

УДК 552.1, 552.16

АРХЕЙСКИЕ ЧАРНОКИТ-ЭНДЕРБИТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ БЕЛОМОРЬЯ. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И УСЛОВИЯ ГЕНЕРАЦИИ РАСПЛАВОВ

**В. М. Козловский^{1*}, В. В. Травин², Т. Ф. Зингер³,
Е. Б. Курдюков¹, М. А. Якушик¹**

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
(Старомонетный пер., 35, Москва, Россия, 119017), *bazily.koz@gmail.com

² Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)

³ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН (набережная Макарова, 2,
Санкт-Петербург, Россия, 199034)

Для наиболее хорошо сохранившегося в Беломорье массива архейских эндербитов и чарнокитов Поньгома-Наволоок установлен протолит и получены условия генерации эндербитового расплава. Выплавление эндербитов главной фазы проходило при $P = 12,8–15,8$ кбар и $T = 1030–1080$ °С в результате воздействия на амфиболиты мантийного водно-углекислотно-солевого флюида. Архейский гранулитовый метаморфизм в породах Беломорского подвижного пояса обусловлен тепловым потоком, генерированным массивами чарнокитоидов, и имеет контактовую природу.

Ключевые слова: гранулиты; чарнокиты; эндербиты; метаморфический флюид; моделирование условий метаморфизма; Беломорский подвижный пояс

Для цитирования: Козловский В. М., Травин В. В., Зингер Т. Ф., Курдюков Е. Б., Якушик М. А. Архейские чарнокит-эндербитовые комплексы Беломорья. Происхождение и условия генерации расплавов // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 55–59. doi: 10.17076/geo1660

Финансирование. Работы выполнены в рамках базовых тем НИР ИГЕМ РАН, ИГ КарНЦ РАН, ИГГД РАН; анализы минералов для термобарометрических расчетов – в ЦКП «Аналитика» ИГЕМ РАН; ICP MS анализы пород – в ИГ КарНЦ РАН.

**V. M. Kozlovsky^{1*}, V. V. Travin², T. F. Zinger³, E. B. Kurdyukov¹, M. A. Yakushik¹.
ARCHEAN CHARNOCKITE–ENDERBITE COMPLEX IN THE WHITE SEA AREA:
ORIGIN AND MELT GENERATION SETTINGS**

¹ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry,
Russian Academy of Sciences (35 Staromonetnyi Per., 119017 Moscow, Russia),
*bazily.koz@gmail.com

² Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
(11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)

³ Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences
(2 Nab. Makarova, 199034 St. Petersburg, Russia)

The protolith is reproduced and the parameters of enderbite melt generation are calculated for the Pon'goma Navolok charnockite-enderbite massif (the best preserved massif of the type in the White Sea area). The enderbite melt was derived at $P = 12.8\text{--}15.8$ kbar and $T = 1030\text{--}1080$ °C from an amphibolite protolith under the impact of saline $\text{H}_2\text{O}\text{--}\text{CO}_2$ mantle fluid. The Archean granulite-facies metamorphism of the rocks of the Belomorian Mobile Belt was controlled by heat flux from the charnockite massifs and was thus of contact nature.

Keywords: granulites; charnockites; enderbites; metamorphic fluid; simulation of metamorphism settings; Belomorian Mobile Belt

For citation: Kozlovsky V. M., Travin V. V., Zinger T. F., Kurdyukov E. B., Yakushik M. A. Archean charnockite-enderbite complex in the White Sea area: origin and melt generation settings. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:55–59. doi: 10.17076/geo1660

Funding. The studies were carried out within basic research themes of IGEM RAS, Institute of Geology KarRC RAS, and Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS; analysis of minerals for thermobarometric calculations were performed at the Analytics Core Facility of IGEM RAS; rock ICP MC analysis was performed at the Institute of Geology KarRC RAS.

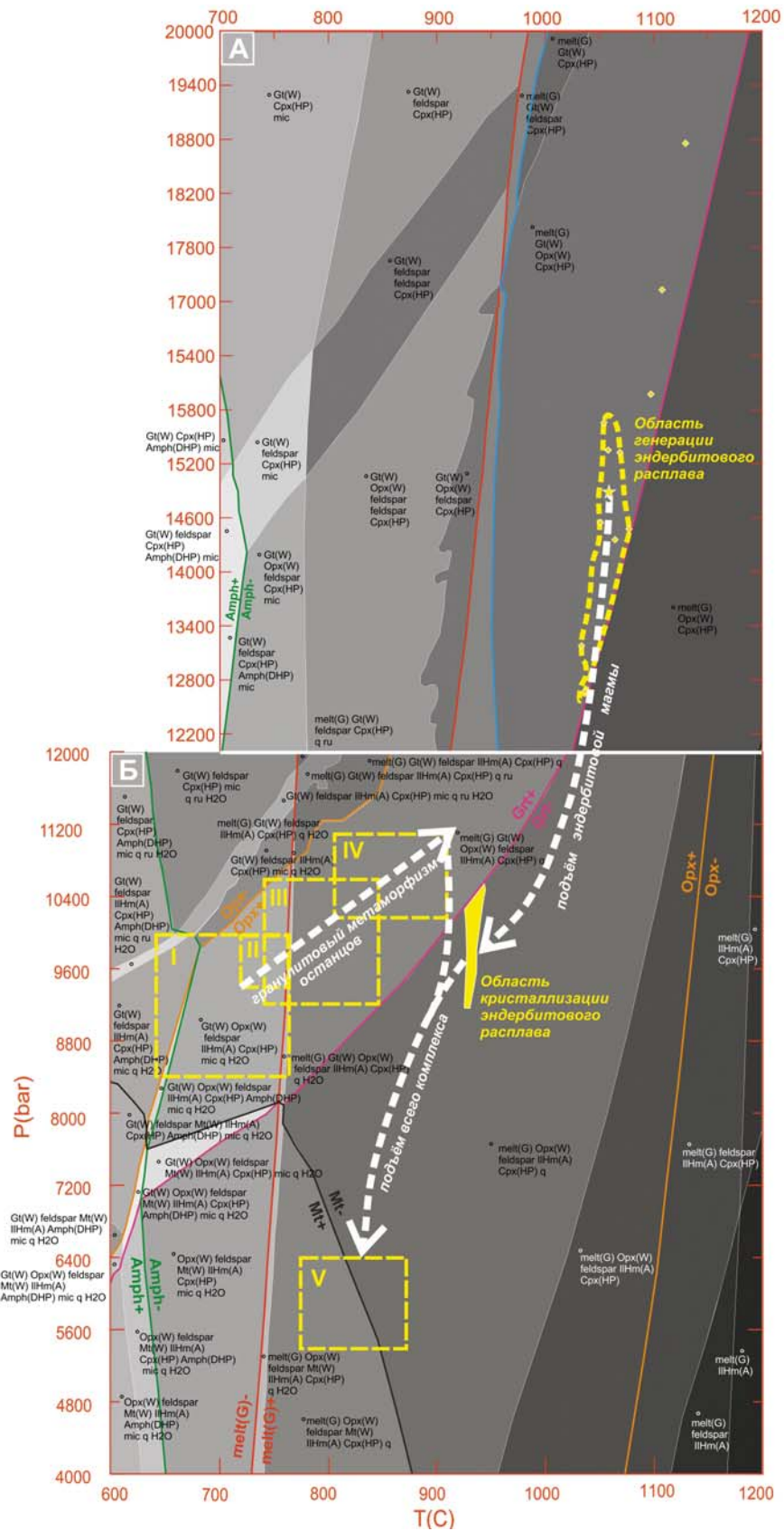
Большинство первичных особенностей архейских магматических комплексов Беломорского подвижного пояса Северной Карелии плохо сохранились из-за наложенного палеопротерозойского метаморфизма. Однако массив эндербитов и чарнокитов Поньгома-Наволока, открытый Л. А. Косым [1936] и Н. Г. Судовиковым [1937] и изучавшийся К. А. Шуркиным, Г. М. Друговой, О. И. Володичевым, Н. Е. Король и др. [Магматические..., 1980; Король, 2018], представляет собой жесткий блок, сохранившийся между отдельными зонами деформаций, что позволило оценить условия его формирования. Массив имеет двухфазное строение. Главная ранняя фаза внедрения – двупироксеновые эндербиты 2728 ± 21 млн лет [Левченков и др., 1996], поздняя дайковая фаза – пегматоидные или среднезернистые ортопироксеновые чарнокиты предположительно 2718 млн лет.

В теле массива расположены крупные (протяженностью до 800 м и мощностью 30–50 м) пластины (останцы) амфиболитов. Для останцов установлен проградный тренд метаморфических преобразований от амфиболитовой до гранулитовой фации (рис., Б), а в окружающем метаморфическом обрамлении массива следов гранулитового метаморфизма не выявлено. В останцах амфиболитов не выявлено также признаков гранулитовой мигматизации; нет их и в метаморфическом обрамлении. Это является

признаком того, что в современном эрозионном срезе представлена часть интрузивного массива, перемещенного из мест выплавки на более высокие горизонты коры.

Опираясь на многочисленные парные логарифмические соотношения петрогенных и малых элементов в амфиболитах из останцов внутри массива и в эндербитах, можно сказать, что амфиболиты останцов или аналогичные им по химическому составу более глубокие породы являлись протолитом для выплавки эндербитов.

Моделирование плавления амфиболитов и кристаллизации эндербитов проводилось методом псевдосекций с использованием программного комплекса PERPLE_X 6.8.7. В модели плавления (рис., А) соотношение петрогенных компонентов взято из анализа амфиболита из крупного останца внутри массива. Положение поля устойчивости эндербитового расплава определялось с помощью изоплет молекулярных соотношений $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MgO}+\text{CaO})$, $(\text{FeO}+\text{MgO})/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MgO}+\text{CaO})$, $\text{CaO}/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MgO}+\text{CaO})$. В модели кристаллизации (рис., Б) соотношение петрогенных компонентов взято из анализа наиболее характерного эндербита. Область кристаллизации оконтурена по изоплетам молекулярных соотношений $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ и $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MgO})$ в ортопироксене и мольной доли An в плагиоклазе.



P-T-области выплавления (A) и кристаллизации (Б) эндабитов главной фазы массива Поньгома-Наволоок

P-T parameters of (a) derivation and (b) crystallization of the main-phase enderbite melt of the Pon'goma Navolok massif

В результате моделирования определена область, в которой при плавлении амфиболитов под действием $\text{NaCl-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ -флюида наиболее вероятно могло происходить зарождение расплавов, близких по составу к эндербитам массива Поньгома-Наволока: $P = 12,8\text{--}15,8$ кбар и $T = 1030\text{--}1080$ °С (среднее значение $P = 14,8$ кбар и $T = 1060$ °С для семи анализов эндербитов) (рис., А). Для разных соотношений $\text{NaCl} : \text{CO}_2 : \text{H}_2\text{O}$ во флюиде положение области плавления в P-T-поле отличалось незначительно. Полученные весьма высокие параметры P и T указывают на то, что выплавление архейских эндербитов происходило на уровне границы кора-мантия.

Прямоугольниками на рисунке (Б), оконтуренными пунктирной линией, обозначены поля устойчивости минеральных ассоциаций в останце амфиболитов (рассчитаны методом TWQ): I – амфиболиты протолита, II – межзерновые новообразования Srx и Orx , III – мелкозернистые прожилки Srx+Orx+Pl , IV – массивные Srx+Orx+Pl гранулиты, V – гигантозернистые Srx+Orx+Pl гранулитовые жилы. Пик гранулитового метаморфизма в останцах амфиболитов проходил при существенно более низких температуре и давлении ($P = 10,2\text{--}11,0$ кбар, $T = 805\text{--}910$ °С), чем в условиях выплавления эндербитов (рис., А). Это различие совершенно необъяснимо с точки зрения регионального метаморфизма, при котором зарождение эндербитовых и чарнокитовых расплавов происходит в одном P-T-поле с гранулитами вмещающей рамы. Однако такая ситуация типична для роговиков – пород контактового метаморфизма, которые сформировались под воздействием более горячего интрузивного массива, зародившегося на большей глубине, чем окружающее его обрамление.

Приуроченность многих проявлений основных гранулитов Беломорья к массивам эндербитов и чарнокитов (Поньгома-Наволока, Вичаны, Тупая Губа и др.) свидетельствует в пользу того, что архейский гранулитовый метаморфизм в породах Беломорского подвижного пояса обусловлен тепловым воздействием интрузивных массивов, то есть имеет контакто-метаморфическую природу.

Литература

Король Н. Е. Метаморфическая эволюция Поньгомнаволоцкого гранулит-эндербит-чарнокитового комплекса Беломорского подвижного пояса // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 11. С. 34–56. doi: 10.17076/geo617

Косой Л. А. Архейские известняки и генезис Беломорской толщи Карелии // Ученые записки ЛГУ. Сер. геолого-почвенно-географическая. Вып. 3. Земная кора. Т. 2. 1936. № 10. С. 53–79.

Левченков О. А., Зингер Т. Ф., Дук В. Л., Яковлева С. З., Байкова В. С., Шулешко И. К., Матуков Д. И. U-Pb-возраст цирконов гиперстеновых диоритов и гранодиоритов о. Поньгом-Наволока (Балтийский щит, Беломорская тектоническая зона) // ДАН. 1996. Т. 349, № 1. С. 90–92.

Магматические формации раннего докембрия территории СССР. Кн. 1. Магматизм древнейшего докембрия / Ред. К. А. Шуркин, В. М. Шемякин. М.: Недра, 1980. 285 с.

Судовиков Н. Г. Геологический очерк Куземско-Поньгомского района // Международный геологический конгресс. XVII сессия. СССР. Северная экскурсия. Карельская АССР / Под ред. А. А. Полканова. Л., 1937. С. 105–117.

References

Korol' N. E. Metamorphic evolution of the Pongomnavolok granulite-enderbite-charnockite complex, Belomorian Mobile Belt. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2018;11:34–56. doi: 10.17076/geo617 (In Russ.)

Kosoi L. A. Archean limestones and genesis of the Belomorian formation of Karelia. *Proceedings of Leningrad State University. Ser. Geology. Soil Science. Geography*. Iss. 3. The Earth's crust. 1936;2(10):53–79. (In Russ.)

Levchenkov O. A., Zinger T. F., Duk V. L., Yakovleva S. Z., Baikova V. S., Shuleshko I. K., Matukov D. I. U-Pb-age of zircons of hyperstene diorites and granodiorites of Pongom-Navolok Island (Baltic Shield, Belomorian tectonic zone). *Doklady Earth Sciences*. 1996;349(1):90–92. (In Russ.)

Shurkin K. A., Shemyakin V. M. (eds.). Igneous formations of the Early Precambrian on the territory of the USSR. Book 1. Magmatism of the oldest Precambrian. Moscow: Nedra; 1980. 285 p. (In Russ.)

Sudovikov N. G. Geological sketch of the Kuzema-Pongoma region. *International Geological Congress. XVII session. USSR. Northern excursion. Karelian Autonomous Soviet Socialist Republic*. Leningrad; 1937. P. 105–117. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 19.08.2022; принята к публикации / accepted: 25.08.2022.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Козловский Василий Михайлович

д-р геол.-мин. наук, старший научный сотрудник
лаборатории метаморфизма и метасоматизма
им. Д. С. Коржинского

e-mail: bazily.koz@gmail.com

Травин Вениамин Вениаминович

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник музея
геологии докембрия

e-mail: vetr@list.ru

Зингер Татьяна Филипповна

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник
лаборатории геологии и геодинамики

e-mail: tzingер@mail.ru

Курдюков Евгений Борисович

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник
лаборатории метаморфизма и метасоматизма
им. Д. С. Коржинского

e-mail: e-kurdyukov@yandex.ru

Якушик Михаил Алексеевич

младший научный сотрудник лаборатории метаморфизма
и метасоматизма им. Д. С. Коржинского

e-mail: yakush.mihail@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Kozlovsky, Vasily

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

Travin, Veniamin

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

Zinger, Tatyana

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

Kurdyukov, Evgeny

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

Yakushik, Mikhail

Junior Researcher