

УДК 553.061.12+551.243.6+551.72

## **ЭВОЛЮЦИЯ МАГМАТИЗМА ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО ПЕЧЕНГА-ВАРЗУГСКОГО РИФТА С ПОЗИЦИЙ НОВЫХ ДАННЫХ ПО НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫМ РИФТОГЕННЫМ СТРУКТУРАМ ВОСТОЧНОЙ АФРИКИ**

**А. А. Арзамасцев**

*Институт геологии и геохронологии докембрия РАН (наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, Россия, 199034)*

Представлены результаты изучения эволюции магматизма неоген-четвертичных рифтогенных структур Восточно-Африканского рифта, позволяющие на основе сравнительного анализа скорректировать хроностратиграфические схемы корреляции палеопротерозойского Печенга-Варзугского рифта.

Ключевые слова: рифтогенез; магматизм; Печенга-Имандра-Варзугский рифт; Восточно-Африканский рифт

Для цитирования: Арзамасцев А. А. Эволюция магматизма палеопротерозойского Печенга-Варзугского рифта с позиций новых данных по неоген-четвертичным рифтогенным структурам Восточной Африки // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 14–17. doi: 10.17076/geo1674

### **A. A. Arzamastsev. EVOLUTION OF MAGMATISM IN THE PALEOPROTEROZOIC PECHENGA-VARZUGA RIFT IN LIGHT OF NEW DATA ON NEOGENE-QUATERNARY RIFT STRUCTURES OF EAST AFRICA**

*Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences (2 Nab. Makarova, 199034 St. Petersburg, Russia)*

The paper presents the results of studies on the evolution of magmatism in the Neogene-Quaternary rift structures of the East African Rift, which lead to a revision, based on comparative analysis, of the chronostratigraphic correlation charts for the Paleoproterozoic Pechenga-Varzuga Rift.

Keywords: rift; magmatism; Pechenga-Imandra-Varzuga Rift; East African Rift

For citation: Arzamastsev A. A. Evolution of magmatism in the Paleoproterozoic Pechenga-Varzuga rift in light of new data on Neogene-Quaternary rift structures of East Africa. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:14–17. doi: 10.17076/geo1674

Печенга-Имандра-Варзугский пояс является примером внутриконтинентальной палеорифтогенной системы, которая за 600 млн лет прошла полный цикл развития: свободообразование, рифтогенез, орогенез и региональный метаморфизм [Смолькин, 1997]. Геохронологическим репером начала заложения этой структуры принято считать образование базитов горы Генеральской ( $2505 \pm 2$  млн лет) [Amelin et al., 1995], возраст завершающих магматических событий фиксируется в интервале 1,93–1,90 млрд лет назад. Выделенные уже на ранних этапах изучения пояса стратиграфические подразделения [Имандра-Варзугская..., 1982; Федотов, 1985; Предовский и др., 1987], объединяющие в основании каждой свиты осадочные образования, сменяющиеся вверх по разрезу вулканитами, являются подтверждением независимых циклов эндогенной активности. Ключевым элементом, свидетельствующим об автономности каждого цикла, является состав осадочных образований, слагающих основание каждой свиты. В частности, присутствие кор выветривания, а также базальных конгломератов в основании свит, терригенный характер осадков, закономерно сменяющихся все более глубоководными фациями, свидетельствуют о существовании нескольких периодов континентальных обстановок, разделенных эпизодами интенсивного магматизма. Единичные данные геохронологического датирования, полученные по отдельным субвулканическим образованиям разных уровней разреза, не позволяют с достаточной точностью определить возрастные рубежи формирования вулканогенно-осадочных толщ. Реконструкция трендов эволюции магматизма также осложнена отсутствием достаточного количества геохронологических данных, максимальная точность которых составляет в лучшем случае несколько миллионов лет. Еще более неопределенной является оценка соотношения возрастных интервалов осадконакопления и разделяющих их циклов магматической активности. В основу хроностратиграфических схем корреляции [Смолькин, 1997; Melezhik et al., 2012] положены оценки мощности, что подразумевает непрерывность формирования вулканогенно-осадочных комплексов в пределах каждого цикла и значительные по времени периоды магматической активности, сопоставимые по длительности с интервалами осадкообразования.

Накопленные в последние десятилетия данные об эволюции магматизма в фанерозойских и кайнозойских рифтогенных структурах позволяют с новых позиций оценить харак-

тер эволюции раннепротерозойского пояса Печенга-Имандра-Варзуга.

Идея прерывистости (punctuated) и малой длительности импульсов эндогенной активности, предложенная [Gould, Eldredge, 1993; Martin et al., 2012] в противовес концепции постепенной смены режимов осадкообразования и магматизма (gradualism), была проиллюстрирована на примере рифта Грегори [Dawson, 2008], располагающегося в восточной ветви Восточно-Африканской рифтогенной системы. Развитие этой гигантской структуры, начавшееся в зоне Афарского треугольника 45 млн лет назад, продолжается вплоть до настоящего времени [Rooney, 2020]. В пределах южного окончания восточной ветви, на границе с Танзанийским архейским кратоном, на относительно небольшой территории располагается область интенсивного магматизма, представленного крупными покровами базальтов нормального ряда, базанитами, щелочными вулканитами и малыми интрузивными телами. Согласно геохронологическим данным [Le Gall et al., 2008; Mollet et al., 2011; Rooney, 2020], магматизм в этой части рифта, начавшийся на рубеже 5,9 млн лет с формирования щелочных вулканов Эссимингор, Садиман, Мосоник и др., затем сменился обширными излияниями базальтов и базанитов из вулканических центров и кальдер Лемагарут, Нгоронгоро, Олдувай, Олмоти и др. Заключительный цикл вулканизма, продолжающийся до настоящего времени, вновь представлен щелочными расплавами и карбонатитами Олдоиньо Ленгаи. Таким образом, на протяжении относительно короткого временного интервала на относительно небольшой по площади территории в ходе нескольких магматических импульсов произошла радикальная смена состава расплавов, генерированных из разных мантийных уровней. Малая длительность магматических импульсов и высокая вариативность мантийных расплавов является, по-видимому, общей чертой современных рифтогенных структур. Помимо рифта Грегори в качестве примеров можно отметить образование крупных излияний платобазальтов Эфиопии, интервал формирования которых составляет 33–27 млн лет [Rooney, 2020]. Примером относительно коротких интервалов плюм-литосферных процессов, имевших место в фанерозойское время, являются гигантские покровы траппов плато Декан в Индии (~68 Ma), Кару-Феррар (183 Ma), сформированных в течение 1–2 млн лет [Burgess et al., 2017], а также траппов Сибири, образование которых происходило в течение двух относительно коротких магматических импульсов [Ivanov et al., 2013].

Бесспорно, характер эндогенных процессов в областях LIP и зонах рифтогенеза различен. В последних, вследствие пропации рифта в южном направлении от зоны Афар, этапы осадконакопления, последующей денудации в условиях континентальных обстановок вследствие плюм-литосферных процессов (doming) прерывались относительно короткими (первые млн лет) периодами магматизма [Rooney, 2020]. Следует также отметить широкий спектр составов расплавов, поступавших на поверхность в столь короткие периоды развития структур. В Сибирской провинции типичным толеитовым базальтам, формирующим основной объем траппов (240 Ма), предшествуют высоко-Ti умеренно-щелочные базальты и пикриты, отличающиеся повышенной щелочностью, кремнекислотностью и пониженной ролью железа.

Исходя из этих наблюдений, формирование Печенга-Имандра-Варзугского палеорифта не может рассматриваться с позиций постепенной, непрерывной смены циклов осадконакопления, магматической активности и денудации. Можно полагать, что длительные периоды стабилизации, отвечающие периодам осадконакопления, а также значительные по времени перерывы, происходившие в условиях континентальных обстановок, прерывались относительно короткими импульсами магматизма. Анализ с этих позиций эволюции Печенгско-Варзугской рифтогенной структуры показывает, что длительность наиболее крупных этапов магматизма, зафиксированных на рубежах ~2,51; ~2,44; 2,06; 2,02 и 1,99 млн лет назад, не превышала нескольких млн лет. Таким образом, принимая во внимание данные по эволюции фанерозойских рифтогенных структур, хроностратиграфические схемы корреляции Печенга-Имандра-Варзугской структуры, базирующиеся на принципах «градуализма», должны быть пересмотрены с учетом предельно коротких интервалов длительности периодов магматической активности.

## Литература

Имандра-Варзугская зона карелид / Отв. ред. Г. И. Горбунов. Л.: Наука, 1982. 280 с.

Предовский А. А., Мележик В. А., Болотов В. И., Федотов Ж. А., Басалаев А. А., Козлов Н. Е., Иванов А. А., Жангуров А. А., Скуфьин П. К., Любцов В. В. Вулканизм и седиментогенез докембрия северо-востока Балтийского щита. Л.: Наука, 1987. 185 с.

Смолькин В. Ф. Магматизм раннепротерозойской (2,5–1,7 млрд лет) палеорифтогенной системы, северо-запад Балтийского щита // Петрология. 1997. Т. 5, № 4. С. 394–411.

Федотов Ж. А. Эволюция протерозойского вулканизма восточной части Печенгско-Варзугского пояса (петрогеохимический аспект). Апатиты: Кольск. фил. АН СССР, 1985. 118 с.

Amelin Yu. V., Heaman L. M., Semenov V. S. U-Pb geochronology of layered mafic intrusions in the eastern Baltic Shield: implication for the timing and duration of Paleoproterozoic continental rifting // Precambrian Res. 1995. Vol. 75. P. 31–46. doi: 10.1016/0301-9268(95)00015-W

Burgess S. D., Muirhead J. D., Bowring S. A. Initial pulse of Siberian Traps sills as the trigger of the end-Permian mass extinction // Nature Communications. 2017. Vol. 8(1). Art. 164. doi: 10.1038/s41467-017-00083-9

Dawson J. B. The Gregory Rift Valley and Neogene-Recent volcanoes of Northern Tanzania // Geological Society of London, Memoirs. 2008. Vol. 33. doi: 10.1144/M33

Gould S. J., Eldredge N. Punctuated equilibrium comes of age // Nature. 1993. Vol. 366. P. 223–227. doi: 10.1016/j.earscirev.2013.04.001

Ivanov A. V., He H., Yan L., Ryabov V. V., Shevko A. Y., Paleskii S. V., Nikolaeva I. V. Siberian Traps large igneous province: Evidence for two flood basalt pulses around the Permo-Triassic boundary and in the Middle Triassic, and contemporaneous granitic magmatism // Earth-Science Reviews. 2013. Vol. 122. P. 58–76.

Le Gall B., Nonnotte P., Rolet J., Benoit M., Guillou H., Mousseau-Nonnotte M., Albaric J., Deverchère J. Rift propagation at craton margin. Distribution of faulting and volcanism in the North Tanzanian Divergence (East Africa) during Neogene times // Tectonophysics. 2008. Vol. 448. P. 1–19. doi: 10.1016/J.TECTO.2007.11.005

Martin R. F., Sokolov M., Magaji S. S. Punctuated anorogenic magmatism // Lithos. 2012. Vol. 152. P. 132–140. doi: 10.1016/J.LITHOS.2012.05.020

Melezhik V. (ed.), Prave A. R., Fallick A. E., Kump L. R., Strauss H., Lepland A., Hanski E. J. Reading the archive of Earth's oxygenation. Vol. 1: The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as context for the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. Springer, 2012. 490 p.

Mollet G. F., Swisher III C. C., Feigenson M. D., Carr M. J. Petrology, geochemistry, and age of Satiman, Lemagurut and Oldeani: sources of the volcanic deposits of the Laetoli area // Harrison T. (ed.). Paleontology and Geology of Laetoli: Human Evolution in Context. Vol. 1: Geology, Geochronology, Paleoecology and Paleoenvironment. Dordrecht: Springer, 2011. P. 99–120.

Rooney T. O. The Cenozoic magmatism of East Africa: Part II – Rifting of the mobile belt // Lithos. 2020. Vol. 360–361. Art. 105291. doi: 10.1016/j.lithos.2020.105381

## References

Fedotov Zh. A. Evolution of the Proterozoic volcanism in the eastern part of the Pechenga-Varzuga Belt (petrogeochemical aspect). Apatity: Kola Br. AS USSR; 1985. 118 p. (In Russ.)

Gorbunov G. I. (ed.). The Imandra-Varzuga zone of kareliides. Leningrad: Nauka; 1982. 280 p. (In Russ.)

Predovskii A. A., Melezhik V. A., Bolotov V. I., Fedotov Zh. A., Basalaev A. A., Kozlov N. E., Ivanov A. A., Zhangurov A. A., Skuf'in P. K., Lyubtsov V. V. Volcanism and sedimentogenesis of the Precambrian in the north-east of the Baltic Shield. Leningrad: Nauka; 1987. 185 p. (In Russ.)

Smol'kin V. F. Magmatism of the Early Proterozoic (2.5–1.7 Ga) paleoriftogenic system, northwest of the Baltic Shield. *Petrology*. 1997;5(4):394–411. (In Russ.)

Amelin Yu. V., Heaman L. M., Semenov V. S. U-Pb geochronology of layered mafic intrusions in the eastern Baltic Shield: implication for the timing and duration of Paleoproterozoic continental rifting. *Precambrian Res.* 1995;75:31–46. doi: 10.1016/0301-9268(95)00015-W

Burgess S. D., Muirhead J. D., Bowring S. A. Initial pulse of Siberian Traps sills as the trigger of the end-Permian mass extinction. *Nature Communications*. 2017;8(1):164. doi: 10.1038/s41467-017-00083-9

Dawson J. B. The Gregory Rift Valley and Neogene-Recent volcanoes of Northern Tanzania. *Geological Society of London, Memoirs*. 2008;33. doi: 10.1144/M33

Gould S. J., Eldredge N. Punctuated equilibrium comes of age. *Nature*. 1993;366:223–227. doi: 10.1016/j.earscirev.2013.04.001

Ivanov A. V., He H., Yan L., Ryabov V. V., Shevko A. Y., Palesskii S. V., Nikolaeva I. V. Siberian Traps large igneous province: Evidence for two flood basalt pulses around the Permo-Triassic boundary and in the Middle

Triassic, and contemporaneous granitic magmatism. *Earth-Science Reviews*. 2013;122:58–76.

Le Gall B., Nonnotte P., Rolet J., Benoit M., Guillou H., Mousseau-Nonnotte M., Albaric J., Deverchère J. Rift propagation at craton margin. Distribution of faulting and volcanism in the North Tanzanian Divergence (East Africa) during Neogene times. *Tectonophysics*. 2008;448:1–19. doi: 10.1016/J.TECTO.2007.11.005

Martin R. F., Sokolov M., Magaji S. S. Punctuated anorogenic magmatism. *Lithos*. 2012;152:132–140. doi: 10.1016/J.LITHOS.2012.05.020

Melezhik V. (ed.), Prave A. R., Fallick A. E., Kump L. R., Strauss H., Lepland A., Hanski E. J. Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Vol. 1: The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as context for the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. Springer; 2012. 490 p.

Mollet G. F., Swisher III C. C., Feigenson M. D., Carr M. J. Petrology, geochemistry, and age of Sati-man, Lemagurut and Oldeani: sources of the volcanic deposits of the Laetoli area. *Harrison T. (ed.). Paleontology and Geology of Laetoli: Human Evolution in Context. Vol. 1: Geology, Geochronology, Paleoecology and Paleoenvironment.* Dordrecht: Springer; 2011. P. 99–120.

Rooney T. O. The Cenozoic magmatism of East Africa: Part II – Rifting of the mobile belt. *Lithos*. 2020;360–361:105291. doi: 10.1016/j.lithos.2020.105381

Поступила в редакцию / received: 22.08.2022; принята к публикации / accepted: 29.08.2022.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

### Арзамасцев Андрей Александрович

д-р геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник  
лаборатории геологии и геодинамики

e-mail: arzamas@ipgg.ru

## CONTRIBUTOR:

### Arzamastsev, Andrey

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher,  
Geology and Geodynamics Laboratory