

УДК 552.08+552.125

## ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ РАССЛОЕННЫЙ МАССИВ ЯРВА-ВАРАКА (КОЛЬСКИЙ РЕГИОН) – ВОЗМОЖНАЯ АСТРОБЛЕМА

**Т. В. Каулина<sup>1\*</sup>, Л. И. Нерович<sup>1</sup>, В. И. Бочаров<sup>2</sup>,  
В. В. Шиловских<sup>2</sup>, В. Л. Ильченко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Геологический институт Кольского научного центра РАН (ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Россия, 184209), \*kaulina@geoksc.apatity.ru

<sup>2</sup> Ресурсный центр «Геомодель» Санкт-Петербургского государственного университета (ул. Ульяновская, 1, Санкт-Петербург, Россия, 198504)

Рассмотрены признаки ударного метаморфизма в породах и минералах расслоенного массива Ярва-варака и его обрамления. Массив расположен в Мончегорском рудном районе Кольского региона. К признакам импактного генезиса массива относятся псевдотахилитовая брекчия, структуры смятия в биотите и клиноцоизите, планарные деформации в кварце, диаплектовые стекла циркона, силлиманита и плагиоклаза, деформационные микроструктуры в монаците. Совокупность имеющихся признаков позволяет предполагать импактное происхождение массива Ярва-варака около 2,5 млрд лет назад.

Ключевые слова: астроблемы; импактные структуры; ударный метаморфизм; докембрий; Мончегорский рудный район

Для цитирования: Каулина Т. В., Нерович Л. И., Бочаров В. И., Шиловских В. В., Ильченко В. Л. Палеопротерозойский расслоенный массив Ярва-варака (Кольский регион) – возможная астроблема // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 42–45. doi: 10.17076/geo1665

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания ГИ КНЦ РАН по теме НИР № АААА-А19-119100290148-4, FMEZ-2022-0025 с использованием оборудования ресурсного центра «Геомодель» научного парка СПбГУ.

**T. V. Kaulina<sup>1\*</sup>, L. I. Nerovich<sup>1</sup>, V. I. Bocharov<sup>2</sup>, V. V. Shilovskikh<sup>2</sup>, V. L. Il'chenko<sup>1</sup>.  
PALEOPROTEROZOIC LAYERED JARVA-VARAKA MASSIF (KOLA REGION) –  
A PROBABLE ASTROBLEME**

<sup>1</sup> Geological Institute, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences (14 Fersman St., 184209 Apatity, Russia), \*kaulina@geoksc.apatity.ru

<sup>2</sup> Resource Center for Geo-Environmental Research and Modeling of the St. Petersburg State University (1 Ulyanovskaya St., 198504 Saint Petersburg, Russia)

Signs of shock metamorphism in rocks and minerals of the layered Jarva-Varaka massif and its framing are described. The massif is located in the Monchegorsk ore district of the Kola region. Signs of the impact genesis of the massif include pseudotachylite breccia, “kink-banding” structures in biotite and clinozoisite, planar deformations in quartz, diaplectic glasses of zircon, sillimanite, and plagioclase, and deformation microstructures in monazite. The totality of available features allows us to assume the impact origin of the Jarva-Varaka massif ca. 2.5 Ga ago.

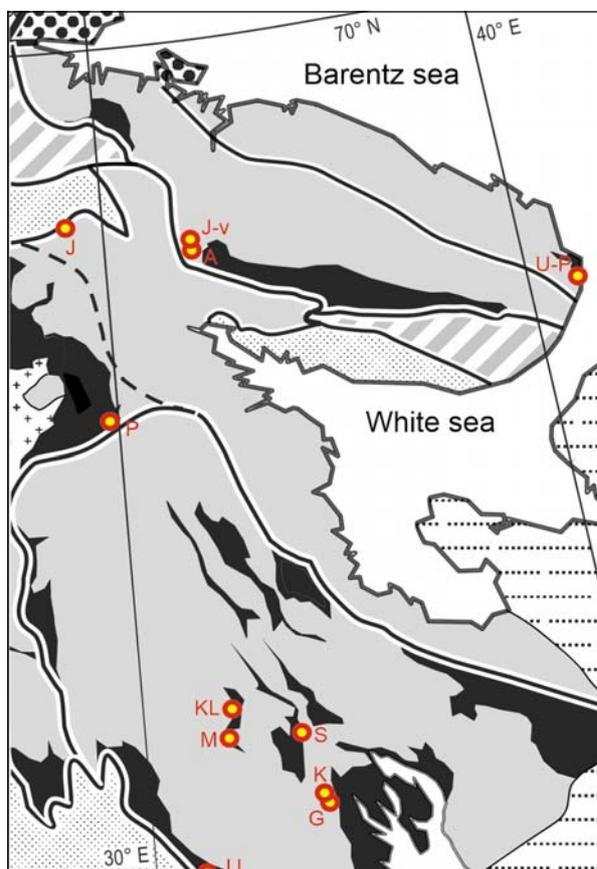
**Keywords:** astroblemes; impact structures; shock metamorphism; Precambrian; Monchegorsk ore district

**For citation:** Kaulina T. V., Nerovich L. I., Bocharov V. I., Shilovskikh V. V., Il'chenko V. L. Paleoproterozoic layered Jarva-Varaka massif (Kola Region) – a probable astrobleme. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:42–45. doi: 10.17076/geo1665

**Funding.** The study was carried out under state assignment to the Geological Institute of the Kola Science Centre RAS within the research theme # AAAA-A19-119100290148-4, FMEZ-2022-0025 using equipment of the Geomodel Resource Center of the St. Petersburg State University Science Park.

Исследования возможных космогенных структур на Балтийском щите, которые проводились в 1980-е годы сотрудниками ВСЕГЕИ, позволили выделить в Карело-Кольском регионе несколько потенциально алмазоносных предположительно импактных структур: Арваренч, Усть-Поной, Панаярви, Кумса и Гирвас, Мотко, Келярви (рис.). В настоящее время в Карелии известны две импактные структуры: Янисъярви возраста  $725 \pm 5$  млн лет [Вишневский и др., 2002] и Суавъярви возраста  $\sim 2400$  млн лет [Mashchak, Naumov, 2012]. В Кольском регионе импактное происхождение предполагается для Яврозерской кольцевой структуры [Kaulina et al., 2021] и расслоенного массива Ярва-варака [Нерович и др., 2020] (рис.).

Расслоенный массив Ярва-варака расположен в Мончегорском рудном районе (рис.) и представляет собой интрузивное тело  $1,7 \times 2,2$  км, мощностью до 2 км. Геолого-петрографическое и петрогеохимическое изучение пород массива [Нерович и др., 2020 и ссылки в ней] показало его сходство с массивом Садбери, для которого доказано импактное происхождение. Одним из основных критериев сходства являлось наличие гранофилов (микропегматита) по всему разрезу Ярва-вараки, что свидетельствует о существенной коровой контаминации, и среди большинства расслоенных интрузий мира подобный разрез наблюдается только в магматическом комплексе Садбери. В ходе дальнейшего изучения в породах обрамления массива Ярва-варака были обнаружены следующие признаки ударного метаморфизма: псевдотачилитовая брекчия с грис-структурой (брекчия в брекчии); полосы смятия в биотите и клиноцоизите; планарные структуры в квар-



Карта Карело-Кольского региона с местоположением предполагаемых астроблем:

A – Арваренч, J-v – Ярва-варака, J – Яврозеро, JJ – Янисъярви, G – Гирвас, KI – Келярви, K – Кумса, M – Мотко, P – Панаярви, S – Суавъярви, U-P – Усть-Поной

Map of the Karelia-Kola region with the location of the alleged astroblemes:

A – Arvarench, J-v – Jarva-varaka, J – Yavrozzero, JJ – Janisjarvi, G – Girvas, KI – Kelyarvi, K – Kumsa, M – Motko, P – Panayarvi, S – Suavyarvi, U-P – Ust-Ponoi

це [Нерович и др., 2020]; диаплектовые стекла циркона, плагиоклаза и силлиманита [Kaulina et al., 2021]; деформационные микроструктуры в монаците.

Образование брекчии в брекчии обычно связывают с неравномерно проявленным дроблением импактированных пород. При микронзондовом исследовании установлена криптокристаллическая структура цемента брекчии, которая характерна и для других псевдотрахилитов мира. Полосы смятия и излома, структура «kink banding», типичны для минералов в гнейсах основания Садбери. При этом если полосы смятия в биотите могут быть связаны с деформацией, то полосы смятия в клиноцоизите являются признаком импакта [Trepmann, Spray, 2006]. Образование диаплектовых стекол циркона и плагиоклаза происходит при температуре 1300–1500 °С и давлении выше 30 ГПа [Stöffler et al., 1986; Wittmann et al., 2006]. В монаците из гранито-гнейсов обрамления массива Ярва-варака обнаружены деформационные микроструктуры с образованием двойников и новообразованных участков локальной перекристаллизации, которые описаны и в монаците из импактных структур Вредефорт и Яррабубба [Erickson et al., 2016 и ссылки в ней].

Не все полученные данные однозначно указывают на импактное происхождение массива Ярва-варака, многие из вышеприведенных структур характерны и для эндогенных процессов [French, Koeberl, 2010], тем не менее совокупность имеющихся признаков позволяет с большой долей вероятности говорить об импактном происхождении массива Ярва-варака. Датирование циркона и бадделеита из пижонит-авгитовых диоритов массива Ярва-варака (SHRIMP-II, ЦИИ ВСЕГЕИ) определило возраст кристаллизации пород в  $2498 \pm 6$  млн лет. Геохронологические данные вместе с признаками импактного происхождения массива позволяют говорить, что на сегодняшний день массив Ярва-варака является древнейшей из известных астроблем на Балтийском щите.

## Литература

Вишневский С. А., Пальчик Н. А., Мороз Т. Н., Леонова И. В. Ударно метаморфизованное углеродистое вещество в импактиках астроблемы Янисъярви, Карелия // ДАН. 2002. Т. 387, №. 5. С. 674–677.

Нерович Л. И., Ильченко В. Л., Каулина Т. В., Базай А. В., Кунаккузин Е. Л., Мудрук С. В., Борисенко Е. С., Сосновская М. А. Первая находка псевдотрахилитовой брекчии и другие признаки ударного метаморфизма в породах обрамления массива Ярва-варака (Мончегорский рудный район) // Труды

Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. № 17. С. 384–389. doi: 10.31241/FNS.2020.17.073

Erickson T. M., Cavosie A. J., Pearce M. A., Timms N. E., Reddy S. M. Empirical constraints on shock features in monazite using shocked zircon inclusions // *Geology*. 2016. Vol. 44(8). P. 635–638. doi: 10.1130/G37979.1

French B. M., Koeberl C. The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why // *Earth-Science Rev.* 2010. Vol. 98. P. 123–170. doi: 10.1016/j.earscirev.2009.10.009

Kaulina T. V., Nerovich L. I., Il'chenko V. L., Lialina L. M., Kunakkuzin E. L., Ganninbal M. A., Mudruk S. V., Elizarov D. V., Borisenko E. S. Astroblems in the early Earth history: Precambrian impact structures of the Kola-Karelian region (East Baltic shield) // *Geological and Geo-Environmental Processes on Earth*. Springer Natural Hazards. Springer, Singapore, 2021. doi: 10.1007/978-981-16-4122-0\_3

Mashchak M. S., Naumov M. V. The Suavjärvi impact structure, NW Russia // *Meteorit. Planet. Sci.* 2012. Vol. 47, no. 10. P. 1644–1658. doi: 10.1111/j.1945-5100.2012.01428.x

Trepmann C. A., Spray J. G. Shock-induced crystal-plastic deformation and post-shock annealing of quartz: microstructural evidence from crystalline target rocks of the Charlevoix impact structure, Canada // *Eur. J. Mineral.* 2006. No. 18. P. 161–173. doi: 10.1127/0935-1221/2006/0018-0161

Stöffler D., Ostertag R., Jammes C., Pfannschmidt G. Shock metamorphism and petrology of the Shergotty achondrite // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1986. Vol. 50. P. 889–903.

Wittmann A., Kenkmann T., Schmitt R. T., Stöffler D. Shock-metamorphosed zircon in terrestrial impact craters // *Meteorit. Planet. Sci.* 2006. Vol. 41, no. 3. P. 433–454. doi: 10.1111/j.1945-5100.2006.tb00472.x

## References

Erickson T. M., Cavosie A. J., Pearce M. A., Timms N. E., Reddy S. M. Empirical constraints on shock features in monazite using shocked zircon inclusions. *Geology*. 2016;44(8):635–638. doi: 10.1130/G37979.1

French B. M., Koeberl C. The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why. *Earth-Science Rev.* 2010;98:123–170. doi: 10.1016/j.earscirev.2009.10.009

Kaulina T. V., Nerovich L. I., Il'chenko V. L., Lialina L. M., Kunakkuzin E. L., Ganninbal M. A., Mudruk S. V., Elizarov D. V., Borisenko E. S. Astroblems in the early Earth history: Precambrian impact structures of the Kola-Karelian region (East Baltic Shield). *Geological and Geo-Environmental Processes on Earth*. Springer Natural Hazards. Springer, Singapore; 2021. doi: 10.1007/978-981-16-4122-0\_3

Mashchak M. S., Naumov M. V. The Suavjärvi impact structure, NW Russia. *Meteorit. Planet. Sci.* 2012;47(10):1644–1658. doi: 10.1111/j.1945-5100.2012.01428.x

Nerovich L. I., Il'chenko V. L., Kaulina T. V., Bazay A. V., Kunakkuzin E. L., Mudruk S. V., Borisenko E. S., Sos-

novskaya M. A. The first find of pseudotachylite breccia and other signs of shock metamorphism in the country rocks of the Jarva-Varaka Massif (Monchegorsk Ore District). *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTs RAN = Proc. Fersman Sci. Session GI KSC RAS*. 2020; 17:384–389. doi: 10.31241/FNS.2020.17.073 (In Russ.)

Trepmann C. A., Spray J. G. Shock-induced crystal-plastic deformation and post-shock annealing of quartz: microstructural evidence from crystalline target rocks of the Charlevoix impact structure, Canada. *Eur. J. Mineral.* 2006;18:161–173. doi: 10.1127/0935-1221/2006/0018-0161

Stöffler D., Ostertag R., Jammes C., Pfannschmidt G. Shock metamorphism and petrology of the Shergotty achondrite. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1986;50:889–903.

Vishnevsky S. A., Pal'chik N. A., Moroz T. N., Leonova I. V. Shock metamorphism of carbonaceous matter in impactites of the Yanisjärvi Astrobleme, Karelia. *Doklady Earth Sciences*. 2002;387(9):1024–1027.

Wittmann A., Kenkmann T., Schmitt R. T., Stöffler D. Shock-metamorphosed zircon in terrestrial impact craters. *Meteorit. Planet. Sci.* 2006;41(3):433–454. doi: 10.1111/j.1945-5100.2006.tb00472.x

Поступила в редакцию / received: 19.08.2022; принята к публикации / accepted: 29.08.2022.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Каулина Татьяна Владимировна**

д-р геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник

*e-mail: kaulina@geoksc.apatity.ru*

**Нерович Людмила Ивановна**

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник

*e-mail: nerovich@geoksc.apatity.ru*

**Бочаров Владимир Николаевич**

специалист

*e-mail: bocharov@molsp.phys.spbu.ru*

**Шиловских Владимир Владимирович**

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник

*e-mail: vvshlvskh@gmail.com*

**Ильченко Вадим Леонидович**

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник

*e-mail: vadim@geoksc.apatity.ru*

### CONTRIBUTORS:

**Kaulina, Tatyana**

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher

**Nerovich, Lyudmila**

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher

**Bocharov, Vladimir**

Specialist

**Shilovskikh, Vladimir**

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher

**Il'chenko, Vadim**

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher