

УДК 551.2/.3+551.248.1

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОДИНАМИКИ НЕОПРОТЕРОЗОЯ

Н. А. Божко

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, геологический факультет (Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119899)

Рассматриваются некоторые особенности геодинамики неопротерозоя: формирование суперконтинентов, изменение характера субдукции, увеличение площади континентальных плит и скорости их движения, проявление асимметрии в тектоническом развитии Северного и Южного полушарий. Эти изменения в значительной степени предопределили переход к современному стилю геодинамики и новым глобальным экологическим, биогеохимическим и другим условиям.

Ключевые слова: геодинамика; Паннотия; суперконтинент; субдукция; Гондвана

Для цитирования: Божко Н. А. Некоторые особенности геодинамики неопротерозоя // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 22–25. doi: 10.17076/geo1684

N. A. Bozhko. SOME FEATURES OF NEOPROTEROZOIC GEODYNAMICS

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology (1 Leninskie Gory, Moscow, Russia, 119899)

Some features of geodynamics in the Neoproterozoic are considered: the formation of supercontinents, changes in the nature of subduction, increase in the area of continental plates and the rate of their movement, manifestation of asymmetry in the tectonic development of the Northern and Southern hemispheres. These changes largely predetermined the transition to the modern style of geodynamics and new global ecological, biogeochemical and other conditions.

Keywords: geodynamics; Pannotia; supercontinent; subduction; Gondwana

For citation: Bozhko N. A. Some features of Neoproterozoic geodynamics. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:22–25. doi: 10.17076/geo1684

Существующие различия в геодинамике между фанерозоем и докембрием подготавливались в течение всей эволюции последнего. Каждый этап вносил в нее свои изменения. В

этом отношении неопротерозой занимает особое место. Неопротерозой продолжительностью от 1000 до 541 млн лет, непосредственно предшествуя фанерозою, многими исследова-

телями рассматривается как самый революционный период в истории Земли. В это бурное время планета испытывала ряд изменений, которые в значительной степени предопределили переход к современному стилю геодинамики и новым глобальным экологическим, биогеохимическим и другим условиям.

Основное тектоническое содержание неопротерозоя выразилось в развитии новых суперконтинентов Родинии и Паннотии. Нижний неопротерозой по времени соответствует существованию и распаду Родинии, сформировавшейся в Гренвильскую эпоху (около 1000 млн лет). С этим рубежом связаны значительные изменения в геодинамике Земли. Суперконтинент Родиния раскололся на северную половину (Восточная Гондвана, Катазия и Киммерия) и южную (Лаврентия, Амазония–Северо-Западная Африка, Балтика и Сибирь), с этой эпохой связано и раскрытие Тихого океана.

Фрагменты Родинии были объединены в новый суперконтинент. Развитие полифазной панафриканской орогении привело к формированию около 650 млн лет тому назад крупного древнего материка Гондвана, объединявшего ныне разобщенные континенты Южного полушария и Индию. В результате кратковременного слияния Гондваны с Балтикой, Сибирью и Лаврентией образовался «вендский суперконтинент», названный Пауэллом в 1995 г. Паннотия. С развитием палеомагнитных и геохронологических данных существование этого суперконтинента и цикла начало подвергаться сомнению. Однако результаты новых исследований свидетельствуют о *реальности древнего суперконтинента Паннотия* [Nance, Murphy, 2018 и др.]. В кембрии произошел распад Паннотии и окончательное обособление Гондваны как наиболее крупного его фрагмента.

В неопротерозое произошли изменения в стиле развития коллизионных орогенов, выразившиеся, в частности, в появлении в позднем неопротерозое метаморфических пород голубосланцевой фации и ультравысокого давления, отсутствовавших в более древних поясах, что указывает, таким образом, на переход к режиму современной субдукции. Среди существующих объяснений этому наиболее предпочтительным представляется подход, принимающий во внимание охлаждение Земли во времени [Brown, 2008 и др.]. На уровне 1 млрд лет температура верхней мантии была еще на 150–100 °С выше, чем сейчас, что препятствовало значительному погружению субдукци-

онного слэба. Охлаждение Земли в неопротерозое создало условия, благоприятные для перехода к холодной, глубокопроникающей и крутопадающей субдукции, что отразилось в появлении указанных пород. Результаты 2D числового моделирования континентальной коллизии [Sizova et al., 2014] подтверждают эти представления. Увеличение температуры в опытах на 80–100 градусов, что соответствует условиям протерозоя, привело к тектонике в условиях неглубокой субдукции.

Увеличение размеров континентальных фрагментов в ходе суперконтинентальной цикличности достигло в неопротерозое появления мегаконтинентов. Эволюция суперконтинентальной цикличности характеризуется увеличением площади суперконтинентов и составляющих их фрагментов во времени. Суперконтиненты архея формировались за счет слияния континентальных плит небольшого размера. Формирование суперконтинентов сопровождалось увеличением их размеров за счет прогрессивного новообразования континентальной коры в процессе их сборки. В неопротерозое этот процесс достиг такой степени, что начали формироваться гигантские мегаконтиненты типа Гондваны. Это имело следствие для геодинамики в плане расширения условий для создания термоизоляционного экрана и плюмообразования. Формирование ареалов континентальной коры больших размеров сопровождалось увеличением их мощности прежде всего за счет андерплейтинга базальтовой магмы.

В неопротерозое отмечено увеличение скорости перемещения континентов в ходе суперконтинентальной цикличности. Для позднего протерозоя и среднего кембрия была установлена чрезвычайно значительная скорость движения крупных континентов Лаврентии и Гондваны (до 24 см в год) [Meert et al., 1997]. Для объяснения этого быстрого движения был предложен ряд механизмов. Наиболее эффективными представляются модели, основанные на привлечении теплоизоляционного эффекта («одеяла»), возникающего под континентальной плитой достаточного размера, приводящего к увеличению общей теплоты мантии, увеличению плавучести континентальной плиты над ней и запуску плюмов нижней мантии. Этот процесс компенсирует отсутствие выходов теплового потока в виде срединно-океанических хребтов, возникающее из-за отсутствия их после создания суперконтинента. Гондвана могла служить в качестве такого мантийного изолятора, размеры которого благоприятствовали возникновению плюмов. Та-

ким образом, рассматриваемая особенность геодинамики неопротерозоя и отмеченная выше скорость перемещения континентов являются взаимосвязанными.

Антисимметрия в геодинамической системе Северного и Южного полушарий проявилась в неопротерозое особенно выразительно. Она выразилась в контрастах их тектонической активности [Божко, 2009]. Распад Родинии локализовался в основном в пределах южной полусферы и привел к новообразованию как океанических бассейнов (Гойянского, Хоггаро-Атакорского, Адаматор, Палеоазиатского и др.), так и интракратонных прогибов (Дамаро-Катангского и др.). Их замыкание в эпоху панафриканской орогении (около 600 млн лет) привело к слиянию всех южных континентальных фрагментов в мегаконтинент Протогондвана. В Лавразии орогения, синхронная панафриканской, практически не проявилась, на что обратил внимание Н. А. Штрейс еще в 1960-е годы. Таким образом, Лавразия в основном оставалась относительно монолитным фрагментом после распада Родинии. В результате слияния обломков Родинии между собой и новообразованной Гондваной возник «вендский суперконтинент» Паннотия. Примечательно отсутствие авлакогенной стадии в эволюции неопротерозойских платформенных чехлов Гондваны. Распад Паннотии к началу кембрия привел к полному обособлению монолитной Гондваны и активному расколу Лавразии на континенты Лаврентия, Балтика и Сибирь, разделенные новообразованными океанами.

В неопротерозое отмечены глобальные изменения в процессах металлогении. Тектонические события неопротерозоя нашли отражение в формировании ряда полезных ископаемых, что представляет особую тему для анализа. Хорошим примером может служить роль неопротерозоя в истории алмазоносного магматизма [Божко, 2019]. На рубеже около 1 млрд лет в распространении кимберлитового магматизма имел место скачок, сопровождавшийся образованием первого промышленного месторождения Премьер. При этом 95 % датированных кимберлитов оказываются моложе 750 млн лет, хотя редкие проявления фиксируются до архея включительно. Этот процесс проходил на фоне охлаждения мантии, что создавало благоприятные геодинамические и петрологические условия для извлечения алмазоносных кимберлитов, в частности, отмеченные выше изменения в стиле субдукции. Одним из факторов, способствовавших данной тенденции, могло быть также указанное выше

прогрессирующее увеличение площади континентальной коры в ходе суперконтинентальной цикличности.

Неопротерозой – бурное время глубоких экологических, биогеохимических, климатических изменений, включая изменение химии воды в океанах, развитие нескольких оледенений, появление и исчезновение эдиакарской фауны и другие. Они происходили на фоне отмеченных глобальных тектонических событий и были обусловлены ими. Вместе с тем эти события изучены далеко не полностью, и неопротерозой представляет собой неисчерпаемый объект для будущих исследований.

Литература

- Божко Н. А. Суперконтинентальная цикличность в истории Земли // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 13–27.
- Божко Н. А. Алмазоносный магматизм в суперконтинентальных циклах // Руды и металлы. 2019. № 3. С. 22–27. doi: 10.24411/0869-5997-2019-10020
- Brown M. Characteristic thermal regimes of plate tectonics and their metamorphic imprint throughout Earth history: when did Earth first adopt a plate tectonics mode of behavior? // Condie K. C., Pease V. (eds.). When Did Plate Tectonics Begin on Planet Earth? Geological Society of America Special Paper. 2008. Vol. 440. P. 97–128. doi: 10.1130/2008.2440(05)
- Meert J. G., Van der Voo R., Powell C. A., Li Z. X., McElhinny M. W., Chen Z., Symons D. T. A. A plate tectonic speed limit? // Nature. 1997. Vol. 363. P. 216–217.
- Nance R. D., Murphy J. B. Supercontinents and the case for Pannotia // Geological Society London Special Publications. 2018. Vol. 470(1):SP470.5. doi: 10.1144/SP470.5
- Sizova E., Gerya T., Brown M. Contrasting styles of Phanerozoic and Precambrian continental collision // Gondwana Research. 2014. Vol. 25(2). P. 522–545. doi: 10.1016/j.gr.2012.12.011

References

- Bozhko N. A. Supercontinental cyclicity in the Earth's evolution. *Moscow University Geology Bulletin*. 2009;64(2):75–91. doi: 10.3103/S0145875209020021
- Bozhko N. A. Diamond magmatism in Supercontinental cycles. *Rudy i metall = Ores and Metals*. 2019;3:22–27. doi: 10.24411/0869-5997-2019-10020 (In Russ.)
- Brown M. Characteristic thermal regimes of plate tectonics and their metamorphic imprint throughout Earth history: when did Earth first adopt a plate tectonics mode of behavior? Condie K. C., Pease V. (eds.). When Did Plate Tectonics Begin on Planet Earth? Geological Society of America Special Paper. 2008;440:97–128. doi: 10.1130/2008.2440(05)
- Meert J. G., Van der Voo R., Powell C. A., Li Z. X., McElhinny M. W., Chen Z., Symons D. T. A. A plate tectonic speed limit? *Nature*. 1997;363:216–217.

Nance R. D., Murphy J. B. Supercontinents and the case for Pannotia. *Geological Society London Special Publications*. 2018;470(1):SP470.5. doi: 10.1144/SP470.5

Sizova E., Gerya T., Brown M. Contrasting styles of Phanerozoic and Precambrian continental collision. *Gondwana Research*. 2014;25(2):522–545. doi: 10.1016/j.gr.2012.12.011

Поступила в редакцию / received: 22.08.2022; принята к публикации / accepted: 25.08.2022.
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

e-mail: bozhko@yandex.ru

CONTRIBUTOR:

Bozhko, Nikolai

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