой тектонической активности имели место в неогене и плиоцене, выражаясь в вертикальном перемещении блоков вдоль новых и обновленных древних разломов. В течение всего мезозоя на Балтийском щите господствовали континентальные условия.

Неоген-четвертичная активизация тектонических движений особенно сильно проявилась на территории Беломорья, выразившись в образовании системы разломов северо-западного простирания, проявлением вдоль них многочисленных очагов землетрясений, и в частности, вдоль Кандалакшского рифта.

Современный (позднекайнозойский) план – образование современных тектонических впадин Белого моря, наследующих рифейские рифты, связывается с раскрытием Североатлантического и Арктического океанов [Балуев, 2013].

Заключение

Тектоническая эволюция восточной части Балтийского щита в последние 3 млрд лет отражает последовательность суперконтинентальных циклов в ее истории. Эта территория испытала лишь два полных суперконтинентальных цикла с проявлением всех его фаз. Эти циклы связаны с формированием суперконтинентов Кенорленд и Колумбия.

Рассматриваемая территория в других суперконтинентальных циклах входила в состав крупных континентальных фрагментов, непосредственно не затронутых распадом и сборкой суперконтинентов, развивалась во внутриплитном режиме, испытывая тектоно-термальную активизацию под воздействием тектоники мантийных плюмов. Эти процессы выражались в проявлениях внутриплитного магматизма, высокотемпературного метаморфизма, континентального рифтогенеза, деформациях.

Вместе с тем отмечается еще плохо изученный контроль развития внутриплитной тектоники и магматизма восточной части Балтийского щита фазами суперконтинентальных циклов. Так, общему распаду и сборке суперконтинентов в сегментах, непосредственно не затронутых этими процессами, соответствует усиление проявлений внутриконтинентального рифтогенеза и связанного с ним магматизма.

Интенсивность процессов тектоно-магматической активизации определялась также степенью удаленности территории от развивающихся орогенов соответствующих циклов. Краевые части территории на границе с ними вовлекались в рифтогенез.

Литература

Арестова Н. А., Чекулаев В. П., Егорова Ю. С., Кучеровский Г. А. Эволюция состава и источников основных и ультраосновных пород при переходе от неогархея к палеопротерозою в Карельской провинции, Балтийский щит // Этапы формирования и развития протерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика: Материалы VI Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия (Санкт-Петербург, 22–24 октября 2019 г.). СПб.: Свое издательство, 2019. С. 23–25.

Арзамасцев А. А., Беа Ф., Глазнев В. Н., Арзамасцева Л. В., Монтеро П. Кольская щелочная провинция в палеозое: оценка состава первичных мантийных расплавов и условий магмогенерации // Российский журнал наук о Земле. 2001. Т. 3, № 1. С. 1–35.

Балаганский В. В., Горбунов И. А., Мудрук С. В. Палеопротерозойские Лапландско-Кольский и Свекофеннский орогены (Балтийский щит) // Вестник Кольского научного центра РАН. 1916. № 3(26). С. 5–11.

Балуев А. С. Континентальный рифтогенез севера Восточно-Европейской платформы в неогее: геология, история развития, сравнительный анализ: Дис. ... докт. геол.-мин. наук. М., 2013.

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

Божко Н. А., Прусакова Н. А. О перспективах коренной алмазоносности Карельского кратона // Руды и металлы. 2014. № 4. С. 5–13.

Божко Н. А., Прусакова Н. А., Громцев К. В. Особенности тектонического строения Лапландско-Беломорского гранулитогнейсового пояса и перспективы его коренной алмазоносности // Отечественная геология. 2021. № 6. С. 45–64. doi: 10.47765/0869-7175-2021-10031

Володичев О. И., Слабунов А. И., Бибикина Е. В., Конилов А. Н., Кузенко Т. И. Архейские эклогиты Беломорского подвижного пояса (Балтийский щит) // Петрология. 2004. Т. 12, № 6. С. 609–631.

Докукина К. А., Конилов А. Н., Ван К. В., Баянова Т. Б., Шешуков В. С., Хубанов В. Б., Голованова Т. И. Палеопротерозойский гранулитовый метаморфизм с возрастом ~ 2.45 млрд лет в породах Беломорской эклогитовой провинции Фенноскандинавского щита, Россия // Этапы формирования и развития протерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика: Материалы VI Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия (Санкт-Петербург, 22–24 октября 2019 г.). СПб.: Свое издательство, 2019. С. 68–70.

Кожевников В. И. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 223 с.

Лобач-Жученко С. Б., Сергеев С. А., Левченков Г. М., Овчинникова Г. В., Котова Л. Н., Крылов И. Н., Яковлева С. З. Водлозерский гнейсовый комплекс раннего архея и его структурно-

метаморфическая эволюция // Изотопная геохронология докембрия. Л.: Наука, 1989. С. 14–45.

Лубнина Н. В., Слабунов А. И. Реконструкция неорархейского суперконтинента Кенорленд по палеомагнитным и геологическим данным // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2011. № 4. С. 23–30.

Митрофанов Ф. П. Раннедокембрийская геодинамика, магматизм и металлогения Кольской провинции // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 4. С. 567–570.

Петровский М. Н., Петровская Л. С., Баянова Т. Б. Эволюция магматизма в геологической истории мурманского неорархейского кратона // Магматизм и метаморфизм в истории Земли: XI Всероссийское петрографическое совещание: Тезисы докладов. Т. 2. Екатеринбург, 2010. С. 130–131.

Пучков В. Н. Тектоника и геодинамика тиманид // Структурно-вещественные комплексы и проблемы геодинамики докембрия фанерозойских орогенов: Мат-лы междунар. науч. конф. (III чтения памяти С. Н. Иванова). Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2008. С. 104–109.

Ранний докембрий Балтийского щита / Под ред. В. А. Глебовицкого. СПб.: Наука, 2005. С. 711.

Самсонов А. В., Степанова А. В., Арзамасцев А. А., Сальникова Е. Б., Ларионова Ю. О., Ларионов А. И., Егорова С. В. Крупная магматическая провинция Восточной Фенноскандии: парагенетическое разнообразие в геодинамическом единстве // Этапы формирования и развития протерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика: Материалы VI Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия (Санкт-Петербург, 22–24 октября 2019 г.). СПб.: Свое издательство, 2019. С. 198–200.

Слабунов А. И. Архейские и палеопротерозойские орогены: сравнительный анализ геодинамических процессов при их формировании (на примере Фенноскандинавского щита) // Этапы формирования и развития протерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика: Материалы VI Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия (Санкт-Петербург, 22–24 октября 2019 г.). СПб.: Свое издательство, 2019. С. 210–212.

Слабунов А. И. Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита). Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2008. 294 с.

Слабунов А. И., Лобач-Жученко С. Б., Бибикова Е. В., Балаганский В. В., Сорьонен-Вард П., Володичев О. И., Щипанский А. А., Светов С. А., Чекулаев В. П., Арестова Н. А., Степанов В. С. Архей Балтийского щита: геология, геохронология, геодинамические обстановки // Геотектоника. 2006. № 6. С. 1–29.

Степанова А. В., Самсонов А. В., Сальникова Е. Б., Арзамасцев А. А., Егорова С. В., Веселовский Р. В., Ларионова Ю. О., Ерофеева К. Г., Стафеева М. В. Палеопротерозойские мафические дайки Карельской и Кольско-Мурманской провинций Фенноскандинавского щита: геохронология, корреляция, тектонические следствия // Этапы формирования и

развития протерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика: Материалы VI Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия (Санкт-Петербург, 22–24 октября 2019 г.). СПб.: Свое издательство, 2019. С. 221–222.

Хаин В. Е., Божко Н. А. Историческая геотектоника Докембрий. М.: Недра, 1988. 381 с.

Щукина Е. В., Агашев А. М., Головин Н. Н., Похиленко Н. П. Эквигранулярные эклогиты из кимберлитовой трубки им. В. Гриба: свидетельства палеопротерозойской субдукции на территории Архангельской алмазонасной провинции // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462. С. 208–212. doi: 10.7868/S0869565215140248

Balagansky V. V., Gorbunov L. A., Mudruk S. V. Paleoproterozoic Lapland-Kola collisional orogen, Northern Fennoscandia. Baltic shield // Precambrian high-grade mobile belts: Extended abstracts. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. С. 7–10.

Barley M. E., Bekker A., Krapez B. Late Archean to Early Paleoproterozoic global tectonics, environmental change and the rise of atmospheric oxygen // Earth Planet. Sci. Lett. 2005. Vol. 238. P. 156–171. doi: 10.1016/j.epsl.2005.06.062

Bogdanova S. V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T. N., Kozlov V. I., Puchkov V. N., Volozh Yu. A. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia // Precamb. Res. 2008. Vol. 160(1). P. 23–45. doi: 10.1016/j.precamres.2007.04.024

Buchan K. L., Ernst R. E., Hamilton M. A., Mertaanen S., Pesonen L., Elming S.-Å. Rodinia the evidence from integrated palaeomagnetism and U-Pb geochronology // Precamb. Res. 2001. Vol. 110, no. 1–4. P. 99–631. doi: 10.1016/S0301-9268(01)00178-4

Cadman A. C., Heaman L., Tarney J., Wardle R., Krogh T. E. U-Pb geochronology and geochemical variation within two Proterozoic mafic dyke swarms, Labrador // Can. J. Earth Sci. 1993. Vol. 30(7). P. 1490–1504. doi: 10.1139/e93-128

Connelly J. N. Accretionary growth of the Sveconorwegian province of the Baltic shield between 1,7–1,5 Ga and links to intracontinental magmatism // GSA Annual Meeting, November 5–8, 2001 Sess. 11: Proterozoic tectonic evolution of the Grenville Orogen in Eastern North America I. 2001. Pap. 11.

Daly J. S., Balagansky V. V., Timmerman M. J., Whitehouse V. J. The Lapland-Cola orogen: Paleoproterozoic collision and accretion of the northern Fennoscandian lithosphere // European Lithosphere Dynamics. Geological Society, London memoirs. 2006. Vol. 32. P. 579–598. doi: 10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.35

Li Z. X., Bogdanova S. V., Collins A. S., Davidson A., De Waele B., Ernst R. E., Fitzsimons I. C. W., Fuck R. A., Gladkochub D. P., Jacobs J., Karlstrom K. E., Lu S., Natapov L. M., Pease V., Pisarevsky S. A., Thrane K., Vernikovsky V. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis // Precamb. Res. 2008. Vol. 160. P. 179–210. doi: 10.1016/j.precamres.2007.04.021

Mansfeld J., Andersen T. Formation of New Crust in Scandinavia Between 1,75 and 1,55 Ga as Evident from the Gothian Units of the stfold – Akershus Sector,

SE Norway // J. Conf. Abstr. EUG 10. 1999. Vol. 4, no. 1. P. 137.

Pesonen L. J., Mertanen S., Veikkolainen T. Paleoproterozoic supercontinents – A paleomagnetic view // *Geophysics*. 2012. Vol. 48, no. 1-2. P. 5–47.

Williams H., Hoffman P. F., Lewry J. F., Monger J. W. H., Rivers T. Anatomy of North America: thematic portrayals of the continent // *Tectonophysics*. 1991. Vol. 187. P. 117–134. doi: 10.1016/0040-1951(91)90416-P

References

Arestova N. A., Chekulaev V. P., Egorova Yu. S., Kucherovskii G. A. Evolution of the composition and sources of basic and ultrabasic rocks during the transition from the Neoproterozoic to the Paleoproterozoic in the Karelian province, Baltic Shield, Russia. *Etapy formirovaniya i razvitiya proterozoiskoi zemnoi kory: stratigrafiya, metamorfizm, magmatizm, geodinamika: Materialy VI Rossiiskoi konferentsii po problemam geologii i geodinamiki dokembriya = Stages of formation and development of the Proterozoic crust: stratigraphy, metamorphism, magmatism, geodynamics. Proceed. VI Russian conference on Precambrian geology and geodynamics*. St. Petersburg: Svoe izdatel'stvo; 2019. P. 23–25. (In Russ.)

Arzamastsev A. A., Bea F., Glaznev V. N., Arzamastseva L. V., Montero P. The Kola Alkaline Province in the Paleozoic: an assessment of the composition of primary mantle melts and magmogenesis conditions. *Rossiiskii zhurnal nauk o Zemle = Russian Journal of Earth Sciences*. 2001;3(1):1–35. (In Russ.)

Balagansky V. V., Gorbunov L. A., Mudruk S. V. Paleoproterozoic Lapland-Kola collisional orogen, Northern Fennoscandian, Baltic Shield. Precambrian high-grade mobile belts: Extended abstracts. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2014. P. 7–10.

Balagansky V. V., Gorbunov I. A., Mudruk S. V. Paleoproterozoic Lapland-Kola and Svecofennian orogens (Baltic Shield). *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Bulletin of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 1916;3(26):5–11. (In Russ.)

Baluyev A. S. Continental rifting of the north of the East European Platform in the Neogene: geology, history of development, comparative analysis: DSc (Dr. of Geol.-Miner.) thesis. Moscow; 2013. (In Russ.)

Barley M. E., Bekker A., Krapez B. Late Archean to Early Paleoproterozoic global tectonics, environmental change and the rise of atmospheric oxygen. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2005;238:156–171. doi: 10.1016/j.epsl.2005.06.062

Bogdanova S. V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T. N., Kozlov V. I., Puchkov V. N., Volozh Yu. A. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Res.* 2008;160(1):23–45. doi: 10.1016/j.precamres.2007.04.024

Bozhko N. A. Supercontinental cyclicity in the history of the Earth. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 4. Geologiya = Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. 2009;4(2):13–27. (In Russ.)

Bozhko N. A., Prusakova N. A. On the prospects of the indigenous diamond content of the Karelian cra-

ton. *Rudy i metally = Oresand Metals*. 2014;4:5–13. (In Russ.)

Bozhko N. A., Prusakova N. A., Gromtsev K. V. Features of the tectonic structure of the Lapland-White Sea granulite-gneiss belt and prospects of its indigenous diamond content. *Otechestvennaya geologiya = National Geology*. 2021;6:45–64. (In Russ.). doi: 10.47765/0869-7175-2021-10031

Buchan K. L., Ernst R. E., Hamilton M. A., Mertanen S., Pesonen L., Elming S.-Å. Rodinia the evidence from integrated palaeomagnetism and U-Pb geochronology. *Precamb. Res.* 2001;110(1–4):99–631. doi: 10.1016/S0301-9268(01)00178-4

Cadman A. C., Heaman L., Tarney J., Wardle R., Krogh T. E. U-Pb geochronology and geochemical variation within two Proterozoic mafic dyke swarms, Labrador. *Can. J. Earth Sci.* 1993;30(7):1490–1504. doi: 10.1139/e93-128

Connelly J. N. Accretionary growth of the Sveconorwegian province of the Baltic shield between 1.7–1.5 Ga and links to intracontinental magmatism. *GSA Annual Meeting, November 5–8, 2001 Sess. 11: Proterozoic tectonic evolution of the Grenville Orogen in Eastern North America I*. 2001. Pap. 11.

Daly J. S., Balagansky V. V., Timmerman M. J., Whitehouse J. J. The Lapland-COLA orogen: Paleoproterozoic collision and accretion of the northern Fennoscandian lithosphere. *European Lithosphere Dynamics. Geological Society, London memoirs*. 2006;32:579–598. doi: 10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.35

Dokukina K. A., Konilov A. N., Wang K. V., Bayanova T. B., Sheshukov V. S., Khubanov V. B., Golovanova T. I. Paleoproterozoic granulite metamorphism with an age of ~2.45 billion years in rocks of the White Sea eclogite province of the Fennoscandian Shield, Russia. *Etapy formirovaniya i razvitiya proterozoiskoi zemnoi kory: stratigrafiya, metamorfizm, magmatizm, geodinamika: Materialy VI Rossiiskoi konferentsii po problemam geologii i geodinamiki dokembriya = Stages of formation and development of the Proterozoic crust: stratigraphy, metamorphism, magmatism, geodynamics. Proceed. VI Russian conference on Precambrian geology and geodynamics*. St. Petersburg: Svoe izdatel'stvo; 2019. P. 68–70. (In Russ.)

Glebovitskii V. A. (ed.). Early Precambrian of the Baltic Shield. St. Petersburg: Nauka; 2005. P. 711. (In Russ.)

Khain V. E., Bozhko N. A. Historical geotectonics. Precambrian. Moscow: Nedra; 1988. 381 p. (In Russ.)

Kozhevnikov V. I. Archean greenstone belts of the Karelian craton as accretion orogens. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2000. 223 p. (In Russ.)

Li Z. X., Bogdanova S. V., Collins A. S., Davidson A., De Waele B., Ernst R. E., Fitzsimons I. C. W., Fuck R. A., Gladkochub D. P., Jacobs J., Karlstrom K. E., Lu S., Natapov L. M., Pease V., Pisarevsky S. A., Thrane K., Vernikovskiy V. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. *Precamb. Res.* 2008;160:179–210. doi: 10.1016/j.precamres.2007.04.021

Lobach-Zhuchenko S. B., Sergeev S. A., Levchenkova G. M., Ovchinnikova G. V., Kotova L. N., Krylov I. N., Yakovleva S. Z. Vodlozersky gneiss complex of the Early Archean and its structural and metamorphic evolution.

Izotopnaya geokhronologiya dokembriya = Isotopic geochronology of the Precambrian. Leningrad: Nauka; 1989. P. 14–45. (In Russ.)

Lubnina N. V., Slabunov A. Reconstruction of the Neoproterozoic supercontinent Kenorland based on paleomagnetic and geological data. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 4. Geologiya = Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. 2011;4(4):23–30. (In Russ.)

Mansfeld J., Andersen T. Formation of New Crust in Scandinavia Between 1,75 and 1,55 Ga as Evident from the Gothian Units of the stfold – Akershus Sector, SE Norway. *J. Conf. Abstr. EUG 10*. 1999;4(1):137.

Mitrofanov F. P. Early Precambrian geodynamics, magmatism and metallogeny of the Kola province. *Vestnik MG TU = Bulletin of the Moscow State Technical University*. 2009;12(4):567–570. (In Russ.)

Pesonen L. J., Mertanen S., Veikkolainen T. Paleoproterozoic supercontinents – A paleomagnetic view. *Geophysics*. 2012;48(1-2):5–47.

Petrovsky M. N., Petrovskaya L. S., Bayanova T. B. Evolution of magmatism in the geological history of the Murmansk Neoproterozoic craton. *Magmatizm i metamorfizm v istorii Zemli: XI Vserossiiskoe petrograficheskoe soveshchanie: Tezisy dokladov = Magmatism and metamorphism in the history of the Earth. Proceed. XI All-Russian petrographic meeting*. Vol. 2. Ekaterinburg; 2010. P. 130–131. (In Russ.)

Puchkov V. N. Tectonics and geodynamics of tectonides. *Strukturno-veshchestvennye komplekсы i problemy geodinamiki dokembriya fanerozoiskikh orogenov: Mat-ly mezhdunar. nauch. konf. (III chteniya pamyati S. N. Ivanova) = Structural-material complexes and problems of geodynamics of the Precambrian Phanerozoic orogens. Proceed. Scientific conference (III Readings in memory of S. N. Ivanov)*. Ekaterinburg: IGIG UrO RAN; 2008. P. 104–109. (In Russ.)

Samsonov A. V., Stepanova A. V., Arzamastsev A. A., Sal'nikova E. B., Larionova Yu. O., Larionov A. I., Egorova S. V. The large magmatic province of Eastern Fennoscandia: paragenetic diversity in geodynamic unity. *Etapy formirovaniya i razvitiya proterozoiskoi zemnoi kory: stratigrafiya, metamorfizm, magmatizm, geodinamika: Materialy VI Rossiiskoi konferentsii po problemam geologii i geodinamiki dokembriya = Stages of formation and development of the Proterozoic crust: stratigraphy, metamorphism, magmatism, geodynamics. Proceed. VI Russian conference on Precambrian geology and geodynamics*. St. Petersburg: Svoe izdatel'stvo; 2019. P. 198–200. (In Russ.)

Shchukina E. V., Agashev A. M., Pokhilenko N. P., Golovin N. N. Equigranular eclogites from the V. Grib

kimberlite pipe: evidence for Paleoproterozoic subduction on the territory of the Arkhangelsk diamondiferous province. *Doklady Earth Sciences*. 2015;462(1): 497–501. doi: 10.1134/S1028334X15050165

Slabunov A. I. Archean and Paleoproterozoic orogens: a comparative analysis of geodynamic processes during their formation (on the example of the Fennoscandian Shield). *Etapy formirovaniya i razvitiya proterozoiskoi zemnoi kory: stratigrafiya, metamorfizm, magmatizm, geodinamika: Materialy VI Rossiiskoi konferentsii po problemam geologii i geodinamiki dokembriya = Stages of formation and development of the Proterozoic crust: stratigraphy, metamorphism, magmatism, geodynamics. Proceed. VI Russian conference on Precambrian geology and geodynamics*. St. Petersburg: Svoe izdatel'stvo; 2019. P. 210–212. (In Russ.)

Slabunov A. I. Geology and geodynamics of Archean mobile belts (on the example of the White Sea province of the Fennoscandian Shield). Petrozavodsk: KarRC RAS; 2008. 294 p. (In Russ.)

Slabunov A. I., Lobach-Zhuchenko S. B., Bibikova E. V., Balagansky V. V., Soryonen-Ward P., Volodichev O. I., Shchipansky A. A., Svetov S. A., Chekulaev V. P., Arestova N. A., Stepanov V. S. Archean of the Baltic Shield: geology, geochronology, geodynamic conditions. *Geotektonika = Geotectonics*. 2006;6:1–29. (In Russ.)

Stepanova A. V., Samsonov A. V., Sal'nikova E. B., Arzamastsev A. A., Egorova S. V., Veselovskii R. V., Larionova Yu. O., Erofeeva K. G., Stafeeva M. V. Paleoproterozoic mafic dykes of the Karelian and Kola-Murmansk provinces of the Fennoscandian Shield: geochronology, correlation, tectonic consequences. *Etapy formirovaniya i razvitiya proterozoiskoi zemnoi kory: stratigrafiya, metamorfizm, magmatizm, geodinamika: Materialy VI Rossiiskoi konferentsii po problemam geologii i geodinamiki dokembriya = Stages of formation and development of the Proterozoic crust: stratigraphy, metamorphism, magmatism, geodynamics. Proceed. VI Russian conference on Precambrian geology and geodynamics*. St. Petersburg: Svoe izdatel'stvo; 2019. P. 221–222. (In Russ.)

Volodichev O. I., Slabunov A. I., Bibikova E. V., Konilov A. N., Kuzenko T. I. Archean eclogites of the White Sea Mobile Belt (Baltic Shield). *Petrologiya = Petrology*. 2004;12(6):609–631.

Williams H., Hoffman P. F., Lewry J. F., Monger J. W. H., Rivers T. Anatomy of North America: tectonic portrayals of the continent. *Tectonophysics*. 1991; 187:117–134. doi: 10.1016/0040-1951(91)90416-P

Поступила в редакцию / received: 28.03.2024; принята к публикации / accepted: 23.09.2024.
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Божко Николай Андреевич

д-р геол.-мин. наук, профессор кафедры динамической геологии

e-mail: bozhko@yandex.ru

CONTRIBUTOR:

Bozhko, Nikolai

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor