

Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр
Российской академии наук»



ТРУДЫ

КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

№ 2, 2021

Серия ГЕОЛОГИЯ ДОКЕМБРИЯ

Петрозаводск
2021

Главный редактор
А. Ф. ТИТОВ, член-корр. РАН, д. б. н., проф.

Редакционный совет

А. М. АСХАБОВ, академик РАН, д. г.-м. н., проф.; О. Н. БАХМЕТ (зам. главного редактора), член-корр. РАН, д. б. н.; А. В. ВОРОНИН, д. т. н., проф.; И. В. ДРОБЫШЕВ, доктор биологии (Швеция – Канада); Э. В. ИВАНТЕР, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; Х. ЙООСТЕН, доктор биологии, проф. (Германия); А. М. КРЫШЕНЬ, д. б. н.; Е. В. КУДРЯШОВА, д. флс. н., проф.; О. Л. КУЗНЕЦОВ, д. б. н.; Н. В. ЛУКИНА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; В. В. МАЗАЛОВ, д. ф.-м. н., проф.; Н. Н. НЕМОВА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; О. ОВАСКАЙНЕН, доктор математики, проф. (Финляндия); О. Н. ПУГАЧЕВ, академик РАН, д. б. н.; С. А. СУББОТИН, доктор биологии (США); Д. А. СУБЕТТО, д. г. н.; Н. Н. ФИЛАТОВ, член-корр. РАН, д. г. н., проф.; Т. Э. ХАНГ, доктор географии (Эстония); П. ХЁЛЬТТЯ, доктор геологии, проф. (Финляндия); К. ШАЕВСКИЙ, доктор математики, проф. (Польша); В. В. ЩИПЦОВ, д. г.-м. н., проф.

Редакционная коллегия серии «Геология докембрия»

Ю. Л. ВОЙТЕХОВСКИЙ, д. г.-м. н., проф.; О. И. ВОЛОДИЧЕВ, д. г.-м. н.; В. В. КОВАЛЕВСКИЙ, д. г.-м. н.; А. Б. КУЗНЕЦОВ, член-корр. РАН, д. г.-м. н.; В. С. КУЛИКОВ, д. г.-м. н.; Ю. А. МОРОЗОВ, член-корр. РАН, д. г.-м. н.; А. В. ПЕРВУНИНА, к. г.-м. н.; А. М. ПЫСТИН, д. г.-м. н., проф.; А. В. САМСОНОВ, член-корр. РАН, д. г.-м. н.; С. А. СВЕТОВ (зам. отв. редактора), д. г.-м. н., проф.; Е. Н. СВЕТОВА (ответственный секретарь), к. г.-м. н.; А. И. СЛАБУНОВ, д. г.-м. н.; А. СОЭСОО, доктор геологии, проф. (Эстония); А. В. СТЕПАНОВА, к. г.-м. н.; Н. Н. ФИЛАТОВ, чл.-корр. РАН, д. г. н., проф.; Н. В. ШАРОВ, д. г.-м. н.; В. В. ЩИПЦОВ (отв. редактор), д. г.-м. н., проф.

Издается с января 2009 г.

Адрес редакции: 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
Тел. (8142)762018; факс (8142)769600
E-mail: trudy@krc.karelia.ru

Электронная полнотекстовая версия: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

TRANSACTIONS

**of the KARELIAN RESEARCH CENTRE
of the RUSSIAN ACADEMY of SCIENCES**

No. 2, 2021

PRECAMBRIAN GEOLOGY Series

Petrozavodsk
2021

Editor-in-Chief

A. F. TITOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.

Editorial Council

A. M. ASKHABOV, RAS Academician, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; O. N. BAKHMET (Deputy Editor-in-Chief), RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.); I. V. DROBYSHEV, PhD (Biol.) (Sweden – Canada); N. N. FILATOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geog.), Prof.; T. E. HANG, PhD (Geog.) (Estonia); P. HÖLTTÄ, PhD (Geol.), Prof. (Finland); E. V. IVANTER, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; H. JOOSTEN, Dr. (Biol.), Prof. (Germany); A. M. KRYSHEN', DSc (Biol.); E. V. KUDRYASHOVA, DSc (Phil.), Prof.; O. L. KUZNETSOV, DSc (Biol.); N. V. LUKINA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; V. V. MAZALOV, DSc (Phys.-Math.), Prof.; N. N. NEMOVA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; O. OVASKAINEN, PhD (Math.), Prof. (Finland); O. N. PUGACHYOV, RAS Academician, DSc (Biol.); V. V. SHCHIPTSOV, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; S. A. SUBBOTIN, PhD (Biol.) (USA); D. A. SUBETTO, DSc (Geog.); K. SZAJEWSKI, PhD (Math.), Prof. (Poland); A. V. VORONIN, DSc (Tech.), Prof.

Editorial Board of the "Precambrian Geology" Series

N. N. FILATOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geog.); V. V. KOVALEVSKY, DSc (Geol.-Miner.); V. S. KULIKOV, DSc (Geol.-Miner.); A. B. KUZNETSOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geol.-Miner.); Yu. A. MOROZOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geol.-Miner.); A. V. PERVUNINA, PhD (Geol.-Miner.); A. M. PYSTIN, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; A. V. SAMSONOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geol.-Miner.); N. V. SHAROV, DSc (Geol.-Miner.); V. V. SHCHIPTSOV (Editor-in-Charge), DSc (Geol.-Miner.), Prof.; A. I. SLABUNOV, DSc (Geol.-Miner.); A. SOESOO, PhD (Geol.), Prof. (Estonia); A. V. STEPANOVA, PhD (Geol.-Miner.); S. A. SVETOV (Deputy Editor-in-Charge), DSc (Geol.-Miner.), Prof.; E. N. SVETOVA (Executive Secretary), PhD (Geol.-Miner.); O. I. VOLODICHEV, DSc (Geol.-Miner.); Yu. L. VOYTEKHOVSKY, DSc (Geol.-Miner.), Prof.

Published since January 2009

Monthly

Editorial Office address: 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

Tel. (8142)762018; fax (8142)769600

E-mail: trudy@krc.karelia.ru

Full-text electronic version: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

© Karelian Research Centre, Russian Academy of
Sciences (KarRC RAS), 2021

© Institute of Geology of KarRC RAS, 2021

УДК 553.21

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ДОКЕМБРИЙСКОГО ЭТАПА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛИ

С. И. Турченко

Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

Работа рассматривает формирование рудных месторождений и их глобальное размещение в докембрийских тектонических структурах Земли (металлогению). Рудоносные структуры развивались последовательно от плюм-тектонического палеоархей-палеопротерозойского (3,6–2,2 млрд лет) анорогенного типа в рифтогенных структурах до преимущественно плейт-тектонического синорогенного типа в аккреционных и коллизионных структурах палео-неопротерозоя (2,2–0,6 млрд лет). Показана смена генетических типов месторождений во времени. Объяснено различие в формировании месторождений на континентах гондванской и лавразийской групп, вызванное различием геодинамического развития северной и южной гемисфер Земли в неопротерозое. Работа представляет интерес для геологов – специалистов по рудным месторождениям, а также для студентов образовательных учреждений геологической направленности.

Ключевые слова: металлогения; рудообразование; архей; протерозой; рудоносные структуры.

S. I. Turchenko. METALLOGENY DURING THE PRECAMBRIAN STAGE IN GEOLOGICAL EVOLUTION OF THE EARTH

The article explores the genesis of ore deposits and their global distribution in Precambrian tectonic structures of the Earth (metallogeology). Ore-bearing structures developed successively from the plume-tectonic Paleoproterozoic (3.6–2.2 Ga) anorogenic type in riftogenic structures to the mostly plate-tectonic synorogenic type in Paleoproterozoic (2.2–0.6 Ga) accretion and collision structures. Special attention is given to the difference in the genesis of deposits between the Northern and the Southern hemispheres due to geodynamic differences. The article is of interest for geologists specializing in ore deposits, and for geology students.

Keywords: metallogeny; ore genesis; Archean; Proterozoic; ore-bearing structures.

Введение

Наиболее ранняя эра геологической жизни планеты Земля – эоархей (4,1–3,6 млрд лет по: [Gradstein et al., 2005]) представляла собой временное подразделение эпохи догеологического существования планеты от периода

планетной аккреции $T_0 = 4,567$ до 3,8 млрд лет, куда входят этапы: стадии аккреции планеты, образования ее протоядра, примитивной мантии и первичной мафитовой протокоры, а также время тяжелой метеоритной бомбардировки, когда большая часть первичной протокоры была разрушена. Мантия образовалась

при дифференциации метеоритного вещества после его аккреции из Солнечной небулы. Доступные химические, изотопные и астрономические свидетельства подтверждают, что материалы, которые наблюдаются как метеориты, изначально являлись фрагментами астероидов, разместившихся на орбите между Юпитером и Марсом. Метеориты имеют максимально древний возраст – $4567,1 \pm 0,16$ млн лет [Amelin et al., 2006] и Fe-Mg силикатный (хондритовый) и Fe-Ni металлический составы. Их распределение на поверхности Земли при аккреции было весьма неравномерно, что сказалось в последующем на формировании мантийных и коровых вещественных неоднородностей.

Палеоархейская эра (3,6–3,2 млрд лет), с которой, собственно, начался докембрийский этап геологического развития Земли, характеризуется набором рудных месторождений, более типичных для неархейско-палеопротерозойских эр. Некоторые типы месторождений в палеоархее отличаются структурно-тектоническим положением от молодых аналогов. Например, несмотря на сходство состава флюидов и механизмов рудообразования, палеоархейские жильные месторождения золота формируются в тектонических обстановках, отличных от обстановок орогенеза, характерных для молодых докембрийских золоторудных жильных месторождений. Протерозойские эры в целом также различаются по геодинамике и, соответственно, металлогении: ранняя стадия палеопротерозоя (2,5–2,2 млрд лет) отличается анорогенным стилем развития и формированием рифтогенных интрузивно-вулканогенных структур, несущих основные золоторудные и медно-цинк-колчеданные месторождения. Поздняя стадия (2,2–1,6 млрд лет) характеризуется развитием орогенных рудоносных структур с формированием Cu-Ni-PGE, Au и колчеданных Cu-Zn-Pb магмато-гидротермальных месторождений в пределах докембрийских кратонов. Для мезо-неопротерозойских эр (1,6–0,6 млрд лет) развития Северного и Южного полушарий Земли устанавливаются геодинамические и металлогенические различия, выраженные в образовании платформенных структур, не несущих активно-тектонических генетического типа рудных месторождений, и аккреционно-рифтогенных структур и месторождений в Южном полушарии.

Материалы и обсуждение

В ряде работ показано, что существует мало геологических свидетельств о плейт-тектоническом стиле развития земной континенталь-

ной коры в докембрийских кратонах в период от 3515 до 3240 млн лет [Smithies et al., 2003; Van Kranendonk et al., 2004, 2007]. Эти авторы пришли к заключению, что ранний рост земной коры произошел в результате действия серии мантийных плюмов, вызывавших выплавление мафических базальтов, которые сформировали подобия океанических плато. Ранние плюмы инициировали коровый рост геологических площадей, а не поясов, как геологических особенностей плейт-тектоники, начавших свое развитие в палеопротерозое. Кроме того, в результате действия последовательных плюмов происходило разрастание литосферы, что приводило к возможности формирования серии комплексов плюмовых куполов и разобщенных вулканических покровов, которые образовывали вулканические палеобассейны.

Архейские рудоносные структуры и месторождения. Периодическое развитие вулканических комплексов в палеобассейнах на мафит-ультрамафитовом плюмовом плато создавало идеальные условия для формирования поколения вулканогенных массивных сульфидных (колчеданных) месторождений. Такого рода объекты являлись материнским источником мафит-ультрамафитовых пород – носителей никелевого и платиноидного оруденения независимо от возраста (от палеоархей до протерозоя). Для таких пород палео- и мезоархейского возраста (3,6–2,8 млрд лет) установлены по Sm-Nd изотопным данным положительные и близкие к CHUR значения ϵNd , отвечающие первичному деплетированному и хондритовому резервуарам. Среди них имеются также отрицательные значения ϵNd , соответствующие веществу, контаминированному наиболее ранними вулканогенными отложениями. Однако из-за дефицита серы в таких древнейших отложениях сульфидные никелевые и платино-металльные месторождения неизвестны, выявлены лишь небольшие месторождения (Шангани) и рудопроявления в коматиитах с возрастом 3526 ± 48 и $\epsilon Nd +0,7$ из низов группы Онвервахт зеленокаменного пояса Барбертон в Каапвальском кратоне Южной Африки. Для мафит-ультрамафитовых пород мантийного происхождения мезо- и неархейского возраста (3,2–2,6 млрд лет) установлены по Sm-Nd изотопным данным положительные значения ϵNd , свидетельствующие о мантийном резервуаре, служившем источником формирования вулканогенных и интрузивных пород зеленокаменных поясов. Неархейские крупные сульфидные Ni-PGE месторождения в коматиитах и телах коматиитовых перидотитов известны лишь в кратоне Йилгарн Западной Австралии

(рудные районы Камбалда и Фортескью), в других кратонах мира – только рудопоявления, и все они составляют ранний этап формирования Ni-PGE месторождений.

Возможно, самым значительным металлогеническим различием палеоархея от мезо-неоархея и протерозоя были обстановки, в которых развивались золоторудные месторождения. Жильные золоторудные месторождения на протяжении большей части геологического времени были связаны с линейными, масштаба земной коры, сдвиговыми зонами. В противоположность этому жильные золоторудные месторождения, сформированные до 3200 млн лет, связаны с крупными кольцевыми разломами, вдоль которых концентрируются гранитные комплексы, по крайней мере в случае месторождений Бамбу-Крик в кратоне Пилбара [Zegers et al., 2002] или месторождений Витватерсранд в кратоне Каапваал, образованными в обстановках корового растяжения.

Протерозойские рудоносные структуры и месторождения. Периодические переплавления литосферной мантии во время последовательных плюм-событий производили все более эволюционированные расплавы [Smithies et al., 2003], которые были перспективными для накопления крупноионных литофильных элементов, типичных для редкометалльных месторождений, например, Ta- и Sn-пегматитовые месторождения в кратоне Пилбара. Первые граниты А-типа появляются в неоархее (~2,8 млрд лет) и далее прослеживаются в геологической истории развития Земли. Однако расцвет этого магматизма в докембрии приходится в интервал времени ~ 2,0–1,0 млрд лет. С этого времени начинается новая стадия мантийной динамики, определившей начало нового суперплюм-суперконтинентного цикла. Типичным и наиболее распространенным представителем данного типа магматизма являются граниты рапакиви. С рапакиви-гранитными комплексами ассоциирует широкий круг месторождений различных генетических типов от типично магматогенных до месторождений, в которых связь с магматизмом может быть чрезвычайно сложной и неоднозначной. Главными типами месторождений, среди которых встречаются крупные и уникальные объекты, являются редкометалльные и Sn-редкометалльные, Cu-U-Au-REE, Fe-Ti-апатитовые и U-месторождения типа несогласий. Установлено, что большая часть крупных и суперкрупных месторождений сформированы в два основных эпизода 1,85–1,70 и 1,30–1,00 млрд лет, и практически все они были связаны с активностью мантийных плюмов.

Австралийские рудоносные структуры протерозоя вмещают значительные минеральные ресурсы, некоторые из них принадлежат к числу крупнейших в мире. Они представлены: 1) слоистыми железистыми формациями с месторождениями Fe, 2) орогенными аккреционными структурами, 3) магматическими рудными системами, 4) флюидно-разломными стратиформными и стратобаундовыми осадочными Pb-Zn месторождениями и 5) урановыми месторождениями типа несогласий. Эти минеральные системы образовались во внутриплитных, плитно-краевых, задуговых рифтовых и коллизионных тектонических условиях. Так, например, бассейн Хамерсли, сформировавшийся в интервале 2630–2450 млн лет, обладает крупнейшими ресурсами Fe и коррелируется с низами разреза супергруппы Трансвааль (2640–2055 млн лет) – слоистой железистой формации (СЖФ) в Южной Африке. Происхождение СЖФ остается спорным по вопросам моделей подводных гидротермальных источников в океанических бассейнах или типа красноморских рассолов. Во всех случаях плотность кислородно-бескислородной стратифицированной системы необходима для обеспечения осаждения Fe³⁺. Орогенные интрузивные системы, связанные с оруденением, достаточно распространены в протерозойских породах Австралии, с такими примерами, как граниты Пайн-Крик в орогенах Танами и Арунта на севере австралийской платформы, а также в орогене Каприкорн в Западной Австралии. Эти отложения отражают коллизионные и аккреционные события между 1800–1790 млн лет. Орогенные Au-носные жильные тела, как правило, но не всегда связаны по времени с гранитами, а генетическая связь остается все же бесспорной. Магматогенные Ni-Cu-PGE и Fe-Ti-V рудные месторождения в мафит-ультрамафитовых системах присутствуют в орогене Холлс-Крик и комплексе Масгрейв с возрастом около 1080 млн лет. Минеральные системы, связанные с анорогенным магматизмом, охватывают широкий круг гидротермальных месторождений, из которых экономически наиболее важными являются Fe-окисные Cu-Au месторождения, такие как мирового класса месторождение Олимпик-Дэм в Южной Австралии. В этой же группе находятся Pb-Zn-Ag-Ba месторождения с Cu-Au-W (ороген Каприкорн) и мирового класса месторождение Тефлер (Au-Cu). Последнее было одним из крупнейших производителей золота в Австралии. В щелочных породах возраста 1100 и 800 млн лет, в том числе и алмазоносных карбонатитах и лампроитах, были установлены месторождения алмазов,

как в лампроитовых трубках Аргайл с возрастом 1180 млн лет, которое является крупнейшим производителем алмазов. Исследования в других местах показывают, что эти щелочные породы являются дистальным выражением событий мантийных плюмов. Среди осадочных горных пород залегают месторождения мирового класса Zn-Pb-Ag сульфидных руд с возрастом около 1700 и 1500 млн лет (МакАртур, Маунт-Айза и Брокен-Хилл). Эти месторождения размещены в метаморфизованных богатых органикой сланцах и связаны с терригенно-эвапоритовыми отложениями и бимодальной вулканической активностью. Концептуальные модели рудообразования предложены из ряда гидротермальных флюидов вдоль крупных разломов в бассейнах с недостатком кислорода и бактериальной сульфатредукцией и осаждением сульфидов. Необычные и большие несульфидные карбонатные Pb-Zn рудные месторождения группы Магеллан размещаются в обломочных породах с возрастом около

1800 млн лет. Отсутствие сульфидов заставляет предположить, что эти месторождения были связаны с процессами палеовыветривания, индуцирующими окисление и мобилизацию Pb и Zn в виде карбонатов. Урановорудные системы кроме U-содержащих Fe-окисно-Cu-Au месторождений включают также мирового класса месторождения несогласия Джабилука в бассейне Пайн-Крик. Вероятно, что несколько гигантских мирового класса рудных систем в позднем протерозое Австралии сформировались при внутриплитных тектоно-термальных событиях.

Типы минеральных месторождений обладают различным по времени распределением с пиками в специфические периоды развития Земли. Месторождения различных металлов, чувствительные к окислительно-восстановительным условиям, показывают многоэтапный характер их формирования на протяжении истории образования суперконтинентов эволюционирующей Земли (рис. 1). Форми-

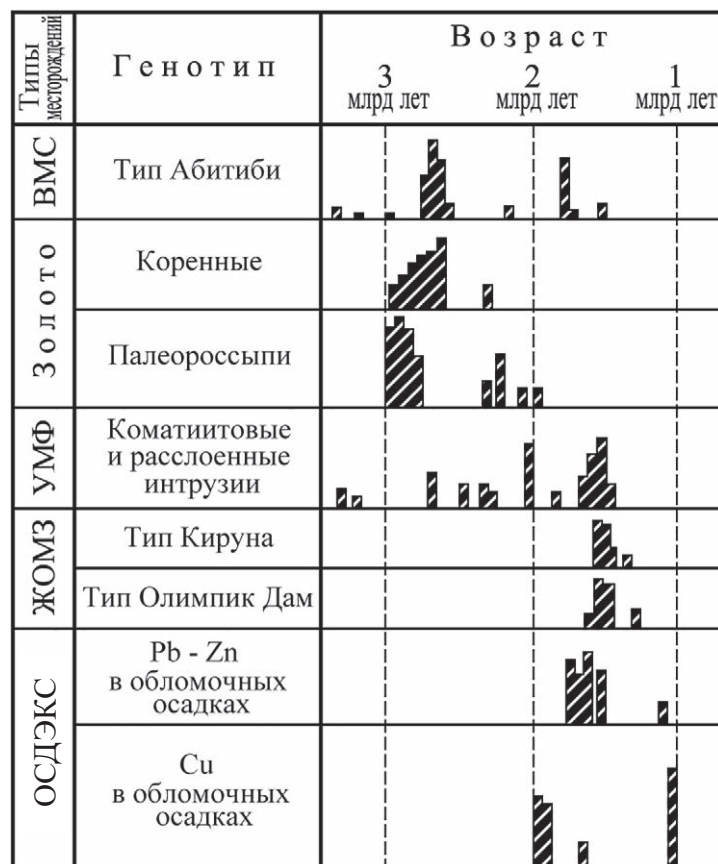


Рис. 1. Распределение во времени докембрийских генотипов месторождений. Месторождения: ВМС – вулканогенные массивные сульфидные (колчеданные), УМФ – Cu-Ni сульфидные и PGE в ультрамафит-мафитовых формациях, ЖОМЗ – Fe-окисные медно-золоторудные, ОСДЭКС – осадочно-эксгаляционные и стратиформные Pb-Zn и Cu

Fig. 1. Time distribution of the Precambrian genotypes in deposits. Deposits: BMC – volcanogenic massive sulfide (pyrite), УМФ – Cu-Ni sulfide and PGE in ultramafic-mafic formations, ЖОМЗ – Fe-oxide copper-gold ore, ОСДЭКС – sedimentary-exhalation and stratiform Pb-Zn and Cu

рование раннедокембрийских месторождений происходило в большинстве своем около 2,7 и 2,0–1,8 млрд лет и реже в период 1,7–0,6 млрд лет, от цикла к циклу континентального роста земной коры при изменениях в сторону современного стиля плейт-тектонических процессов.

Вулканогенные массивные сульфидные месторождения формировались на конвергентных границах континентов, на которых также образовывались орогенические золоторудные месторождения. Первое появление железокислых медно-золоторудных месторождений около 1,55 млрд лет тесно связано с раннедокембрийской метасоматизированной субконтинентальной литосферной мантией (СКЛМ) под ранними кратонами, являющимися центрами суперконтинентов. Примером может быть гигантское месторождение Олимпик-Дэм в кратоне Гоулер, Южная Австралия. Гигантские архейские (2985–2780 млн лет) палеороссыпные месторождения золота и урана, такие как Витватерсранд в Южной Африке, формировались под действием флювиальной сортировки тяжелых минералов в экстремальных климатических условиях, но сохранившихся благодаря низкой плотности или плавучести СКЛМ под вмещающими такие месторождения бассейнами. Такие же месторождения золота, связанные с фельзитовыми интрузиями, имеющие мантийно-коровые изотопные значения, образовывались на границах кратонов – ядер раннедокембрийских суперконтинентов. Постпалеопротерозойский подъем и эрозия, вероятно, в орогенических поясах с высокой плотностью литосферы привели к захоронению или уничтожению рассмотренных типов месторождений в неопротерозой-фанерозойских континентах.

Периодическое увеличение количества магматических комплексов, установленных по U-Pb возрасту циркона, вместе с вариациями изотопного состава Nd в кластогенных и Sr в хемогенных осадках совпадают с этапами роста континентальной коры начиная с 3,0 млрд лет с пиками около 2,7 и 1,9 млрд лет и перерывами между ними в период 2,4–2,2 млрд лет [Melezhik et al., 2013; Кузнецов и др., 2018]. Каждый такой пик вызван резким увеличением магматической активности и тектонической перестройкой земной коры. Позднеархейский пик связан с глобальным формированием основной массы зеленокаменных поясов с возрастом 2,75–2,60 млрд лет (например, в кратоне Йилгарн, провинциях Сьюпириор и Слейв в Канаде, кратонах Западной Африки, Индии, Сан-Франсиско в Бразилии, Карельском на Фенно-

скандинавском щите, Средне-Приднепровской провинции Украинского щита). Палеопротерозойский пик связан с новым этапом образования ювенильной коры около 1,9 млрд лет. Эти пики формирования континентальной коры и, соответственно, образования суперконтинентов являются также пиками глобального контроля металлогении. Один из последних этапов прироста коры периода 2,1–1,6 млрд лет отвечал росту и распаду суперконтинента Нуна. Последующий период 1,4–0,6 млрд лет связан с образованием суперконтинента Родиния, его распадом и формированием континентов Гондвана и Лавразия.

Неоднородность литосферы, существенно оформленная к конечному докембрийскому этапу геологического развития Земли, отражается в неоднородном характере распределения месторождений в этих позднедокембрийских континентах, составляющих их минерально-сырьевой потенциал (рис. 2). В качестве оценочного инструмента сравнения минерально-сырьевого потенциала Лавразии и Гондваны использована ценность минеральных ресурсов только для докембрийских месторождений, взятая из таблиц в: [Красный, 2000]. На рис. 2 показана неоднородность в распределении металлов в протоконтинентах Лавразия и Гондвана. Особенно заметна эта неоднородность по Au, PGE, Ni и Nb+Ta.

Структурно-тектоническое развитие докембрийского этапа геологической эволюции планеты Земля в раннедокембрийских кратонах образовавшегося протоконтинента Лавразия (фундаменты Восточно-Европейской, Восточно-Сибирской и Северо-Американской платформ) в период мезо- и неопротерозоя (1,6–0,54 млрд лет) происходило по платформенному сценарию. Активного действия докембрийских тектономагматических процессов при таком сценарии не происходило, поэтому не было и активного проявления металлогенических следствий, а отсюда и проявления разнообразных рудообразующих процессов. Завершение докембрийского этапа геологического развития оценивается сегодня в 0,54 млрд лет. В северной гемисфере для геологического периода 1,6–0,54 млрд лет, соответствующего мезо- и неопротерозою [Gradstein et al., 2005], были проведены многочисленные исследования, позволившие охарактеризовать стратиграфическое расчленение этих докембрийских отложений еще в XX веке [Соколов, 1952; Беккер, 1988], а в настоящее время детализировать по фаунистическим остаткам [Голубкова и др., 2010, 2018] и изотопно-геохронологическим данным [Семихатов и др., 2015], про-

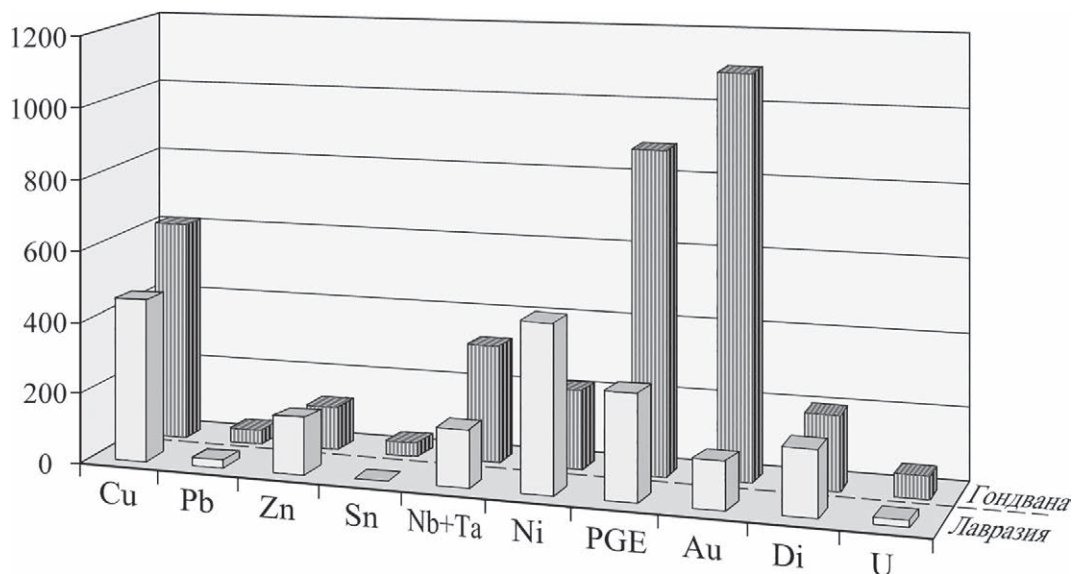


Рис. 2. Характер распределения докембрийских месторождений в протоконтинентах Гондвана и Лавразия по потенциальной ценности минеральных ресурсов площадей, взятых по: [Красный, 2000]. Преобладание ресурсов PGE в Гондване связано с гигантскими мало-сульфидными PGE-месторождениями плутона Бушвельд в ЮАР. Преобладание ресурсов Ni в Лавразии связано с докембрийскими месторождениями Садбери, Лак-дез-Иль, Томпсон в Канаде и Печенга на Кольском п-ове России

Fig. 2. Nature of the Precambrian deposits distribution in the proto-continents of Gondwana and Laurasia according to the potential value of mineral resources of the areas after [Krasnyi, 2000]. The predominance of PGE resources in Gondwana is associated with the giant low-sulfide PGE deposits of the Bushveld pluton in South Africa. The predominance of Ni resources in Laurasia is associated with the Precambrian deposits of Sudbury, Lac des Iles, Thompson in Canada and Pechenga on the Kola Peninsula of Russia

веденным российскими исследователями для Восточно-Европейской [Кузнецов и др., 2003; Kuznetsov et al., 2017; Зайцева и др., 2019] и Восточно-Сибирской [Зайцева и др., 2016, 2017] платформ.

В южной гемисфере Земли геологическое развитие происходило значительно сложнее, поскольку на материках Гондванской группы мезо-неопротерозойская эра не заканчивалась формированием платформенных структур. В протоматериках Гондванской группы продолжали развиваться неопротерозойские орогенические зоны (1600–600 млн лет) и пояса тектоно-термальной переработки древних структур, по сути, коллизионные пояса возраста около 1100 млн лет (рис. 3). Тектонофизическая причина этого явления в современной литературе пока не находит должного отражения. Однако по мнению автора, объяснение лежит в глобально-планетарном явлении – устойчивом проявлении 23,4-градусного наклона оси вращения Земли и ее периодической прецессии на 1–1,5 градуса, возникших именно к данному периоду жизни Земли. Из-за этого более тяжелые ядерно-мантийные массы оболочек Земли сместились в сторону Южного полушария,

проявив тем самым продолжение тектонофизической активности плюмовой и апвеллинговой природы орогенических структур позднего протерозоя в этой части Земли. На рис. 3 хорошо видно, где проявлены такие области, причем фанерозойские орогенические пояса, такие как Андийские, Западная Антарктида, Новая Зеландия и Внутренне-Гондванские (Сьерра в Аргентине, Кейптаунская в Южной Африке, Элсуэрт в Антарктиде и Тасманийский ороген в Восточной Австралии) обрамляют позднепротерозойские структуры. А сами позднепротерозойские орогенические пояса (Бразилиды в Южной Америке, Пан-Африканские, Росские в Антарктиде, Северо- и Центрально-Австралийские – Деламерийские) и зоны тектоно-термальной переработки (Рондония в Южной Америке, Кибара в Африке, Олбани-Фрезер и Масгрейв в Австралии) более древних структур располагались в центральных частях протоматерика Гондвана. Кроме того, здесь же показаны раннедокембрийские кратоны (щиты), наиболее крупный из которых, Восточно-Антарктический, плохо изучен из-за мощного ледового покрова, но изображен по геофизическим наблюдениям.

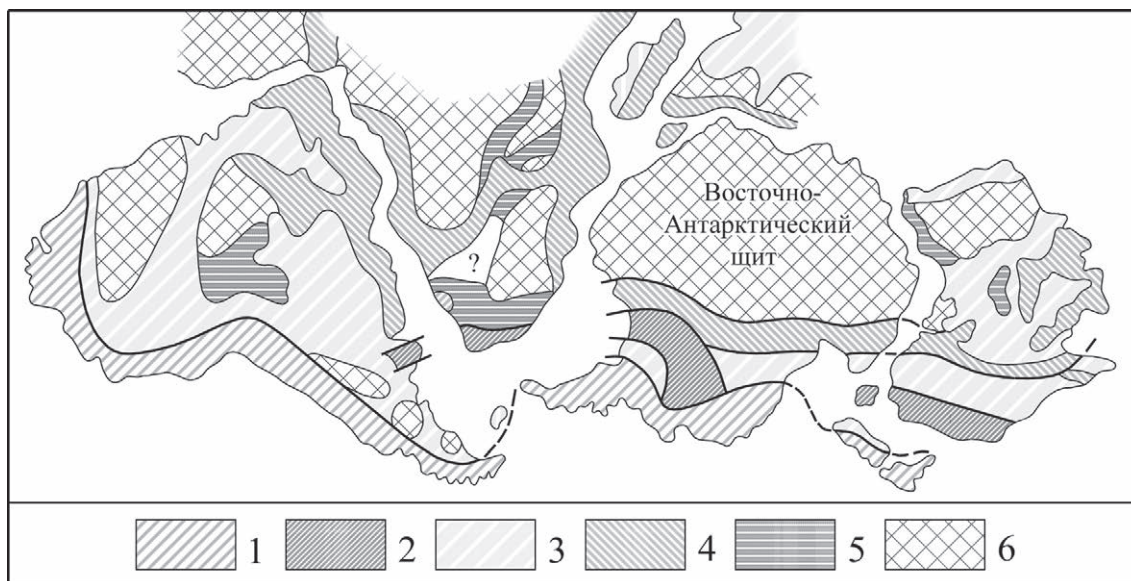


Рис. 3. Реконструкция протоматерика Гондвана с главными геологическими структурами.

Фанерозойские орогенетические пояса: 1 – Андийские, Западно-Антарктические, Новой Зеландии, 2 – Внутренне-Гондванские (Сьерра в Аргентине, Кейптаун в Южной Африке, Элсуэрт в Антарктиде и Тасманийский в Восточной Австралии), 3 – фанерозойский кратонический покров на фанерозойских орогенетических структурах, 4 – позднепротерозойские орогенетические пояса (Бразилиды в Южной Америке, Пан-Африканские в Африке, Россские в Антарктиде и Деламерийские в Австралии), 5 – позднепротерозойские пояса и зоны тектоно-термальной переработки, 6 – раннедокембрийские кратоны

Fig. 3. Reconstruction of the Gondwana protocontinent with major geological structures.

Phanerozoic orogenic belts: 1 – Andean, West Antarctic, New Zealand, 2 – Inner Gondwana (Sierra in Argentina, Cape Town in South Africa, Ellsworth in Antarctica and Tasmanian in Eastern Australia), 3 – Phanerozoic cratonic cover on Phanerozoic orogenic structures, 4 – Late Proterozoic orogenic belts (Brazilids in South America, Pan-African in Africa, Ross in Antarctica and Delamerian in Australia), 5 – Late Proterozoic belts and zones of tectonic-thermal processing, 6 – Early Precambrian cratons

Вместе с этим надо отметить современный вклад российских исследователей в дело изучения металлоносности отдельных фрагментарных обнаженных выходов пород структурных комплексов Антарктиды (структурно-геологические с металлогенией исследования на Земле Эндерби и Земле Кемпа [Михальский и др., 2016]. В работе Е. В. Михальского с соавторами [2016] приведены данные по составлению сводных карт геологического содержания масштаба 1:1 000 000–1:5 000 000 центрального сектора Восточной Антарктиды, в том числе карты полезных ископаемых. По результатам экспедиций 1962–1971 годов в пределах изученной площади описано в отчетной документации или упомянуто в полевых материалах около 50 пунктов минерализации, относящихся к металлическим (благородные, цветные, черные, редкие металлы) и неметаллическим (поделочные и коллекционные камни, горный хрусталь, слюды) видам минерального сырья. Завершается описание кратким подведением итогов рассмотрения полезных ископаемых Земли Эндерби и Земли Кемпа, на основании

которого делается вывод, что изученный регион может рассматриваться как перспективный на железо, на цветные металлы (особенно на медь), драгоценные камни и поделочное сырье, а также алмазы.

Появление новых генетических типов (ЖОМЗ, ОСДЭК) (см. рис. 1) и в особенности свинцово-цинковых месторождений, рассмотренных выше для отдельных орогенетических структур позднего протерозоя Северо- и Центрально-Австралийского пояса, было связано с изменением химизма рудообразующих процессов. В ходе осадконакопления в эпиконтинентальных орогенных бассейнах создавались условия, благоприятствующие отложению Pb-Zn руд, которые выразились в подтоке глубинного тепла и мантийного рудного вещества при вновь активизировавшемся апвеллинге из-за позднепротерозойских ядерно-мантийных перемещений в Южное полушарие Земли.

В поясах тектоно-термальной переработки, таких как Лимпопо или Намаква-Натал в Южной Африке, которые лишь кое-где содержали небольшие вкрапленные скопления руд, в ходе

протерозойских наложенных метаморфических и деформационных процессов происходило переотложение рассеянной минерализации в виде тел высококачественных руд [Hallich, 1978]. Тектонофизическое событие на Земле, о котором говорилось выше, по времени приблизительно совпадало с этапом эволюции мантии, установленным на основе изотопных данных. Изучая изотопные отношения Rb/Sr в толеитах океанических островов и срединно-океанических хребтов, С. Брукс и соавторы [Brooks et al., 1978] установили, что повсюду в Южном полушарии эти породы имеют возраст 1600 ± 200 млн лет. Возможно, в указанное время произошел какой-то крупный сдвиг в эволюции мантии Земли, последовавший за изменением ее тектонофизического состояния. Именно с этого момента (около 1800 млн лет) в осадконакоплении произошла смена преимущественного отложения Ca-Mg (доломитовых) фаций на (во многих случаях) Ca (известковые)-карбонатные фации, что немедленно отразилось и на формировании рудоносных фаций (т. е. появлении заметной свинцовой минерализации в месторождениях цветных металлов). Стратиформные свинцовые месторождения в осадочных породах приобретают особое значение, поскольку этот металл является с указанного времени главным компонентом полиметаллических руд, не только в осадочных месторождениях, но и в вулканогенных колчеданных месторождениях. Примерами могут служить крупные полиметаллические месторождения Центрально-Австралийского орогенного пояса (Маунт-Айза, МакАртур, Брокен-Хилл) позднепротерозойского возраста, причем в последнем из рассматриваемых месторождений вмещающие породы имели также вулканогенное происхождение.

Из таких примеров следует предположение, что все-таки в позднем протерозое (1600–600 млн лет) Южного полушария процессы рифтогенеза играли существенную роль в формировании оруденения. На это еще в прошлом веке обратил внимание Ф. Соукинс [Sawkins, 1976], отметив, что многие рудные месторождения образуются при рифтогенезе и появлении внутриконтинентальных горячих точек, достигавших максимального развития 1200–1000 млн лет назад. Это может подтверждать тот факт, что месторождения Медного пояса тектоно-термальных Пан-Африканских структур Центральной Африки также контролировались рифтовыми зонами. Действительно, образование сульфидных медных руд в песчаниках и сланцах, которые были отложены в мелководных бассейнах, возможно, приу-

роченных к рифтовым бассейнам, как Удокан в Восточной Сибири, началось около 1900 млн лет назад. Но большинство остальных месторождений этого типа, особенно в Южном полушарии Земли, возникло 1000 млн лет назад, когда в Африке и Австралии в неопротерозое процессы рифтогенеза особенно активизировались, на что первым обратил внимание Н. Роуландс [Rowlands, 1974].

Заключение

Ранний период формирования рудоносных структур и месторождений Земли (архей-палеопротерозойский 3,6–2,3 млрд лет) характеризовался образованием площадных анорогенных (гранит-зеленокаменных и рифтогенных интрузивно-вулканогенных) структур, несущих основные золоторудные и медно-цинк-колчеданные месторождения мира. Для более позднего этапа палеопротерозоя (2,2–1,6 млрд лет) типовым было формирование линейных орогенно-аккреционных и коллизионных структур, с которыми связано формирование поясов медь-никель-платино-металльных, золоторудных и колчеданно-полиметаллических магмато-гидротермальных месторождений в раннедокембрийских щитах. Мезо-неопротерозойские эры развития Земли были для Северного полушария периодом интенсивного развития платформенных структур (авлакогенно-плитных покровов), не несущих активно-тектонических генетических типов рудных месторождений.

Период от 900 до 600 млн лет в Южном полушарии Земли оказался, так же как и в Северном, не очень продуктивным на появление рудных месторождений, поскольку заключительный этап докембрийского геологического развития Земли связан с расколом суперконтинента Родиния, активизацией рифтинга, дезинтеграцией Родинии на несколько фрагментов, которые перегруппировались с образованием двух крупных континентов – Гондваны и Лавразии. Указанные процессы сопровождались погружением континентальных блоков и одновременным воздыманием океанических хребтов, то есть началом нового этапа геологической жизни Земли.

Этот новый этап (фанерозойский) выразился в активном перемещении тектонических плит, созидании орогенических циклов и разнообразии рудообразующих процессов, достигнувших беспрецедентно высокого уровня.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы НИР ИГГД РАН 0153-2019-0001.

Литература

- Беккер Ю. Р. Молассы докембрия. Л.: Недра, 1988. 288 с.
- Голубкова Е. Ю., Раевская Е. Ю., Кузнецов А. Б. Нижневендские комплексы микрофоссилий Восточной Сибири в решении стратиграфических проблем региона // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2010. Т. 18, № 4. С. 3–27.
- Голубкова Е. Ю., Кушим Е. А., Кузнецов А. Б., Яновский А. С., Маслов А. В., Шведов С. Д., Плоткина Ю. В. Редкинская биота макроскопических ископаемых организмов северо-запада Восточно-Европейской платформы (Южное Приладожье) // ДАН. 2018. Т. 479, № 2. С. 163–167.
- Зайцева Т. С., Семихатов М. А., Горохов И. М., Сергеев В. Н., Кузнецов А. Б., Ивановская Т. А., Мельников Н. Н., Константинова Г. В. Изотопная геохронология и биостратиграфия рифейских отложений Анабарского массива, Северная Сибирь // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24, № 6. С. 3–29.
- Зайцева Т. С., Горохов И. М., Семихатов М. А., Ивановская Т. А., Кузнецов А. Б., Доржиева О. В. Rb-Sr и K-Ar возраст глобулярных слоистых силикатов и биостратиграфия рифейских отложений Оленекского поднятия, Северная Сибирь // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017. Т. 25, № 6. С. 3–29.
- Зайцева Т. С., Кузнецов А. Б., Горожанин В. М., Горохов И. М., Ивановская Т. А., Константинова Г. В. Основание венда на Южном Урале: Rb-Sr возраст глауконитов бакеевской свиты // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27, № 5. С. 82–86.
- Красный Л. И. (ред.). Геолого-минералогическая карта мира. Объяснительная записка. Ч. 2. Минерально-сырьевые ресурсы континентов и активных транзиталей. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 34 с.
- Кузнецов А. Б., Семихатов М. А., Горохов И. М., Мельников Н. Н., Константинова Г. В., Кутявин Э. П. Изотопный состав Sr в карбонатных породах каратавской серии Южного Урала и стандартная кривая вариаций отношения $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ в позднерифейском океане // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2003. Т. 11, № 5. С. 3–39.
- Кузнецов А. Б., Семихатов М. А., Горохов И. М. Стронциевая изотопная хемотратиграфия: основы метода и его современное состояние // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2018. Т. 26, № 4. С. 3–23.
- Михальский Е. В., Алешкова Н. Д., Афанасьева В. К. и др. Составление сводных карт геологического содержания масштаба 1:1 000 000–1:5 000 000 центрального сектора Восточной Антарктиды (Земля Эндерби и Земля Кемпа) / ГК № 38/07/12-3. Отчет ВНИИОкеангеология. СПб., 2016.
- Семихатов М. А., Кузнецов А. Б., Чумаков Н. М. Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2015. Т. 23, № 6. С. 16–27.
- Соколов Б. С. О возрасте древнейшего осадочного покрова Русской платформы // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1952. № 5. С. 21–31.
- Amelin Y., Wadhwa M., Lugmair G. W. Pb-isotopic dating of meteorites using 202Pb - 205Pb double-spike: comparison with other high-resolution chronometers // Lunar and Planetary Sci. XXXVII. 2006. Abstract 1970.
- Brooks C., James D. E., Hart S. R., Hodman A. W. Rb-Sr mantle isochrones // Rept. Director, Carnegie Institution Washington. 1978. P. 176–207.
- Gradstein F. M., Ogg J. G., Smith A. G. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2005. 611 p. doi: 10.1017/CBO9780511536045
- Hallich I. W. Minor structures in gneiss and the origin of steep structures in the Okiep cooper district // Mineralization in metamorphic terranes. Geol. Soc. South Africa Spec. Pub. 1978. Vol. 4. P. 207–322.
- Kuznetsov A. B., Bekker A., Ovchinnikova G. V., Gorokhov I. M., Vasilyeva I. M. Unradiogenic strontium and moderate-amplitude carbon isotope variations in early Tonian seawater after the assembly of Rodinia and before the Bitter Springs Excursion // Precambrian Res. 2017. Vol. 298. P. 157–173.
- Melezhik V. A., Kump L. R., Hanski E. J., Fallick A. E., Prave A. R. Tectonic evolution and major global Earth-surface palaeoenvironmental events in the Palaeoproterozoic // Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Vol. 1 / V. A. Melezhik, L. R. Kump, A. E. Fallick, H. Strauss, E. J. Hanski, A. R. Prave, A. Lepland (eds.). Springer, Heidelberg, 2013. P. 3–21.
- Rowlands N. J. The lithology of some Adelaidian stratiform copper occurrences // Gisements stratiformes et provinces cupriferes / P. Bartholomé (ed.). Liège, 1974. P. 419–427.
- Sawkins F. J. Metal deposits related to intracontinental hotspot and rifting environments // J. Geol. 1976. Vol. 84. P. 653–671.
- Smithies R. H., Champion D. C., Cassidy K. F. Formation of Earth's early Archaean continental crust // Precambrian Res. 2003. Vol. 127. P. 89–101.
- Van Kranendonk M. J., Collins W. J., Hickman A. H., Pawley M. J. Critical tests of vertical vs horizontal tectonic models for the Archaean East Pilbara Granite-Greenstone Terrane, Pilbara Craton, Western Australia // Precambrian Res. 2004. Vol. 131. P. 173–211.
- Van Kranendonk M. J., Huston D. L., Hickman A. H. From plumes to accretion: Changing mineralization styles through 800 million years of crustal evolution in the Pilbara Craton, Western Australia // Western Australia Geol. Survey, Record 2007/2. P. 23–25.
- Zegers T. E., Barley M. E., Groves D. I., McNaughton N. J., White S. H. Oldest gold: deformation and hydrothermal alteration in the early Archaean shear-zone hosted Bamboo Creek Deposit, Pilbara, Western Australia // Econ. Geol. 2002. Vol. 97. P. 757–773.

Поступила в редакцию 06.01.2021

References

- Bekker Yu. R. Molassy dokembriya [Precambrian molasses]. Leningrad: Nedra, 1988. 288 p.
- Golubkova E. Yu., Raevskaya E. Yu., Kuznetsov A. B. Nizhnevendskie komplekсы mikrofossilii Vostochnoi Sibiri v reshenii stratigraficheskikh problem regiona [Lower Vendian complexes of microfossils in Eastern Siberia in stratigraphic problems of the region]. *Stratigrafiya. Geol. korrelyatsiya* [Stratigr. Geol. Correl.]. 2010. Vol. 18, no. 4. P. 3–27.
- Golubkova E. Yu., Kushim E. A., Kuznetsov A. B., Yanovskii A. S., Maslov A. V., Shvedov S. D., Plotkina Yu. V. Redkinskaya biota makroskopicheskikh iskopayemykh organizmov severo-zapada Vostochno-Evropейskoi platformy (Yuzhnoe Priladozh'e) [Redkino biota of macroscopic fossils of north-west East-European platform (Southern Ladoga zone)]. *DAN* [Dokl. AS]. 2018. Vol. 479, no. 2. P. 163–167.
- Krasnyi L. I. (ed.). Geologo-mineragenicheskaya karta mira. Ob'yasnitel'naya zapiska. Ch. 2. Mineral'no-syr'evye resursy kontinentov i aktivnykh tranzitaley [Geologic-mineralogical maps of the World. An explanatory note. Pt. 2. Mineral raw material resources continents and active translaties]. St. Petersburg: VSEGEI, 2000. 34 p.
- Kuznetsov A. B., Semikhatov M. A., Gorokhov I. M., Mel'nikov N. N., Konstantinova G. V., Kutuyavin E. P. Izo-topnyi sostav Sr v karbonatnykh porodakh karatavskoi serii Yuzhnogo Urala i standartnaya krivaya variatsii ot-noshenie $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v pozdnerifeiskom okeane [Sr isotope composition in carbonates of the Karatau Group, Southern Urals, and standard curve of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variations in the Late Riphean Ocean]. *Stratigrafiya. Geol. korrelyatsiya* [Stratigr. Geol. Correl.]. 2003. Vol. 11, no. 5. P. 415–449.
- Kuznetsov A. B., Semikhatov M. A., Gorokhov I. M. Strontium Isotope Stratigraphy: principles and state of art. *Stratigr. Geol. Correl.* 2018. Vol. 26, no. 4. P. 367–386.
- Mikhail'skii E. V., Aleshkova N. D., Afanas'eva V. K. et al. Sostavlenie svodnykh kart geologicheskogo soderzhaniya masshtaba 1:1 000 000–1:5 000 000 tsen-tral'nogo sektora Vostochnoi Antarktity (Zemlya Enderbi i Zemlya Kempa). GK № 38/07/12-3. Otchet VNIIO-keangeologiya [Composition of summery geological maps 1:1 000 000–1:5 000 000 scale for central sector of the Eastern Antarctica (Enderby and Kemp Lands). State Contract № 38/07/12-3. Report VNIIOkean-geologiya]. St. Petersburg, 2016.
- Semikhatov M. A., Kuznetsov A. B., Chumakov N. M. Isotope age of boundaries between the General Strati-graphic Subdivisions of the Upper Proterozoic (Ri-phean and Vendian) in Russia: The evolution of opinions and the current estimate. *Stratigr. Geol. Correl.* 2015. Vol. 23, no. 6. P. 568–579.
- Sokolov B. S. O vozraste drevneishego osadochno-go pokrova Russkoi platformy [On the age of the old-est sedimentary cover of the Russian platform]. *Izv. AN SSSR. Ser. geol.* [Proceed. AS USSR. Ser. Geol.]. 1952. No. 5. P. 21–31.
- Zaitseva T. S., Semikhatov M. A., Gorokhov I. M., Sergeev V. N., Kuznetsov A. B., Ivanovskaya T. A., Mel'nikov N. N., Konstantinova G. V. Isotopic geochro-nology and biostratigraphy of the Riphean deposits of the Anabar Massif, North Siberia. *Stratigr. Geol. Cor-rel.* 2016. Vol. 24, no. 6. P. 549–574.
- Zaitseva T. S., Gorokhov I. M., Semikhatov M. A., Ivanovskaya T. A., Kuznetsov A. B., Dorzhieva O. V. Rb-Sr and K-Ar ages of globular phyllosilicates and bio-stratigraphy of the Riphean deposits of Olenek Massif, North Siberia. *Stratigr. Geol. Correl.* 2017. Vol. 25, no. 6. P. 581–606.
- Zaitseva T. S., Kuznetsov A. B., Gorozhanin V. M., Gorokhov I. M., Ivanovskaya T. A., Konstantinova G. V. Osnovanie Venda na Yuzhnom Urale: Rb-Sr vozrast glaukonitov Bakeevskoi svity [The Lower boundary of the Vendian in the Southern Urals as evidenced by the Rb-Sr Age of glauconites of the Bakeevo Forma-tion]. *Stratigrafiya. Geol. korrelyatsiya* [Stratigr. Geol. Correl.]. 2019. Vol. 27, no. 5. P. 573–587. doi: 10.1134/S0869593819050083
- Amelin Y., Wadhwa M., Lugmair G. W. Pb-isotopic dating of meteorites using ^{202}Pb - ^{205}Pb double-spike: comparison with other high-resolution chronometers. *Lunar and Planetary Sci.* XXXVII. 2006. Abstract 1970.
- Brooks C., James D. E., Hart S. R., Hodman A. W. Rb-Sr mantle isochrones. *Rept. Director, Carnegie Insti-tution Washington.* 1978. P. 176–207.
- Gradstein F. M., Ogg J. G., Smith A. G. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge: Cambridge Univer. Press, 2005. 611 p. doi: 10.1017/CBO9780511536045
- Hallich I. W. Minor structures in gneiss and the origin of steep structures in the Okiep cooper district. *Minerali-zation in metamorphic terranes. Geol. Soc. South Africa Spec. Pub.* 1978. Vol. 4. P. 207–322.
- Kuznetsov A. B., Bekker A., Ovchinnikova G. V., Go-rokhov I. M., Vasilyeva I. M. Unradiogenic strontium and moderate-amplitude carbon isotope variations in early Tonian seawater after the assembly of Rodinia and be-fore the Bitter Springs Excursion. *Precambrian Res.* 2017. Vol. 298. P. 157–173.
- Melezhik V. A., Kump L. R., Hanski E. J., Fallick A. E., Prave A. R. Tectonic evolution and major global Earth-surface palaeoenvironmental events in the Pa-laeoproterozoic. *Reading the Archive of Earth's Oxyge-nation.* Vol. 1. V. A. Melezhik, L. R. Kump, A. E. Fallick, H. Strauss, E. J. Hanski, A. R. Prave, A. Lepland (eds.). Springer, Heidelberg, 2013. P. 3–21.
- Rowlands N. J. The lithology of some Adelaidian stratiform copper occurrences. *Gisements stratiforms et provinces cupriferes.* P. Bartholomé (ed.). Liège, 1974. P. 419–427.
- Sawkins F. J. Metal deposits related to intraconti-nental hotspot and rifting environments. *J. Geol.* 1976. Vol. 84. P. 653–671.
- Smithies R. H., Champion D. C., Cassidy K. F. For-mation of Earth's early Archaean continental crust. *Precambrian Res.* 2003. Vol. 127. P. 89–101.
- Van Kranendonk M. J., Collins W. J., Hickman A. H., Pawley M. J. Critical tests of vertical vs horizontal tecto-nic models for the Archaean East Pilbara Granite-Green-stone Terrane, Pilbara Craton, Western Australia. *Precambrian Res.* 2004. Vol. 131. P. 173–211.
- Van Kranendonk M. J., Huston D. L., Hickman A. H. From plumes to accretion: Changing mineralization

styles through ~800 million years of crustal evolution in the Pilbara Craton, Western Australia. *Western Australia Geological Survey. Record 2007/2*. P. 23–25.

Zegers T. E., Barley M. E., Groves D. I., McNaughton N. J., White S. H. Oldest gold: deformation and hy-

drothermal alteration in the early Archean shear-zone hosted Bamboo Creek Deposit, Pilbara, Western Australia. *Econ. Geol.* 2002. Vol. 97. P. 757–773.

Received January 06, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Турченко Станислав Иванович

заведующий лаб. металлогении и рудообразования,
чл.-корр. РАН, д. г.-м. н.
Институт геологии и геохронологии докембрия РАН
наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, Россия, 199034
эл. почта: turchsi@mail.ru
тел.: +79062267331

CONTRIBUTOR:

Turchenko, Stanislav

Institute of Precambrian Geology and Geochronology,
Russian Academy of Sciences
2 Nab. Makarova, 199034 St. Petersburg, Russia
e-mail: turchsi@mail.ru
tel.: +79062267331

УДК 553.2. (470.22)

ЗОЛОТО-МЕДНО-СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ КВАРЦ-КАРБОНАТНЫХ ЖИЛ В ГАББРОДОЛЕРИТАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕВЖАВАРА (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ)

Л. В. Кулешевич, О. Б. Лавров

Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Золото-медно-сульфидное оруденение в габбродолеритах (PR₂/d) месторождения строительного камня Чевжавара приурочено к кварц-карбонатным жилам, секущим пологозалегающий силл. Оруденение представлено несколькими минеральными типами: магнетит-пиритовым (жилы 1 типа), пирит-борнит-халькопиритовым (жилы 2 типа) и гематит-халькозиновым (жилы 3 типа). Жилы 1 типа крупнокристаллические эпидот-кальцитовые. В краевых частях более крупных сульфидно-кварц-карбонатных жил 2 типа развивается скарнирование: образуются зональные гранаты гроссуляр-андрадитового ряда, кальцит, эпидот, реже амфибол и хлорит. Золото содержат медно-сульфидные жилы 2 типа, в них рудная минерализация (продуктивного этапа минералообразования) представлена пиритом, халькопиритом, борнитом, Se-содержащим борнитом, галенимом, клаусталитом, золотом, баритом. Содержание золота в жилах варьирует в пределах 0,06–31 г/т (8 проб). Жилы 3 типа содержат гематит, халькозин, халцедон, кварц, в них иногда встречается рассеянное тонкодисперсное золото. Рудные минералы прорастают хлоритом и стилипномеланом. Локально развиты жилы крупнокристаллического кальцита и амфибол-асбеста. Типоморфными элементами рудной минерализации являются Cu, Au, Co, Se, Zn, Fe (в окисленной форме).

Ключевые слова: золото; сульфиды меди; клаусталит; кварц-карбонатные жилы; гроссуляр-андрадит; скарнирование; габбродолериты; Карелия.

L. V. Kuleshevich, O. B. Lavrov. GOLD-COPPER-SULPHIDE MINERALIZATION OF QUARTZ-CARBONATE VEINS IN GABBRO-DOLERITES FROM THE CHEVZHAVARA DEPOSIT, SOUTH KARELIA

Gold-copper-sulphide mineralization in gabbro-dolerites (PR₂/d) from the Chevzhavara building stone deposit is confined to quartz-carbonate veins cutting through a gently dipping sill. Mineralization displays several mineral types: magnetitic-pyritic (type 1 veins), pyritic-bornitic-chalcopiritic (type 2 veins), and hematitic-chalcosine (type 3 veins). Type 1 veins are large-crystalline epidote-calcitic. Skarnification evolves in the margins of larger sulphide-quartz-carbonate veins of type 2: grossular-andradite-series zonal garnets, calcite, epidote, and less often amphibole and chlorite are formed. Gold is present in copper-sulphide type 2 veins. Ore mineralization (in the productive stage of mineral formation) in the veins is represented by pyrite, chalcopyrite, bornite, Se-bornite, galena, clausthalite, gold, and barite. Gold concentration in the veins varies within 0.06–31 g/t (8 samples). Type 3 veins contain hematite, chalcosine, chalcedony, and quartz; scattered, finely dispersed gold is occasionally encountered. Ore minerals are penetrated by chlorite and stilpnomelane. Macrocrystalline calcite and amphibole-asbestos veins are encoun-

tered locally. Cu, Au, Co, Se, Zn, and Fe (in oxidized form) are the typomorphic elements of ore mineralization.

Key words: gold; copper sulphides; clausenthalite; quartz-carbonate veins; grossular-andradite; skarnification; gabbro-dolerites; Karelia.

Введение

Месторождение строительного камня Чевжавара разрабатывается ООО «Прионежская горная компания» западнее г. Петрозаводска (Республика Карелия, Россия). Открытая разработка ведется в 3,2 км юго-западнее станции Падозеро в Пряжинском районе (рис. 1). Габбродолериты образуют пологозалегающий силл ($PR_1 Id$), внедрившийся в карбонатную толщу туломозерской свиты ятулийского горизонта (рис. 1, б) [Геологическая..., 1971]. Иногда между отдельными пластами силла сохраняются маломощные прослои аргиллитов и карбонатных пород. В юго-западном борту разрабатываемого карьера зафиксированы деформации и встречаются разнообразные жилы мощностью до нескольких метров, секущие силл. Они приурочены к системе трещин ССВ и ЗСЗ простирания. Среди них встречаются как рудные медно-сульфидные, так и безрудные кальцитовые, кварц-карбонатные и тремолит-асбестовые жилы. Медно-сульфидные жилы, как показали проведенные исследования, содержат повышенные концентрации золота. Изучение жильных золото-медносульфидных минеральных ассоциаций, впервые выявленных на данном месторождении природного камня, и условий их образования стало основной задачей данной статьи.

Материалы и методы

Каменный материал для исследований был отобран в юго-западной части карьера месторождения природного камня Чевжавара с разрешения руководства горного производства. Он включал образцы горных пород – габбродолеритов, метасоматитов, рудных жил, амфибол-асбестовых прожилков. Координаты точки 810 со скарновыми ассоциациями (рис. 1, б): $61^{\circ}51'23.1''$, $33^{\circ}51'12.6''$. Минеральный состав рудных и нерудных жил, прожилков и метасоматитов, развивающихся по габбродолеритам, изучался с использованием шлифов, аншлифов, состав минералов – с использованием электронного сканирующего микроскопа VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy-350 в аналитическом центре Института геологии КарНЦ

РАН (г. Петрозаводск). Пределы обнаружения элементов на микрозондовом анализаторе составляют сотые доли процента. Химическим (силикатным) и рентгенофлуоресцентным спектральным (РФСА) анализами определялся состав габброидов, метасоматитов и содержание основных оксидов в рудных жилах. РФСА проводился на спектрометре ARL ADVANT'X 2331. Микрокомпонентный состав жил и измененных пород определялся методом ICP-MS (9 проб) на квадрупольном масс-спектрометре X-Series 2 путем стандартного разложения проб в кислотах по аккредитованной методике. Золото в богатых рудных жилах подтверждалось пробирным методом (2 анализа) в испытательном аналитическом центре Иргиредмет, Иркутск. Исследуемые образцы (авторов и работников месторождения) переданы в коллекцию Музея геологии докембрия ИГ КарНЦ РАН.

Результаты и обсуждение

Силл габбродолеритов. Габбродолериты, добываемые в карьере Чевжавара, образуют пологозалегающий слабодислоцированный силл в форме блюдца. Это мелкозернистые зеленовато-черные высокопрочные породы, используемые как щебень и строительный материал иного назначения. Минеральный состав пород стандартный: пироксен и развивающийся по нему амфибол, альбитизированный плагиоклаз, титаномагнетит ($< 2\%$); титанит и апатит встречаются в незначительном количестве. Вторичные минералы, связанные с низкотемпературными метаморфическими зеленокаменными изменениями, представлены эпидотом, актинолитом, хлоритом, кальцитом, кварцем. Ранние метаморфогенно-гидротермальные ассоциации, встречающиеся в маломощных прожилках, представлены теми же минералами.

Химический состав габбродолеритов представлен в табл. 1/1–3. Во вскрытой части карьера габброиды слабо дифференцированы и характеризуются интервалом содержания SiO_2 49,40–45,58 % и $\Sigma (Na_2O+K_2O)$ 1,90–3,27 %. Для пород характерно несколько повышенное содержание титана, фосфора и малых элементов, таких как Cu, Zn (табл. 1, 2), тогда как в жильных ассоциациях резко возрастают кон-

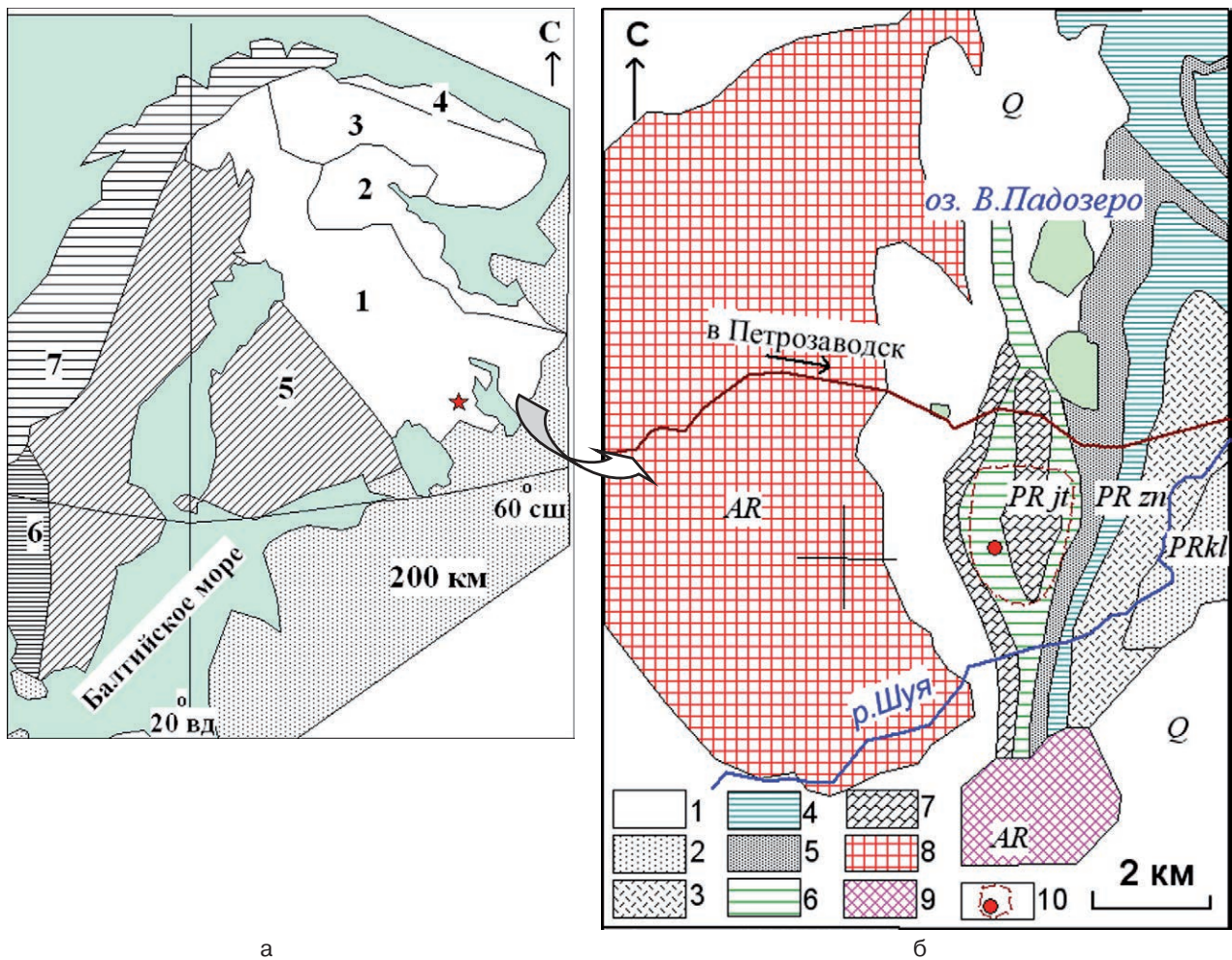


Рис. 1. Расположение месторождения Чевжавара на обзорной тектонической схеме Фенноскандинавского щита (а) и геологической карте (б) Карелии (м-б 1:200 000, лист Р-36-XXII, участок Падозеро):

А – провинции (1 – Карельская, 2 – Беломорская, 3 – Кольская, 4 – Мурманская, 5 – Свекофеннская, 6 – Готская, 7 – Норвежская (каледонский ороген);

Б – геологическая карта: 1 – четвертичные отложения (Q). Палеопротерозойские отложения калевийского (2–3, *kl*), лудиковийского (4–5, *ld*) и ятулийского (6, *jt*) горизонтов (PR₁), свиты: 2 – шуйская свита (аркозовые и кварцитопесчаники, аргиллиты, глинистые сланцы, PR_{1sh}), 3 – падоская свита (кварц-серицитовые сланцы, туфоалевролиты, PR_{1pd}), 4 – суйсарская свита (пикрито-базальты, туфы, PR_{1su}), 5 – заонежская свита (шунгитосодержащие породы, базальты, PR_{1zn}), 6 – туломозерская свита (карбонатные породы, PR_{1tl}). Интрузивные образования: 7 – габбродолериты (силл, PR_{1ld}); 8, 9 – гранитоиды, AR₂ (8 – граниты плагиомикроклиновые, 9 – гранито-гнейсы). 10 – положение карьера и место отбора образцов

Fig. 1. The location of the Chevzhavaara deposit (a) on the overview tectonic scheme of the Fennoscandian Shield (a) and the geological map (b) of Karelia (1:200 000, sheet P-36-XXII, Padozero section):

A – provinces (1 – Karelian, 2 – Belomorskaya, 3 – Kola, 4 – Murmanskaya, 5 – Svekofennian, 6 – Gotha, 7 – Norwegian (Caledonian orogen).

B – geological map: 1 – Quaternary deposits. Paleoproterozoic sediments of the Kalevian, Ludikuvian, Yatulian horizons (PR₁): 2 – Shuyskaya Suite (arcose and quartzite sandstones, mudstones, clay shales, PR_{1sh}), 3 – Padoskaya Suite (quartz-sericite shales, tufoaleurolites, PR_{1pd}), 4 – Suysary Suite (picrito-basalts, tuffs, PR_{1su}), 5 – Zaonezhskaya Suite (shungite – bearing rocks, basalts, PR_{1zn}), 6 – Tulomozerskaya Suite (carbonate rocks, PR_{1tl}). Intrusive formations: 7 – gabbrodolerite (sill, PR_{1ld}); 8, 9 – granitoids, AR₂ (8 – plagiomicrocline granites, 9 – granite-gneiss). 10 – quarry position and sampling location

центрации Cu, Co, S, Au, незначительно повышаются Se и Pb (табл. 2/5–10).

Благодаря открытой разработке карьера в его стенках периодически вскрываются более поздние и крупные по мощности и протяженности тремолит-карбонатные, карбонатные, кварц-карбонатные гидротермальные жилы,

секущие габбродолериты. Наиболее крупные кварц-карбонатные жилы сопровождаются медно-сульфидной минерализацией. Жилы имеют мощность от 0,1 до 2 м, длину 5–100 м и ведущие СВВ и ЗСЗ простирания. Количество крупных жил, наблюдаемых в юго-восточной плоскости стенки карьера (на момент прово-

Таблица 1. Состав габбродолеритов, измененных пород и рудных жил

Table 1. Composition of gabbro-dolerites, altered rocks, and ore veins

Компонент Component (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	48,14	45,58	49,40	29,6	43,18	44,81	75,28	35,97	3,17	2,79
TiO ₂	2,18	2,83	2,22	0,47	3,13	1,60	0,04	2,05	0,03	0,03
Al ₂ O ₃	12,48	12,04	12,20	15,15	6,80	5,03	2,01	6,85	0,63	0,59
Fe ₂ O _{3, tot.}	3,01	4,86	3,19	3,25	22,57	18,21	6,16	23,27	12,22	42,41
FeO	13,06	14	13,21	7,46						
MnO	0,23	0,24	0,23	0,43	0,33	0,21	0,22	0,24	0,13	0,00
MgO	5,18	4,97	4,87	21,38	2,96	1,84	1,67	1,92	0,00	0,00
CaO	7,98	8,56	8,41	7,61	9,54	13,24	7,82	12,67	43,22	0,89
Na ₂ O	2,24	2,48	1,19	0,02	0,12	0,07	0,00	0,16	0,85	0,00
K ₂ O	0,44	0,79	0,71	0,01	0,98	0,65	0,22	0,75	0,16	0,11
H ₂ O	0,83	0,28	0,48	0,81						
п. п. п., loi	3,47	2,7	3,09	13,39	3,67	2,55	2,77	1,80	13,56	14,42
P ₂ O ₅	0,31	0,21	0,30	0,05	0,42	0,25	0,00	0,26	0,00	0,01
SO ₃					1,50	5,82	1,45	5,19	16,26	0,08
CuO					4,46	5,55	2,12	8,65	9,62	38,34
Σ	99,55	99,54	99,50	99,63	99,66	99,83	99,76	99,78	99,85	99,67
№ обр. Sample no.	809/1	809/2	809	809/5	810-4	810-3	810-2a	810-2	810-1	ChS-1

Примечание. Анализы: 1-4 – химический, 5-10 – рентгенофлуоресцентный. 1-3 – габбродолериты; 4 – прожилок тремолит-асбестовый; 5-8 – габбродолериты с хлорит-кварц-карбонатными жилами с пирит-халькопирит-борнитовой минерализацией, среди них: 7 – с преобладанием жильного кварца; 9 – скарны с пирит-халькопирит-борнитовой рудной минерализацией; 10 – пирит-борнит-халькопиритовая рудная жила. Пробел – нет данных, п. п. п. – потери при прокаливании.

Note. Analyses: 1-4 – chemical, 5-10 – X-ray fluorescence. 1-3 – gabbro-dolerites; 4 – tremolite-asbestos streak; 5-8 – gabbro-dolerites with chlorite-quartz-carbonate veins and pyrite-chalcopyrite-bornite mineralization, including: 7 – quartz-dominated veins; 9 – skarns with pyrite-chalcopyrite-bornite mineralization; 10 – pyrite-bornite-chalcopyrite ore vein. Gap – no data, п. п. п. – loss on ignition.

Таблица 2. Содержание элементов в породах, жилах и рудах (г/т, ICP-MS анализ)

Table 2. Element concentrations in rocks, veins and ores (g/t, ICP-MS analysis)

№ No.	№ образца Sample no.	Ti	V	Mn	Ni	Co	Cu	Zn	Se	Au	Pt+Pd	Ag	Pb
1	809	11000	446	1596	51	6,2	392	157		0,2	0,18		3,8
2	809/1	13320	479	1703	60	53,8	537	162		0,2	0,15	0,1	3,2
3	809/2	16660	1098	1736	64	65,1	371	148		0,1	0,12		2,1
4	809/5	2688	18	3205	30	27,8	158	469		0,4	0,32		15,7
5	809/7	3455	28	690	44	4,1	212	210	1,7	0,2	0,22		10,7
6	809/9	818	47	2978	13	10,7	223	161	0,6	0,06	0,16		40,2
7	809/9п	814	47	3011	14	10,4	221	164	0,2	0,1	0,18		39,2
8	810/1	42	9	771	61	176	49540	108	50,1	0,1	0,014	1,1	43,7
9	Че – 1	16	4	19	58	180	222900	418	147,6	1,06	0,26	3	82,6

Примечание. 1-3 – габбродолериты. 4-9 – жилы: 4 – кальцит-тремолит-асбестовый прожилок; 5-7 – кварцевые и карбонат-кварцевые жилы в габбродолеритах; 8 – скарны с пирит-халькопирит-борнитовой рудной минерализацией; 9 – пирит-борнит-халькопиритовая рудная жила. ICP-MS анализ, пробел – нет данных.

Note. 1-3 – gabbro-dolerites. 4-9 – veins: 4 – calcite-tremolite-asbestos streak; 5-7 – quartz and carbonate-quartz veins; 8 – skarns with pyrite-chalcopyrite-bornite mineralization; 9 – pyrite-bornite-chalcopyrite ore vein. ICP-MS analysis, gap – no data.

димых работ), составляло 2-4. Околожильные изменения большинства небольших по мощности жил и зон трещиноватости представлены крупнокристаллическими эпидотом, тремолитом, хлоритом и кальцитом. На контакте более крупных кварц-карбонатных жил, содержащих сульфиды, развита скарновая ассоци-

ация, представленная кальцитом, гранатом, эпидотом.

Минеральные ассоциации жил, секущих габбродолериты. Среди гидротермальных сульфидсодержащих карбонатных и кварц-карбонатных жил, секущих габбродолериты, авторами были выделены рудные (содержащие



Рис. 2. Сульфидные жилы участка Чевжавара:

а – пирит в эпидот-кальцитовой жиле 1 типа; б – эпидот и гранат на контакте кальцитовой жилы; в – гранат-кальцитовый скарн (зальбанды жил 2 типа); г – халькопирит-борнитовая руда (сульфид-кальцит-кварцевые жилы 2 типа); д – гематит-халькозиновая руда (жилы 3 типа)

Fig. 2. Sulphide veins at the Chevzhavara area:

а – pyrite in an epidote-calcite vein of type 1; б – epidote and garnet at the contact calcite vein; в – garnet-calcite skarn (selvages of veins of type 2); г – chalcopyrite-bornite ore (large veins of type 2); е – hematite-chalcosine ore (veins of type 3)

пирит, сульфиды меди либо гематит) и безрудные. Ниже рассмотрим более подробно состав трех типов жил.

Жилы 1 типа (рис. 2, а) содержат крупнокристаллический пирит и реже магнетит. Нерудная ассоциация таких жил представлена кальцитом и желто-зеленым игольчатым эпидотом. В зальбандах жил по раздробленным и измененным габбродолеритам развиваются мелкозернистые эпидот, кальцит и хлорит, реже встречается гранат (рис. 2, б). Жилы содержат кристаллы хорошо ограненного кубического пирита, размером достигающие 1–3,5 см. Подобный крупнокристаллический пирит обычно образуется в центральной части эпидот-кальцитовых жил на контакте с белым крупнокристаллическим кальцитом. В зальбандах жил на границе с вмещающей породой иногда выделяется магнетит и встречается хлорит. Кристаллы магнетита (беститанистого) достигают размера 2–4 мм.

Жилы 2 типа представлены халькопиритом, борнитом, пиритом, кальцитом, кварцем, реже содержат эпидот (являются медносульфидными). В краевых частях таких наиболее крупных медносульфидно-кварц-карбонатных жил развивается скарнирование (рис. 2, в, г).

Минеральная ассоциация скарнов представлена кальцитом, гранатом, эпидотом, реже встречается доломит. Гранат гроссуляр-андрадитового ряда, зональный, светло-оранжевого, желто-оранжевого цвета, образует хорошо ограненные зерна (рис. 3, а, б, д) и их сростания, а также скелетные выделения (рис. 3, в). Скелетные кристаллы содержат многочисленные включения (рис. 3, в). Нерудные минералы выступают как «затравки» при росте гранатов.

В скарновых существенно кальцитовых ассоциациях более мелкий гранат (0,1–1 мм) в центре представлен железистым гроссуляр-андрадитом (рис. 3, а), в кайме – существенно алюминиевым (андрадит-гроссуляр, рис. 3, б).

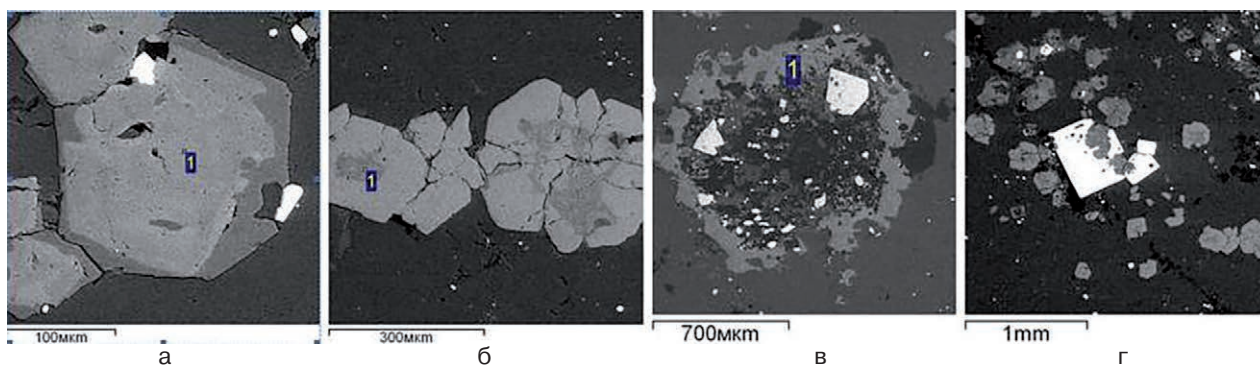


Рис. 3. Ассоциация жильных скарнов: а, б – зональные гранаты (а – железистый, светлый в центре, б – глиноземистый, темный в центре); в – скелетный кристалл граната с включениями кальцита, кварца, эпидота и сульфидов; г – метакристаллы пирита (белый) с включениями граната

Fig. 3. Veined skarn association: а, б – zonal garnets (а – ferrous, light in the center, б – aluminous, dark in the center); в – skeleton garnet with calcite, quartz, epidote, and sulphide inclusions; г – pyrite metacrystals (white) with garnet inclusions

Таблица 3. Состав граната из скарновых ассоциаций

Table 3. Composition of garnet from skarn associations

Компонент Component (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Al ₂ O ₃	3,19		9,71	10,58	9,00	18,78	16,34	18,45	20,50	5,48	10,99		
SiO ₂	38,92	38,05	39,41	40,05	40,09	40,90	40,49	41,39	41,40	39,26	40,89	38,02	38,30
CaO	37,66	33,90	35,17	35,40	34,93	36,12	35,88	36,05	35,88	34,44	34,47	44,48	34,67
FeO	23,22	28,05	15,71	13,97	15,98	4,20	7,30	4,10	1,55	20,82	13,65	27,89	27,03
MnO									0,68				
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Примечание. 1–7 – зональный Fe-Al-гранат: 1–5 – центр кристаллов (андрадит, иногда со слабо проявленной зональностью); 6, 7 – край кристалла (гроссуляр). 8–13 – зональный Al-Fe-гранат: 8–11 – зональные ядра кристалла (8, 9 – гроссуляр; 10, 11 – андрадит-гроссуляр); 12, 13 – край кристалла (андрадит). Анализы при приборном пересчете приведены к 100 %.

Note. 1–7 – zone Fe-Al-garnet: 1–5 – crystal centre (andradite), 6, 7 – crystal margin (grossular). 8–13 – zone Al-Fe-garnet: 8–11 – zone crystal centre (8, 9 – grossular; 10, 11 – andradite-grossular), 12, 13 – crystal margin (andradite).

На рис. 4 (а) высокие концентрации элементов выделяются более ярким цветом и светлым тоном. По составу (табл. 3) он обычно имеет простую зональность (ядро-кайма), отличающуюся соотношением Fe и Al и постоянством содержания Si, Ca.

Более крупный гранат (0,5–3 мм) чаще развит вблизи зон с кварцем и непосредственно вблизи сульфидно-кварцевых жил и прожилков. Он также имеет желтовато-оранжевый цвет, но отличается наличием многочисленных каем, меняющихся по составу. В этих гранатах ядро чаще бывает более темное (глиноземистое), обычно с тонкой зональностью, представленной чередующимися каймами. В ядрах кристаллов развит более алюминиевый гроссуляр, в каймах – железистый андрадит (рис. 4, б; табл. 3). Подобная ростовая (осцилляторная, «колеблющаяся») зональность связана с пульсационным изменением состава растворов, вызывающих метасоматические изменения.

Рудная вкрапленность в скарновых ассоциациях представлена мелкими кубически-

ми кристаллами пирита (5–20 %). Реже с ним встречаются более поздние наложенные тонкозернистые выделения халькопирита, борнита, сфалерита, галенита, обычно сопровождающие тонкие прожилки кварца. Метакристаллы пирита содержат включения граната и кальцита, что свидетельствует о более поздней кристаллизации сульфидов относительно граната. К самым поздним образованиям относятся крупные секущие гнездовые обособления барита.

Рудная ассоциация сульфидно-кварц-карбонатных жил (рис. 2, г, рис. 5), секущих скарны, представлена преимущественно халькопиритом, пиритом, борнитом. Крупные кристаллы пирита в этой ассоциации редкие (рис. 5, а). Пирит выделяется первым, цементируется халькопиритом, содержит повышенные концентрации Co.

Медные сульфиды представлены халькопиритом и борнитом (рис. 5). Халькопирит (CuFeS₂) с краев и по микротрещинкам замещается борнитом-1 (Cu₅FeS₄) (рис. 5, а). Борнит образует два типа зерен (генерация

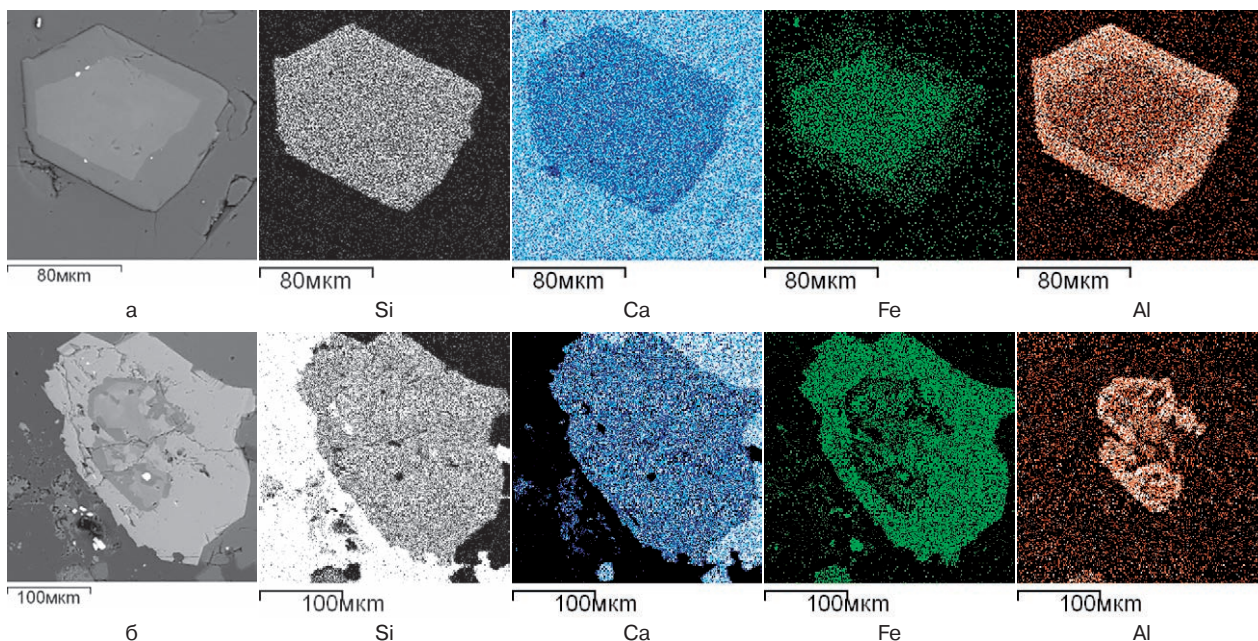


Рис. 4. Гранат: поэлементное картирование (а – в кальците, б – на контакте с кальцит-кварцевой жилкой; INCA Energy-350)

Fig. 4. Garnet: map of elements (a – at calcite, б – at calcite-quartz veins; INCA Energy-350)

1 – более темные по тону зерна беспримесного борнита и 2 – светлые селенсодержащие, рис. 5, б). В крупных зернах борнита-1 по кристаллографическим направлениям наблюдается выделение пластинчатых включений халькопирита (рис. 5, в–г). Это свидетельствует о метастабильном состоянии борнита, избытке железа в его составе и его распаде с выделением пластинок халькопирита. Такой распад обычно происходит при снижении температуры от 300 до 170 °С (Т устойчивости). По борниту незначительно развивается халькозин. Светлый борнит-2 представлен селенсодержащей разновидностью (рис. 5, д–ж). Растворимость селена в нем достигает 4–6 % (определение содержания элементов проводилось по площадке spectrum 4, рис. 5, е). Невысокое содержание селена не позволило достичь состава так называемого устойчивого эскеборнита (CuFeSe_2). Дальнейший привнос растворами свинца сопровождался тем, что избыток селена в борните начал связываться и выпадать в форме мельчайших включений фазы клаусталита в светлом борните-2. По сути, сейчас мы наблюдаем распад эвтектики $\text{Cu-Fe-Se-S} - \text{Pb-Se-S}$ с образованием мельчайших червеобразных и каплевидных выделений клаусталита (рис. 5, д–ж) и более крупных самостоятельных зерен клаусталита (рис. 5, б, д, з – белые зерна) в борните. В Карелии эскеборнит в подобной ассоциации с клаусталитом, халькопиритом и борнитом был опреде-

лен лишь на одном палеопротерозойском месторождении Средняя Падма.

Сульфиды секутся железистым хлоритом (MgO 8,05–9,53 %, Al_2O_3 19,72–20,44 %, SiO_2 25,49–28,44 %, FeO 32,18–35,19 %) и стильпномеланом (MgO 3,89–4,58 %, Al_2O_3 5,43–6,05 %, SiO_2 45,65–47,37 %, K_2O 2,34–3,64 %, FeO 28,52–30,84 %).

Галенит встречается в небольшом количестве (рис. 5, а, белые включения в пирите), концентрация Pb в рудных прожилках также низкая (табл. 2). Галенит начинает выделяться сначала в ассоциации с сульфидами, затем с селенидами (клаусталитом). В галените, образующем мелкие зерна в пирите и скарновых ассоциациях, селен обычно не встречается или его концентрации очень низкие. В ассоциации с более крупными обособленными зернами клаусталита галенит содержит до 2,6–8,0 % Se и относится к селенсодержащему. С ним в ассоциации встречается маложелезистый светло-коричневый сфалерит (Fe до 2,60–4,93 %). Более темно-коричневый (железистый) сфалерит иногда образует и самостоятельные маломощные прожилки.

Содержание рудогенных элементов в пирит-борнит-халькопиритовых жилах составляет: Cu 5–31 % (табл. 1, 2); в г/т: Ni 60, Co 180, Zn 108–418, Se 50–148, Pb 44–83, Ag 1–3, Au 0,06–1,06 (табл. 2). По данным пробирного анализа штучных проб (n=2), выполненного в АО «Иргиредмет», для наиболее богатых рудных жил установлено содержание Au 8–31 г/т.

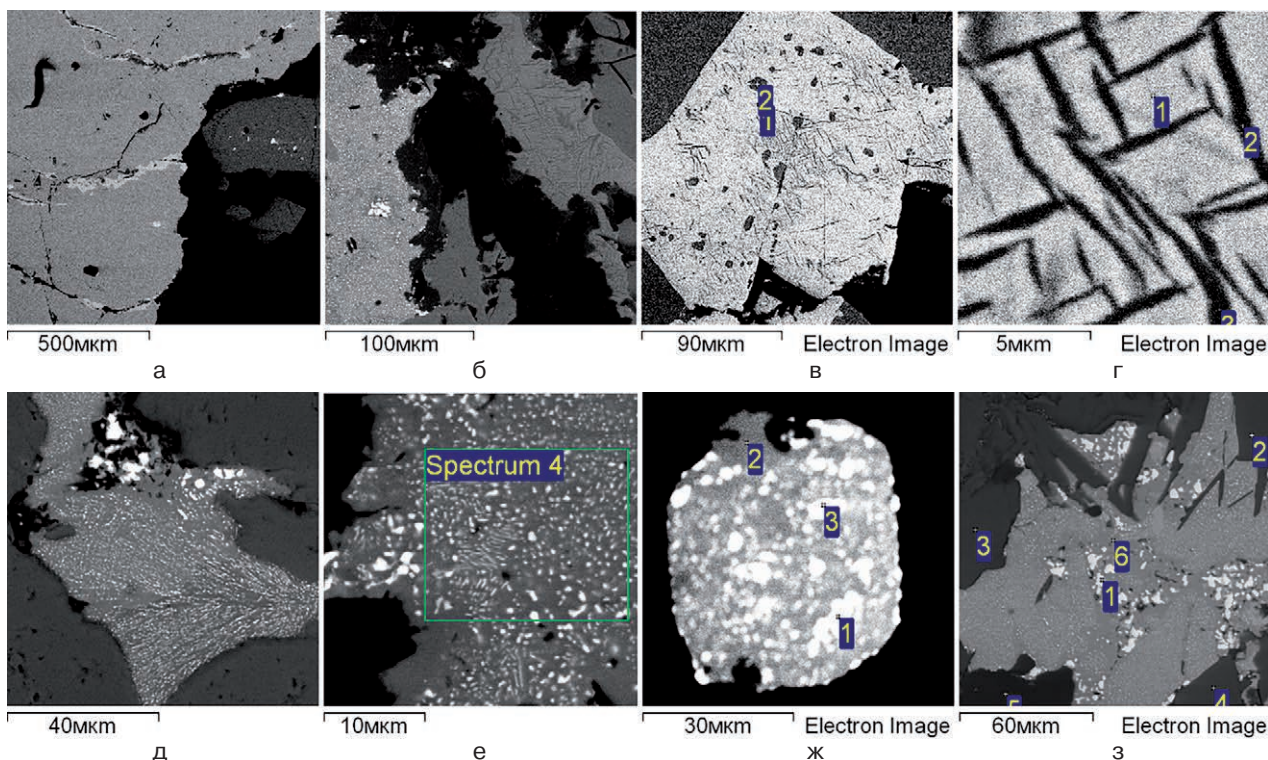


Рис. 5. Халькопирит, борнит и селениды в пирит-борнит-халькопиритовых рудах:

а – халькопирит замещается борнитом (слева), пирит содержит включения галенита (белые точки в темно-сером минерале справа); б – борнит-1 с пластинками халькопирита (справа), борнит-2 с белыми включениями клаусталита (слева); в, г – распад борнита-1 (1) с выделением пластинок халькопирита (2); д, е – борнит-2 с включениями ламелей и зерен клаусталита (е – определение состава по площадке spectrum 4); ж – зерно борнита-2 (2) с многочисленными включениями клаусталита (1, 3, белый); з – прорастание борнита (6) с включениями клаусталита (1) хлоритом и стильпномеланом (2–4).

Fig. 5. Chalcopyrite, bornite, and selenides in pyrite-bornite-chalcopyrite ores:

а – chalcopyrite is replaced by bornite (left), pyrite contains galena inclusions (white dots in a dark-grey mineral to the right); б – bornite-1 with chalcopyrite lamellae (right), bornite-2 with white clausenthalite inclusions (left); в, г – decay of bornite-1 (1) with separation of chalcopyrite lamellae (2); д, е – bornite-2 with lamella and clausenthalite grain inclusions (е – analysis of composition based on the site chosen, spectrum 4); ж – grain of bornite-2 (2) with abundant clausenthalite inclusions (1, 3, white); з – penetration of bornite (6) with clausenthalite inclusions (1) by chlorite and stilpnomelane (2–4).

Золото образует тончайшие просечки в пирите толщиной < 1–2 мкм и зерна неправильной формы 3–50 мкм (рис. 6). Состав золота (Au 83,53–44,73 %) по содержанию серебра меняется от серебристого золота (Ag 16,47–27,08 %) до электрума (Ag от 30,0–34,81 до 47,12 %).

Жилы 3 типа представлены халькозином в ассоциации с халцедоном, гематитом и гетитом (рис. 2, д, рис. 7). Эти жилы и гнезда образуются на более поздней низкотемпературной стадии после борнита. Их мощность достигает 5–50 см. Своеобразное секреторное зарастание неоднородных гнездово-жильных полостей (рис. 7, а) происходит от краевой части к центру с чередованием зон: сначала образуется тонкодисперсный серый халцедон, проросший гематитом, затем гематит и в центре халькозин. По «трещинкам усыхания», возникающим после раскристаллизации в полостях, вновь

образуется тонкозернистый кварц, секущий эти неправильные секреторные зарастания, и игольчатый гетит. Морфологически все эти образования выглядят в виде очень необычных по форме секретий и «трубочек» (рис. 7, б). При отношении меди и серы в халькозине как 66 : 36 (дигенит) – 62,6 : 37,4 (анилит) – 65,84 : 34,16 (джарлеит), синеватому оттенку и средним составам его можно отнести к дигениту $Cu_{1,8}S$, с верхней температурой устойчивости ~ 83 °C [Справочник-определитель..., 1988].

В этих богатых гематит-халькозиновых прожилково-гнездовых и жильных рудах иногда (редко) встречаются тонкодисперсные селениды и гораздо реже – тонкодисперсное золото (единичное зерно, определенное при микронзондовом исследовании). Поздний игольчатый гетит сечет халькозин (рис. 7, в).

Широко развитые безрудные (безсульфидные) жилы представлены крупнокристал-

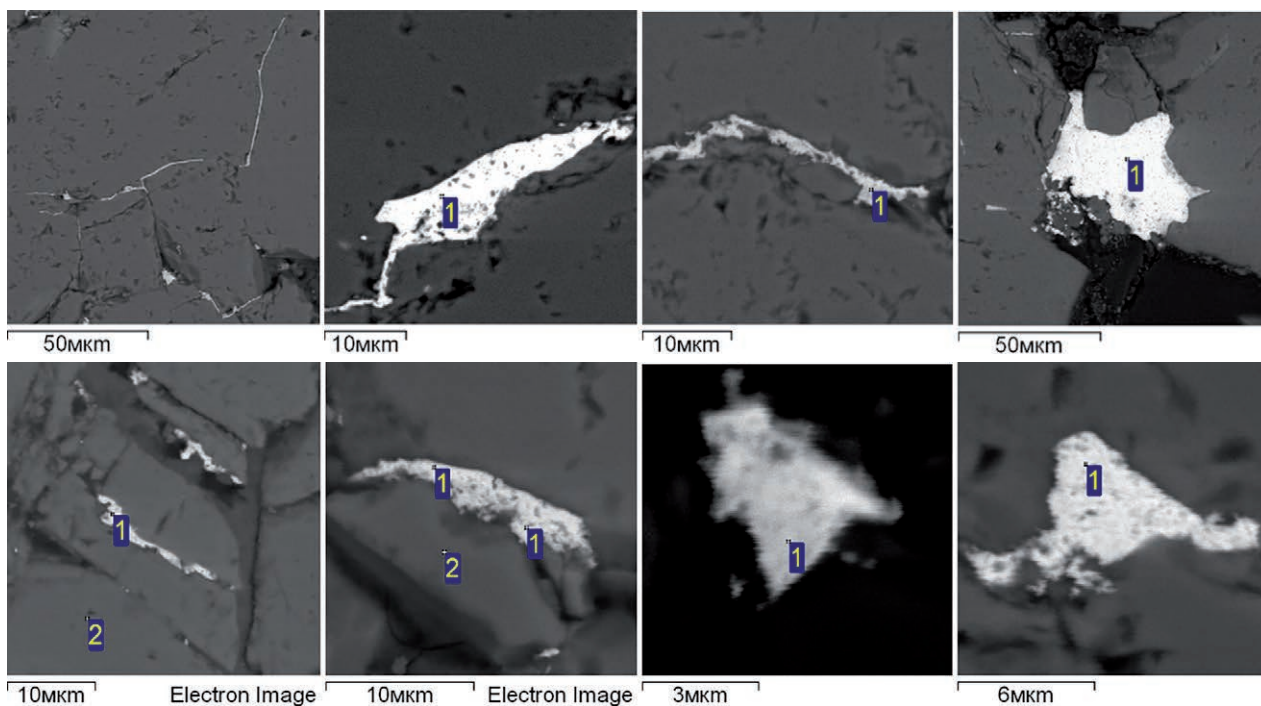


Рис. 6. Форма выделения золота в пирите из медно-сульфидных прожилков проявления Чевжавара:

1 – золото, 2 – пирит

Fig. 6. Form of gold separation in pyrite from copper-sulphide streaks at the Chavzhavara ore occurrence:

1 – gold, 2 – pyrite

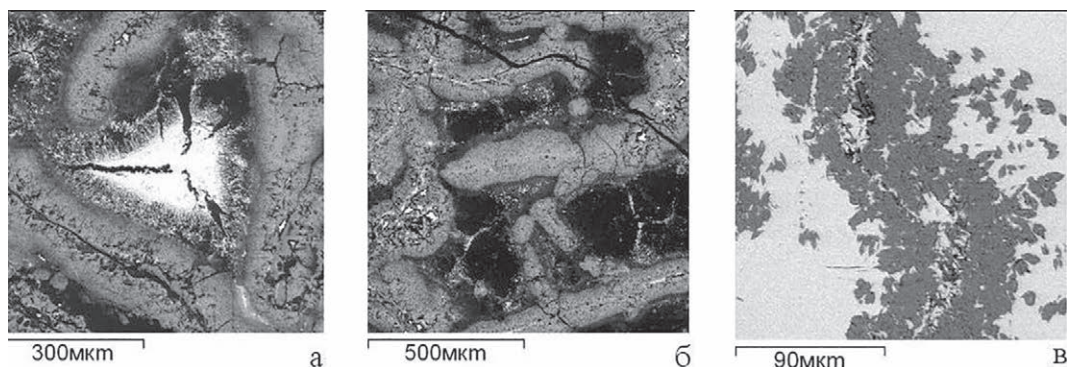


Рис. 7. Гематит-халькозиновые жилы: а – халькозин (белый), гематит (серый), черное – «трещинки усыхания» кварц, халцедон; б – гематит (серые трубочки), халцедон (черное между ними); в – прорастание халькозина (светлый) гетитом (темно-серые пластинки)

Fig. 7. Hematite-chalcosine veins: а – chalcocine (white), hematite (grey), black – quartz, chalcedony ('desiccation cracks'); б – hematite (small grey pipes), chalcedony (black colour between them); в – penetration of chalcocine (light) by goethite (dark-grey lamellae)

лическим кальцитом, кальцитом в сростании с амфибол-асбестом либо исключительно амфибол-асбестом. Определение состава минералов этих жил позволило установить, что волокнисто-игольчатый амфибол бело-серого цвета представлен тремолитом (см. табл. 1/4), а крупнокристаллический белый карбонат представлен чистым (без примесей) кальцитом. Тремолит-асбестовые жилы легко дезинтегрируются в открытых стенках карьера и рассыпаются.

Выводы

Золотосодержащие медно-сульфидные жилы прослеживаются во всех палеопротерозойских структурах Карелии, иногда образуя небольшие месторождения или проявления меди и золота, такие как Воицкое, Шуезерское, Ондозерское, Муезерское, Кеч, Кончезерская группа и другие [Кулешевич и др., 2009, 2010]. Палеопротерозойский (людиковийский)

силл габбродолеритов Чевжавара сечет ятулийские карбонатные толщи (туломозерской свиты). Он образует пологозалегающее слегка деформированное тело и сечется серией жил. Среди рудных кальцитовых и кварц-кальцитовых в них преобладают пирит-борнит-халькопиритовые, среди более поздних – халцедон-гематит-халькозиновые жилы, среди безрудных – кальцит-тремолит-асбестовые.

Крупные медносульфидно-кварц-кальцитовые жилы сопровождаются жильными инфильтрационными гранат-кальцитовыми скарнами, в которых гранат представлен зональным андрадит-гроссуляровым типом. Наличие гранат-кальцитовых жильных скарнов, магнетит-пиритовых, пирит-борнит-халькопиритовых, гематит-халькозиновых рудных ассоциаций, распад селенсодержащего борнита, соотношение $Cu : S$ в халькозине позволяют говорить о достаточно широком температурном интервале образования жил: от условий скарнирования (для гранатов гроссуляр-андрадитового состава от $T \sim 500-550$ °C) до $\sim 83-70$ °C.

На проявлении Чевжавара золото приурочено к пирит-борнит-халькопиритовым (медносульфидным) жилам, содержащим в небольшом количестве клаусталит, галенит (в том числе содержащий 3–8 % Se). Золото «садится» в пирит: оно тяготеет к микротрещинкам в пирите и относится к серебристому золоту и электруму. Концентрация золота в рудных

жилах составляет 0,06–31 г/т. Однако их количество на вскрытой (близповерхностной) площади карьера ограничено, жилы и рудные гнезда в них разрознены. Месторождение габбродолеритов – частный горнорудный объект, быстро отрабатываемый. Обнаружение на нем медносульфидных золотосодержащих жил имеет пока минералогический интерес, требующий внимания и дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках госзадания КарНЦ РАН, тема НИР № АААА-А18-118020290084-7.

Литература

Геологическая карта м-ба 1:200 000. Номенклатура Р-36-XXII. СПб.: ВСЕГЕИ, 1971.

Кулешевич Л. В., Голубев А. И., Лавров О. Б. Палеопротерозойские золотосодержащие медные месторождения и проявления Карельского кратона // ДАН. 2010. Т. 432, № 3. С. 376–380.

Кулешевич Л. В., Лавров О. Б., Голубев А. И. Золотосодержащее медносульфидное месторождение Воронов Бор и перспективы медносульфидных проявлений Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 26–47.

Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 504 с.

Поступила в редакцию 20.06.2020

References

Geologicheskaya karta m-ba 1:200 000. Nomenklatura P-36-XXII [Geological map, 1: 200,000. Nomenclature P-36-XXII]. St. Petersburg: VSEGEI, 1971.

Kuleshevich L. V., Golubev A. I., Lavrov O. B. Paleoproterozoiskie zolotosoderzhashchie mednye mestorozhdeniya i proyavleniya Karel'skogo kratona [Paleoproterozoic auriferous copper deposits and occurrences in the Karelian Craton]. *DAN* [Dokl. RAS]. 2010. Vol. 432, no. 3. P. 376–380.

Kuleshevich L. V., Lavrov O. B., Golubev A. I. Zolotosoderzhashchee mednosul'fidnoe mestorozhdenie

Voronov Bor i perspektivy mednosul'fidnykh proyavlenii Karelii [Voronov Bor auriferous copper sulphide deposit and the prospects of copper sulphide occurrences in Karelia]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Useful Minerals of Karelia]. 2009. Iss. 9. P. 26–47.

Spravochnik-opredelitel' rudnykh mineralov v otrazhennom svete [An identification guide to ore minerals in reflected light]. Moscow: Nedra, 1988. 504 p.

Received June 20, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Кулешевич Людмила Владимировна

ведущий научный сотрудник к. г.-м. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: kuleshev@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Kuleshevich, Lyudmila

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St, 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: kuleshev@krc.karelia.ru

Лавров Олег Борисович

научный сотрудник, руководитель Музея геологии
докембрия
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: petrlavrov@list.ru

Lavrov, Oleg

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St, 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: petrlavrov@list.ru

УДК 574:539.1.04:622.349.5

ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ РЕДКОМЕТАЛЛЬНО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО РЕГИОНА КАК ФАКТОР ИХ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

Г. Б. Мелентьев

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

Приводятся результаты многоплановых исследований с применением разномасштабных методов картирования и оценки естественной радиоактивности собственно редкометалльного рудного и нерудного сырья Кольского и Карельского регионов. Установлена преимущественно ториевая специализация продуктивных на редкие металлы нефелин-сиенитовых комплексов и торий-урановая карбонатитовых и гранит-пегматитовых. Определены закономерности распределения естественных радионуклидов в рудных телах, минеральные формы их концентрации и радиоэкологическое значение в оценках качества изученных видов сырья и обращения с ними при добыче и переработке. Для территории г. Мурманска, в основном представленной выходами докембрийского фундамента, на геотектонической картографической основе выявлены параметры радонового «дыхания», участки аномальных концентраций и их приуроченность к зонам разломов. Показана эффективность совместного использования результатов радиогеохимического картирования и радиационно-гигиенических обследований населенных пунктов в регионах.

Ключевые слова: естественные радионуклиды; редкометалльные руды; нерудное сырье; картирование; радиогеохимия; уран; торий; радон; радиоэкология.

G. B. Melentyev. NATURAL RADIOACTIVITY OF RARE-METAL SPECIALIZED MINERAL RAW MATERIALS AND URBANIZED AREAS IN THE KARELIAN-KOLA REGION AS A FACTOR FOR THEIR RADIOECOLOGICAL ASSESSMENT

The results of multifaceted studies using multiscale methods of mapping and assessment of the natural radioactivity of actual rare-metal ores, and non-metallic raw materials from the Kola and Karelian regions are presented. The thorium specialization was found to be predominant among nepheline-syenite complexes productive in rare metals, and the thorium-uranium specialization prevailed among carbonatite and granite-pegmatite complexes. The distribution patterns of natural radionuclides in ore bodies, the mineral forms of their concentration, and their radioecological significance in assessing the quality of the studied types of raw materials and handling them during mining and processing were determined. For the territory of the City of Murmansk, mainly represented by outcrops of the Precambrian basement, the parameters of radon 'respiration', areas of abnormal concentrations, and their confinement to fault zones were revealed in the geotectonic base map. The effectiveness of the combined use of the results of ra-

dio-geochemical mapping and radiation-hygienic surveys of settlements in the regions is demonstrated.

Key words: natural radionuclides; rare-metal ores; nonmetallic raw materials; mapping; radio-geochemistry; uranium; thorium; radon; radioecology.

Введение

Новая Россия унаследовала от СССР в значительной степени формализованное отношение к проблеме радиационно-экологической безопасности, обусловленной излучениями земных недр, недостаточную информированность населения о ее различных источниках и, соответственно, о способах предупреждения потенциально опасных воздействий на организм человека. Основные достижения в решении задач радиационно-экологической безопасности связаны с техносферой развития ядерной энергетики как в мирных целях, так и в военных. В известной степени прогресс в этом направлении обусловлен мобилизацией усилий в ликвидации последствий известных аварий и катастроф и, как следствие, в создании автоматизированных систем мониторинга и предупреждения нештатных ситуаций на радиационно опасных объектах техносферы и окружающей среды. С этих позиций представляется целесообразным изложить результаты радиогеохимических и минералогических исследований уровней концентрации и закономерностей распределения урана и тория в различных видах разведанного и эксплуатируемого редкометалльно специализированного сырья Кольского региона и Карелии, а также этих естественных радионуклидов и радона на урбанизированных территориях горнопромышленных комплексов, в частности, г. Мурманска как заполярного мегаполиса. Полученные данные своевременно были учтены и использованы горно-обогатительными предприятиями – заказчиками выполненных договорных НИР и послужили основой сравнительной радиоэкологической оценки территорий муниципальных образований, в т. ч. специализированными медицинскими организациями.

Потенциально опасная для персонала и населения ситуация недооценки радиоэкологического и радиационно-гигиенического факторов сложилась к началу 1990-х годов в сфере геологоразведки и недропользования [Пельменев, 1989; Мелентьев, 1990; Мелентьев и др., 1996]. В 90-х годах расшифровка радиационной аномалии в г. Апатиты, выявленной аэрогаммаспектрометрической съемкой (АГСМ)

ПО «Невскгеология», позволила обнаружить на территории Академгородка заброшенный контейнер с технологической пробой радиоактивного перовскитового концентрата с месторождения Африканда. Подобные «сюрпризы» горняков и обогатителей, не захороненные и не использованные по назначению в советское время, встречаются и за пределами горнопромышленных территорий. Не менее показательной является выполненная в начале 90-х годов расшифровка причин кожной патологии открытой части лиц горняков при взрывах повышенной мощности на одном из подземных горизонтов в процессе эксплуатации ГОК «Карелслюда» пегматитового месторождения слюды-мусковита Малиновая Варакка. Заболевание было вызвано импульсным альфа-излучением при вскрытии взрывами скоплений монацита в приконтактных зонах продуктивных тел, т. е. ториевых аномалий, пропущенных и недооцененных геологами при разведке и эксплуатации данного месторождения нерудного сырья.

С этих позиций автором с коллегами последовательно организованы и выполнены коллективные картировочные радиогеохимические работы на опорных площадках проекта МГХК-1000 (от ИМГРЭ Минприроды России) в пределах кристаллического фундамента СЗ части Кольского региона и выборочная оценка радонового «дыхания» на геотектонической основе территории г. Мурманска в рамках договора с городским экологическим фондом. В порядке личной инициативы и по договорам с горно-обогатительными предприятиями Кольского и Карельского регионов (ОАО «Апатит», «Карелслюда» и «Ковдорслюда», Ловозерский и Ковдорский ГОК) проведены детальные минералого- и радиогеохимические исследования на эксплуатируемых месторождениях, различающихся своей редкометалльной специализацией. Это позволило оценить различия в уровнях концентрации урана и тория как ведущих компонентов естественной радиоактивности в продуктивных залежах, определить минеральные формы их концентрации и закономерности распределения в пределах изученных месторождений нефелиново-сиенитовых, карбонатитовых и гранитовых комплексов. Расшифрована природа естественной радиоак-

тивности, включая соотношения между ураном и торием, проведена дифференцированная оценка ее влияния на качество исходного сырья и концентратов, разработаны научно-методические и практические рекомендации по учету радиационно-экологического фактора при добыче, обогащении и глубокой переработке изученных видов минерального сырья. Важным шагом стало то, что за счет использования радиогеохимических и радиационно-гигиенических методов изучения и оценки площадной и локальной естественной радиоактивности с применением картировочных методов были объяснены различия в дозах облучения населения изотопами радона и торона в эксплуатируемых административных, жилых и подвальных помещениях городов и поселков.

Карта пространственного размещения аномалий урана и тория м-ба 1:1 000 000 в СЗ части Кольского региона была дополнена крупномасштабной картой геохимических аномалий Хибинского массива м-ба 1:50 000, детальной картой аномалий Zr, Hf, U, Th Ковдорского месторождения м-ба 1:5000, графиками распределения урана и тория в разрезах по мощности рудных апатито-нефелиновых тел эксплуатируемых месторождений Хибин и результатами выборочного опробования различных лопаритсодержащих руд Ловозера с составлением поминеральных балансов их распределения. В Карело-Кольском регионе выполнено детальное радиометрическое картирование продуктивных тел керамических и мусковитовых пегматитов с минералого-геохимической заверкой и расшифровкой выявленных радиоактивных аномалий.

В пределах селитебно-промышленных зон г. Мурманска на авторской геотектонической основе впервые выполнена в м-бе 1:25 000 радоновая съемка по разряженной сети с привязкой к выявленным аномальным концентрациям урана и тория.

К сожалению, в связи с ликвидацией городского и регионального экофондов работа осталась незавершенной.

Методы исследований

Необходимость продолжения комплексного изучения и оценки уровней естественной радиоактивности в Карело-Кольском регионе в районах деятельности предприятий горно-промышленного комплекса, проведения геолого-разведочных работ (ГРП) и на урбанизированных территориях не вызывает сомнений, но по ряду причин оно не осуществляется. Любые нарушения естественного залегания гор-

ных пород и вскрыша залежей полезных ископаемых, особенно с применением взрывов повышенной мощности, активизируют естественное излучение, дозы которого возрастают по мере извлечения минеральных компонентов по схеме «добыча – обогащение – глубокие химико-металлургические переделы» с накоплением отходов производства и концентрированием элементов-токсикантов в выбросах и сбросах. Поэтому изучение и оценка уровней естественной радиоактивности, расшифровка ее природы – урановой или ториевой, определение конкретных источников и их радиоэкологического воздействия на среду обитания и человеческий организм исключительно актуальны для районов добычи минерального сырья и селитебно-промышленных территорий населенных пунктов. С учетом этого, а также в связи с более жесткими ПДК тория сравнительно с ураном (с 3-кратной разницей) стала очевидной необходимость не только выявления и оконтуривания аномалий естественной радиоактивности традиционными радиофизическими приборами, но и разработки комплексной методики расшифровки и количественной оценки их минералого-геохимической специализации. Современные требования к качеству минерального сырья, обеспечению радиоэкологической безопасности при его переработке и оценке возможностей устранения из технологических процессов урана и тория, включая выделение последнего в качестве ценного товарного продукта, обусловили необходимость проведения специальных исследований экогеохимической специализации территорий и массивов горных пород на уран и торий, уровней и минеральных форм их концентрации в различных видах минерального сырья и типах руд, закономерностей распределения в рудных телах и между слагающими их минералами и, наконец, в элементопотоках технологических схем обогащения и глубокой переработки исходного сырья, включая складываемые отходы производства, выбросы и сбросы, т. е. техногенные образования. Очевидно, что принятая при проведении ГРП система полевой радиометрии и гамма-каротажа скважин недостаточна для решения задач технологической минералогии и обеспечения радиоэкологической безопасности на всех стадиях переработки исходного сырья, включая воздействие на окружающую среду отходов добычи, обогащения и особенно переделов.

В то же время очевидно, что стадии разведки и эксплуатации минерального сырья (природного и техногенного) должны сопровождаться его санитарно-гигиеническими оценками с последовательным использова-

нием специальных методик ВНИИгеолнеруда [Временные..., 1986] и современных способов нормирования радиационной безопасности – ОСП-72/87(89), ОСПОРБ-99 и НРБ-99. Настоящая работа представляет собой информационно-аналитический обзор результатов целевых многоплановых исследований, выполненных в период с начала 1990-х до первого десятилетия XXI века в сопоставимых масштабах минералого-радиогеохимических, опробовательских и приборных радиогеофизических работ на собственно редкометалльных и редкометалльно специализированных месторождениях, а также на эталонных (опорных) площадках кристаллического фундамента, включая урбанизированную территорию г. Мурманска. Конкретные методы исследования и их результаты кратко изложены в разделах по каждому объекту с рекомендациями, нацеленными на улучшение радиоэкологической обстановки.

Радиогеохимическое изучение объектов недропользования

Основными объектами опытно-методических научно-исследовательских работ, выполненных в 1987–1993 гг. от круглогодичной Кольской партии Московской экспедиции ИМГРЭ (г. Кировск) и в 1994–1999 гг. от ООО СЗ НТЦ «Экология и ресурсы» (г. Мурманск), явились высококомплексные редкометалльно специализированные апатито-нефелиновые руды Хибинских месторождений, эксплуатируемых АО «Апатит» корпорации «ФосАгро», апатито-железорудное сырье Ковдорского месторождения (АО «Ковдорский ГОК» холдинга «ЕвроХим»), собственно редкометалльные лопаритовые и другие руды Ловозерских месторождений (АО «Севредмет» – Ловозерский ГОК) и нерудное сырье пегматитовых месторождений, эксплуатировавшихся на калиевый полевой шпат и слюду-мусковит ГОК «Карелслюда» и «Ковдорслюда». Такие системные НИР в территориально разобщенных районах их проведения при непосредственной заинтересованности в их результатах действующих предприятий были организованы и выполнены впервые.

Уровни концентрации и распределение естественных радионуклидов в редкометалльно-глиноземно-фосфатных рудах Хибинских месторождений

Изучение и оценка уровней концентрации и закономерностей распределения урана и тория в высококомплексных апатито-нефелиновых рудах Хибинского массива выполнялись

на основных эксплуатируемых АО «Апатит» месторождениях [Мелентьев, Малинина, 2006; Мелентьев и др., 2010]. Объектами минералого-геохимического изучения явились пробы весом 20–25 кг, которые отбирались в подземных горных выработках и на поверхности в карьерах по всей мощности зонально-расслоенных продуктивных тел, по их зонам и вмещающим породам. Пробы подвергались анализам на редкие и радиоактивные элементы, а также количественно-минералогическим анализам с последующим выделением мономинеральных фракций и их анализами на те же элементы нейтронно-активационным методом (ИМГРЭ). Согласно результатам анализов, содержание урана во вмещающих породах (ийолит-уртитах и рисчорритах) варьирует в пределах 4–18 г/т, в то время как тория заметно выше – от 6 до 20 г/т. При этом рисчорриты, породы висячего бока (кровли) рудной залежи, как правило, содержат в 1,5–2 раза больше урана и тория, с преобладанием последнего, чем ийолит-уртиты, обычно представляющие лежащий бок (подошву) залежи. В апатит-нефелиновых рудных телах содержание урана несколько ниже, чем в уртитах, в то время как тория – сопоставимо или даже выше в 1,5–2,5 раза. В целом установлено увеличение содержания урана и особенно тория в направлении от Кировского и Юкспорского рудников к Расвумчоррскому и далее к Восточному, представленному карьерами Коашва, Ньюпахк, Суолуайв. Здесь во вмещающих породах содержится до 12–18 г/т урана и 14–26 г/т тория, а в рудах – всего лишь 4–6 г/т урана при 14–22 г/т тория. Таким образом, вмещающие породы и руды Хибинских апатит-нефелиновых месторождений отчетливо фиксируют ведущую ториевую природу радиоактивности. С санитарно-гигиенических позиций даже при максимальном содержании 18 г/т урана и 25 г/т тория во вмещающих породах Ньюпахка общая активность составляет $8,87 \times 10^{-9}$ Ки/кг, что меньше допустимого уровня по ОСП-72/87(89) для нерадиоактивного минерального сырья ($\geq 10 \times 10^{-9}$ Ки/кг).

Определение содержания урана и тория тем же методом в главных минералах-концентратах – апатите и сфене (титаните) проводилось в мономинеральных фракциях, выделенных из объединенных проб, подвергнутых химико-аналитическим и количественно-минералогическим исследованиям.

Результаты анализов апатита с рудников Юкспор, Расвумчорр и Восточный (карьеры Коашва, Ньюпахк, Суолуайв) прежде всего свидетельствуют о том, что содержание урана в них варьирует в пределах 15–16 г/т на за-

падных рудниках и 2,2–4,0 г/т на Восточном, в то время как тория соответственно от 15–31 до 4,7–17 г/т при аномальном содержании 111 г/т на Коашве. Таким образом, во-первых, в апатитах установлено стабильное и значительное преобладание тория над ураном и, во-вторых, во вмещающих породах и рудах Восточного рудника это преобладание максимально благодаря значительно меньшему (в 3–4 раза) содержанию в апатитах урана относительно его содержания в западных рудниках. Принимая за максимальное содержание в апатитах 16 г/т урана и 25 г/т тория, в пробе апатит-нефелиновой руды с Расвумчорра получаем: $(16 \times 0,34 + 25 \times 0,11) \times 10^{-9} = (5,44 + 2,75) \times 10^{-9} = 8,19 \times 10^{-9} \text{ Ки/кг} < 10 \times 10^{-9} \text{ Ки/кг}$, что соответствует санитарно-гигиеническим нормам.

В сфеновых монофракциях содержание урана варьирует в пределах 10–53 г/т и тория – от 8,3 до 14 г/т. Однако в отличие от апатитов содержание урана в сфенах из руд Восточного рудника сравнительно с западными значительно, в 2–4 раза, выше. Содержание тория также выше, но в меньшей степени (в 1,5–2 раза). Радиологическая оценка сфена с максимальным содержанием от 26 до 53 г/т урана при 10–14 г/т тория через перерасчет на их удельную активность свидетельствует о предельно допустимом уровне радиационной безопасности или превышении его аномального содержания почти вдвое. Следовательно, сфеновые концентраты из руд Восточного рудника, в отличие от западных, могут быть небезопасными с радиологических позиций, особенно при пирохимических переделах и использовании в высокотемпературном литье.

Эти данные по Восточному руднику ориентируют на проведение радиометрической и сопутствующей радиогеохимической съемок с минералого-геохимической заверкой и оценкой выявляемых аномалий на «сквозное» соответствие нормам радиационной безопасности, т. е. с учетом условий не только горной добычи, но и обогащения, включая газо-пылевые выбросы и промстоки, и особенно – последующие переделы апатитов и сфенов.

В титаномагнетитах и ильменитах значения содержания урана и тория сопоставимы. На Юкспорском руднике в них содержится до 3–5 г/т урана и 1,5–4 г/т тория, в то время как на Расвумчорре содержание урана достигает 4–15 г/т и тория 1,6–8 г/т, т. е. в целом заметно выше. Соответствие их санитарно-гигиеническим нормам радиационной безопасности даже в случае планируемых пирометаллургических переделов сомнений не вызывает.

Согласно количественно-минералогическим исследованиям собственно титаново-редкометалльные минералы-концентраты урана и тория присутствуют во вмещающих породах и рудах Хибинских апатит-нефелиновых месторождений в виде мелкой вкрапленности, т. е. являются типично акцессорными и обнаруживаются в составе тяжелой фракции проб под микроскопом. Среди них установлены ринколит, лопарит, перовскит, циркон, ломоносовит-мурманит и другие. Исключение составляет эвдиалит, образующий крупные выделения и гнезда, наиболее характерные для лежачего бока рудной залежи. В связи с тем, что эвдиалит является одновременно и коллекционным и подделочным сырьем, нами произведены радиометрические замеры гамма-активности двух его разновидностей: малиновой с Кировского рудника – 16–18 мкр/час и сиреневато-розовой с Юкспорского рудника – 23–25 мкр/час. На фоне гамма-активности вмещающих уртитов и поздних зон шпреуштейнизации в 13–14 мкр/час эвдиалит выделяется повышенной радиоактивностью, не превышающей норму.

Акцессорные минералы – концентраты радиоактивных компонентов в пределах Кировского рудника (Саамский карьер) встречаются редко, образуя скопления в пегматоидных шлирах, где в ризкорритах кровли количество лопарита достигает 0,5 кг/т, а перовскит накапливается до 200–376 г/т в апатит-нефелиновых рудах и в «сфенитах» со стороны висячего бока рудной залежи. Количество ринколита в рудах достигает 487 г/т. На Юкспорском руднике лопарит встречается как в уртитах лежачего бока (117–465 г/т), так и в ризкорритах висячего бока (251 г/т) рудной залежи. Здесь же, в рудах лежачего бока, содержание перовскита не превышает 1–4 г/т. Мурманит-ломоносовит распространен и в рудах, и во вмещающих породах (250–350 г/т), содержание ринколита – до 100–200 г/т, а эвдиалита – до 4–13 кг/т. На Расвумчоррском руднике в породах кровли содержится 132–955 г/т лопарита, в них же – 0,2–1,2 кг/т перовскита при содержании его в руде до 195 г/т, а также по 0,5–1 кг/т ломоносовита-мурманита и эвдиалита. На Восточном руднике в переслаивающихся вмещающих породах и рудах ринколит, лопарит, перовскит и эвдиалит распространены повсеместно, во всем объеме, в то время как ломоносовит-мурманит встречается реже, образуя визуально наблюдаемые «музейные» выделения на вершине между Коашвой и Ньюрпахком. При этом количество ринколита достигает 0,2–1 кг/т, лопарита – 54–453 г/т и перовскита – 11–31 г/т.

В целом количество минеральных видов – концентратов редких и радиоактивных компонентов и их средневзвешенное содержание обнаруживают тенденцию к увеличению в рассматриваемом направлении, с запада на юг и восток по Хибинской «дуге», т. е. с приближением к Ловозерскому массиву [Мелентьев, Малинина, 2006; Мелентьев и др., 2010]. Это обстоятельство свидетельствует не только о существенном изменении количественных соотношений между апатитом и минералами – концентраторами титана, включая сфен, в пользу последних в рудах фланговых месторождений Хибинской «дуги» (Олений ручей, Партомчорр, Лявочорр-Валлепахк), но и, соответственно, об увеличении их «вклада» в уровни естественной радиоактивности этих месторождений, где также прогнозируется повышенное содержание акцессорных минералов – концентратов титана, редких металлов и радиоактивных компонентов. Очевидно, что такой прогноз ориентирует на проведение соответствующего комплекса прикладных минералого-геохимических исследований методами малообъемного картирования на этих месторождениях по мере вовлечения в промышленное использование «Северо-Западной Фосфорной Компании» (СЗФК) холдинга «Акрон», в том числе – в целях радиоэкологической оценки промышленно ценных концентратов, отходов обогащения, пылей и рудничных стоков.

Основные результаты исследований заключаются в следующем:

– для Хибинских апатит-нефелиновых руд, вмещающих пород и основных минералов – концентратов радиоактивных элементов (apatита и сфена) характерно преобладание тория над ураном;

– содержание тория и урана возрастает от центральных (западных) месторождений Хибинской «дуги» (Кукисвумчорр, Юкспор, Расвумчорр) к фланговым восточным (Коашва, Ньюрпахк, Суолуайв) вплоть до появления собственных акцессорных минералов – концентратов радиоактивных элементов: ринколита, лопарита, перовскита, мурманита-ломоносовита и др. (в сумме 0,5–1,5 кг/т и более);

– для апатитов характерно стабильное преобладание тория над ураном, максимально проявленное в рудах восточных месторождений; при этом сфен, в отличие от апатита, максимально обогащен на востоке и ураном и торием – либо на пределе допустимого уровня радиационной безопасности, либо с превышением его в 2 раза;

– расчетные удельные активности хибинских апатит-нефелиновых руд и выпускаемых

концентратов не превышают санитарно-гигиенические нормы, установленные для радиоактивного сырья; однако по мере углубления эксплуатационных выработок Восточного рудника эта ситуация может измениться, что потребует организации специального радиационного мониторинга в карьерах за составом руды и на обогатительных установках – за соответствием нормам безопасности концентратов и хвостов обогащения.

Согласно специальным исследованиям в ИХТРЭМС КНЦ РАН [Николаев и др., 2006] природы повышенной радиоактивности сфеновых концентратов (в отличие от монофракций), аномальное содержание радионуклидов и удельная активность обусловлены присутствием в изученных сфеновых продуктах перовскита, характеристики которого сравнивались с перовскитовыми концентратами Африканды как эталонными. Тем самым поставлен вопрос о необходимости разделения сфена и перовскита обогатительными методами, особенно при селективной переработке сфенитовых руд, включая пирохимические и металлургические переделы товарных сфеновых концентратов. Это обстоятельство имеет прямое отношение к планам промышленного освоения СЗФК месторождения Партомчорр, руды которого аномально обогащены сфеном относительно апатита.

Объекты коллекционно-минералогического туризма как источники повышенной радиоактивности

Карело-Кольский регион, богатый разнообразными минеральными ресурсами, другими природными, историческими и этнографическими достопримечательностями, ежегодно привлекает значительное число любителей некомфортного научно-познавательного и спортивно-оздоровительного туризма – горного, водного, экологического, коллекционно-минералогического и др. Достаточно указать, что только Хибины в теплое время года посещают тысячи «неорганизованных» туристов – любителей камня, в том числе не имеющих специального геологического образования. Очевидно, что с созданием национального парка «Хибины» объекты их посещений и особенно собираемый каменный материал должны быть изучены, оценены и классифицированы с позиций радиационной безопасности с изданием соответствующих справочных руководств.

В пределах Хибинского массива существует целый ряд других, в т. ч. известных с 30-х годов прошлого столетия [Комлев, 1933] собственно

редкометалльных проявлений, характеризующихся повышенной и высокой радиоактивностью. Среди них выделяются пегматоидные эгириновые альбититы с титаново-циркониево-ниобиевым (ильменит-циркон-пироклоровым) оруденением (уч. Рестинюн – Намуайв), калишпатиты с циркониево-тантал-ниобиевым (эвдиалит-лопаритовым) оруденением (уч. Пика Марченко), ловчоррит(ринколит)-эгрин-полевошпатовые пегматиты Юкспорского ториево-редкоземельного месторождения и др. Как правило, эти объекты, посещаемые многочисленными туристическими и студенческими группами, включая любителей коллекционной минералогии, остаются неизученными и не оконтуренными по площади радиофизическими и тем более радиогеохимическими методами. В то же время жильное поле редкометалльных эгириновых альбититов на уч. Рестинюн – Намуайв, открытое в 1960 г. С. И. Заком на востоке Хибин (западное побережье оз. Умбозеро), в свое время служило объектом поисков на уран ПО «Невскгеология».

На уч. Пик Марченко лопаритсодержащие калишпатиты, открытые Л. В. Козыревой (ГИ КНЦ РАН) в 3 км от грунтовой дороги, связывающей участок с г. Кировском (15 км), содержат 13 г/т урана и 72 г/т тория. Соседние пегматитовые жилы, известные в качестве источника коллекционного циркона, содержат 95 г/т урана и 26–67 г/т тория, т. е. отличаются от лопаритсодержащих зон преимущественно урановой природой радиоактивности, носителем которой в значительной степени являются кристаллы циркона. Наконец, сопряженные с зоной лопаритсодержащих калишпатов небольшие по размерам, но богатые апатитом и сфеном жилы апатит-нефелиновых руд на уч. Пика Марченко содержат всего лишь 3,5 г/т урана и 14 г/т тория. До сих пор остаются неизученными с радиоэкологических позиций места бывшей добычи, а затем бесконтрольного отбора и вывоза образцов коллекционного и подделочного астрофиллита в пегматоидных альбититах уч. Любительского и Поднебесного на г. Эвеслогчорр, участка в приводораздельной части северо-восточного склона Кукисвумчорра за Лопарским перевалом и т. д.

К числу наиболее радиоактивных природных объектов Хибин, посещаемых любителями горного туризма и минералогами-коллекционерами, относится Юкспорское месторождение ловчоррита-ринколита, расположенное в 10 км от г. Кировска в правом борту ущелья Гакмана и в приводораздельной части северного склона хр. Юкспор. Это месторождение, открытое в 1930 г. Н. Н. Гутковой, эксплуатировалось

с 1933 по 1937 г. в качестве источника получения редкоземельно-ториевого концентрата, а из последнего – соединений церия и тория. Содержание ловчоррита-ринколита в жилах варьирует в пределах до 7–24 %, в среднем составляя 5–6 %, т. е. он является одновременно и ведущим редкометалльным, и второстепенным породообразующим минералом. С современных позиций наибольшую ценность в составе ловчоррита-ринколита среди элементов редкоземельной группы представляют не церий (до 8 %) и лантан (5,15–9,57 %), а иттрий (1,26–1,36 %), другие особо ценные «индивидуалы» этой группы и, возможно, скандий. В составе ловчоррита-ринколита исследованиями И. Д. Борнеман-Старынкевич [1935] в 30-х годах и Ю. С. Слепнева (ИМГРЭ) в 50-х годах установлено до 1 % тория и 0,02 % урана, т. е. преобладание первого над вторым в 50 раз. Очевидно, что этот минерал, содержащий его рудные тела и вмещающие породы экзоконтактов, а также продукты их дезинтеграции, включая отходы обогащения бывшей фабрики, представляют собой источники высокой естественной радиоактивности.

Выборочными радиометрическими замерами установлено, что преобладающий радиационный фон внутри главной штольни на Ловчорритовом руднике составляет 700 мкр/час, а непосредственно в стенках выработок, пройденных в рудных телах, зафиксирована гамма-активность в 1200–1600 мкр/час. У входа в Главную штольню радиоактивный фон не превышает 140 мкр/час, в осыпи на склоне фиксируется от 200 до 110 мкр/час, а в тальвеге реки – 80 мкр/час; для воды в руч. Гакмана под штольнями и из скважины характерны 30–40 мкр/час. Таким образом, бывший рудник как природно-исторический объект представляет собой вполне определенный источник радиационной опасности при длительном нахождении в зоне ее действия, вдыхании рудничной пыли, употреблении местной питьевой воды, транспортировке и хранении образцов ловчоррита-ринколита. Эта ситуация как минимум требует установки для посетителей разъяснительных и предупреждающих о радиационной опасности надписей и специальных знаков, а в перспективе – проведения детальной радиометрической съемки с сопровождающей радиогеохимической заверкой выявляемых аномалий.

За годы эксплуатации на Ловчорритовом руднике добыто около 5 тыс. т руды, из которой, после предварительного обогащения на месте ручной разборкой, на обогатительной фабрике в пос. 23 км (левый берег р. Юкс-

порйок) в 1934–1937 гг. получено до 650–700 т радиоактивного ловчоррит-ринколитового концентрата. По нашему мнению, необходима постановка детальной радиометрической съемки района бывшей фабрики, хвосты которой могли «питать» сток р. Юкспорйок и его устье при впадении в оз. Б. Вудьявр, служившее ранее источником водозабора из поверхностных вод для г. Кировска. В условиях морозного выветривания и водной среды скрытокристаллический и частично аморфный ловчоррит-ринколит легко подвергается изменениям с последующим полным растворением. Это могло обеспечить выщелачивание не только тория и урана, но и содержащегося в исходных минералах фтора (до 4–5 %), с переходом их в подвижное состояние и переотложением в донных осадках, включающих такие сорбенты, как илистые фракции, отложения мазутных остатков с Кировской ГРЭС на дне оз. Б. Вудьявр и т. д. Как известно, подобные осадки, особенно загрязненные радиоактивными компонентами, представляют собой активные канцерогены и поэтому требуют специальных исследований и оценки как возможные дополнительные факторы онкологических заболеваний населения.

В последние десятилетия волна неорганизованного туризма и несанкционированного сбора каменного материала распространилась, кроме Хибин и Ловозера, в центральные районы Кольского региона (Кейвы), где пегматоидные производные щелочных гранитов представляют интерес для любителей коллекционной минералогии и в то же время характеризуются повышенной радиоактивностью целого ряда «экзотических» минералов. Подобная ситуация характерна для рудничных отвалов Ковдорского района, где максимальная радиоактивность установлена в разновидностях мелкокристаллических апатит-магнетитовых руд, а крупные выделения радиоактивных минералов встречаются в нерудном пегматитовом (керамическом и слюдяном) сырье – уранинит, монацит как концентратор тория, ортит (140 мкр/час) и др. Для Карелии, где добыча пегматитового сырья осуществлялась на шести рудниках, характерна подобная ситуация. Кроме того, радиоактивные редкоземельные минералы широко распространены и в других районах локализации карельских пегматитовых месторождений, включая заброшенные карьеры и т. д. Все они, как и дренирующие их водотоки и водоемы, включая донные осадки, требуют проведения радиохимического изучения и оценки с изданием необходимого справочника-руководства для туристов-любителей, как российских, так и зарубежных.

Уровни концентрации и распределение естественных радионуклидов в редкометалльных рудах Ловозера

Изучение уровней концентрации и распределения урана и тория в собственно редкометалльных рудах (Ta, Nb, TR, Ti) и вмещающих породах Ловозера, характеризующихся повышенной радиоактивностью, проведено в процессе детальной минералого-геохимической паспортизации основных разновидностей лопаритсодержащего сырья, эксплуатируемого ОАО «Ловозерская ГОК» (бывший «Севредмет») традиционным способом, а также нетрадиционных его видов – апатит-лопаритовых уртитов (горизонт II-7) и лопарит-эвдиалитовых луявритов (уч. Аллуайв), частично разведанных и рекомендуемых в промышленное освоение открытым способом [Мелентьев и др., 2006; Мелентьев, 2007, 2014]. В отличие от предыдущих объектов изучение ловозерского сырья сопровождалось составлением поминеральных балансов распределения редких и радиоактивных элементов в каждой из 11 выделенных и опробованных разновидностей руд с учетом состава тяжелой и легкой фракций.

В результате исследований установлены следующие особенности в распределении радиоактивных компонентов в ловозерском редкометалльном сырье:

- сопоставимость разновидностей лопаритсодержащих руд по содержанию урана (3–14 г/т) при значительной разнице в содержании тория, максимальном в лопаритовых уртитах (120–210 г/т) и минимальном в лопарит-эвдиалитовых луявритах (110 г/т);
- значительное преобладание тория над ураном во всех видах сырья;
- преимущественная концентрация радиоактивных элементов в лопарите: тория – на 86,4–97,9 % и урана – до 75–99 %, с преобладанием первого над вторым в десятки раз;
- в апатит-лопаритовых рудах радиоактивные элементы распределяются между лопаритом и частично апатитом (0,43 % Th), что необходимо учитывать при разработках схем их обогащения и прямых переделов [Мелентьев и др., 2006].

Как известно, уровни концентрации урана и тория в эксплуатируемых лопаритовых уртитах не превышают допустимых пределов, в то время как лопаритовые концентраты относятся к классу радиоактивных веществ и требуют специального обращения при выпуске, складировании и транспортировке. Продуктивные лопаритсодержащие горизонты на руднике Карнасарт ≤ 1 м характеризуются малой вые-

мочной мощностью. Этим обусловлены ограниченные возможности работы горняков-проходчиков в забое: бурение шпуров осуществляется в лежачем положении в условиях запыленности рудным веществом. Лопаритовый концентрат с обогатительной фабрики характеризуется более высокой радиоактивностью сравнительно с допустимой в рудной массе и поэтому транспортируется на переработку в Соликамск (СМЗ) в свинцовых контейнерах. Радиометрический контроль руды, поступающей в вагонетки на фабрику, с 90-х годов осуществлялся дистанционно и автоматически: в случае превышения допустимого уровня содержимое вагонетки направлялось в отвал из производственного процесса.

С учетом вышеизложенного радиоэкологические последствия добычи, обогащения и переделов ловозерских редкометалльных руд требуют специального изучения в окружающей среде, включая подвижные формы тория и урана в связи с очевидными возможностями их вторичного накопления в растениях, дикорастущих плодах, рыбе и в конечном итоге в организме персонала и населения с развитием специфической заболеваемости (онкология и др.).

Уровни концентрации и распределение естественных радионуклидов в редкометалльно-фосфатно-железородном сырье Ковдора

Оптимальное сочетание детального радиометрического и минералого-геохимического картирования бадделеит-апатит-магнетитовых руд в карбонатитах Ковдорского месторождения, эксплуатируемого одноименным ГОКом, с визуальным минералого-петрографическим методом предварительной классификации разновидностей этих руд позволили очертить их основные, наиболее контрастные типы (сорта) на сводном погоризонтном плане изоконцентрациями распределения редких и радиоактивных элементов. Детальное минералого-геохимическое изучение выделенных разновидностей и трех основных сортов бадделеитсодержащих руд, включая мономинеральные фракции и промышленные концентраты, потребовало выполнения трудоемких количественно-минералогических анализов рудных проб в сочетании с прецизионными физико-химическими и физическими методами, включая использование микрозонда для изучения состава тонковкрапленного бадделеита. Тем самым были расшифрованы природа и специфика пространственной локализации участков повышенной радиоактивности бадделеитсо-

держающего ковдорского сырья, недоизученных в процессе разведки месторождения и оказавшихся необходимыми при организации выпуска, оценке и особенно реализации бадделеитового концентрата как наиболее ценного товарного продукта [Мелентьев, 2016].

Выполненные исследования с составлением сводных геохимических планов распределения Zr, Hf, U и Th в пределах эксплуатируемого месторождения позволили получить следующие основные результаты:

- о контуры (в изоконцентрациях) участки и зоны повышенного содержания редких металлов и радиоактивных элементов;

- установлена более широкая площадная распространенность 6–8 локальных радиоактивных аномалий в пределах южной и центральной части рудной залежи сравнительно с данными ГРП, согласно которым выделялась центральная «Аномальная зона», где главные минералы – концентраторы радиоактивных элементов были представлены гатчеттолитом и циркелитом, т. е. преимущественно коррелировались с танталом и ниобием;

- выявлена повышенная радиоактивность бадделеита, максимальная в пределах нескольких комплексных редкометалльно-радиоактивных аномалий, представляющих район «Аномальной зоны», выделенной в процессе ГРП в качестве однородного участка, а также его повышенная извлекаемая ценность за счет высокого содержания гафния (1,5 кг/т), тантала (2,2 кг/т), скандия (от средних 250 до 400–600 г/т);

- определены уровни концентрации урана (400–1100 г/т UO_2) и тория (50–300 г/т ThO_2) в мономинеральных фракциях бадделеита и предельные величины удельной радиоактивности товарных бадделеитовых концентратов (470–510 Ки/кг) относительно фона (40 н Ки/кг);

- установлена минимальная радиоактивность бадделеита из силикатных разновидностей руд при пониженной роли тория относительно урана и максимальная – для бадделеита из карбонатных и особенно доломитсодержащих руд карбонатитового ядра с повышением соотношения Th/U от 3 до 6;

- обнаружены различия в содержании радионуклидов в наиболее распространенной светло-розовой разновидности бадделеита сравнительно с его темно-бурой разновидностью: первая содержит в 2,5 раза больше урана и в 4 раза меньше тория;

- повышенная радиоактивность бадделеитовых концентратов относительно двух разновидностей монофракций обусловлена ми-

кропримесями и сростками ассоциирующих с ними минералов – концентраторов радиоактивных элементов (гатчеттолит, циркелит, пировскит и др.), которые сосредоточены в оконтуренных аномально радиоактивных участках.

Пространственное совмещение локальных максимумов концентрации Zr и Hf на севере рудной залежи при отсутствии радиоактивности, Zr и Hf с Th на востоке и, наконец, Zr, Hf, U и Th в южной и центральной части залежи, заверенных количественно-минералогическими анализами и данными об их содержании в бадделеитах, позволяет выделять три сорта бадделеитсодержащих руд и рекомендовать их селективную добычу и переработку для разных потребительских целей: 1-й нерадиационный сорт – для традиционного производства огнеупорных изделий, 2-й ториевый – для специальной металлокерамики и извлечения редких металлов и тория, 3-й торий-урановый – для тех же целей с предварительным извлечением радиоактивных элементов [Мелентьев, 2016].

Развитие горной добычи редкометалльно-фосфатно-железородного сырья Ковдорским ГОКом по площади и на глубину, включая неизученные с изложенных позиций апатит-штаффелитовые и, возможно, другие типы руд, позволяет рекомендовать: 1) проведение детального погоризонтного минералого-геохимического картирования рудной залежи с использованием проб эксплоразведки и хвостов обогащения; 2) изучение изменчивости поликомпонентного состава бадделеита; 3) организацию химико-технологических изысканий способов вскрытия и глубокой переработки бадделеитовых концентратов на месте с извлечением циркония, гафния, скандия и других особо ценных микрокомпонентов попутного производства, а также радионуклидов.

Естественная радиоактивность нерудного пегматитового сырья карельских и кольских месторождений калиевого полевого шпата и слюды-мусковита

Изучение и оценка радиоактивности нерудного пегматитового сырья, служившего объектом эксплуатации на крупнопластинчатую слюду-мусковит и калиевый полевой шпат, выполнены на рудниках ГОКа «Карелслюда» (Малиновая Варакка и др.), а затем ГОКа «Ковдорслюда» (Енский, Риколатвинский, Чалмозерский и др.), т. е. на «слюдяных» и «керамических» пегматитах соответственно. Комплекс исследований включал погоризонтную радиометрию вмещающих пород и пегматитовых тел в горных выработках вкрест простира-

продуктивных жил с последующим выборочным отбором по ним в участках радиоактивных аномалий проб весом 20–25 кг. Эти пробы подвергались анализам на уран и торий, прямым количественно-минералогическим анализам и выделению монофракций минералов – концентраторов радиоактивных элементов с определением их содержания [Мелентьев и др., 1990]. В результате исследований установлены:

- повышенная радиоактивность мусковитовых пегматитов относительно керамических;
- локальный (участковый) характер радиоактивных аномалий (максимальных – до 800–1200 мкр/час), приуроченных к продуктивному на товарную слюду обрамлению кварцевых ядер;
- минералы – концентраторы тория в мусковитовых пегматитах: мелковкрапленный монацит (Малиновая Варакка, Ена) и урана: желваковый уранинит (Риколатва); в керамических – спорадические скопления ортита (140 мкр/час);
- отсутствие радиоактивности в товарной слюде-сырце;
- импульсное альфа-излучение как причина кожных патологий на открытой части лиц горняков при взрывах повышенной мощности мусковитовых пегматитов с ториевыми аномалиями;
- отсутствие радиоактивных аномалий в карьерах по добыче флогопита и вермикулита.

Проведенными Н. В. Мельник и А. И. Савицким детальными исследованиями соответствия горных пород Карело-Кольского региона, включая вскрышные с эксплуатируемых рудных месторождений, радиационным санитарно-гигиеническим нормативам для строительных материалов установлена их пригодность к многоцелевому использованию в соответствии с различиями в показателях удельной активности. Повышенная в допустимых пределах радиоактивность характерна для гранитов, но использование в строительных целях их мелких фракций может быть радоноопасным [Мельник, 2003; Савицкий, Бархатов, 2005].

Методика и результаты комплексного радиоэкологического изучения и оценки урбанизированных территорий г. Мурманска

Организация специализированных радиоэкологических исследований в Мурманске, как мегаполисе Заполярья, непосредственно была связана с выполнением коллективом специалистов СЗ НТЦ «Экология и ресурсы» договорной работы с экологическим фондом городской администрации по комплексному экологическо-

му картированию и оценке г. Мурманска и его окрестностей (~60 км²). Основанием для выполнения этих НИР явились:

- повышенный фон естественной (природной) радиоактивности, характерный для гранито-гнейсов Балтийского щита, представляющих 60 % площади города;

- наличие локальных аномалий тория, урана и K⁴⁰, выявленных ПО «Невскгеология» в пределах города дистанционной АГСМ без заверки наземными методами и расшифровки их природы;

- составление специалистами СЗ НТЦ «Экология и ресурсы» обновленных геологической и тектонической карт г. Мурманска м-ба 1:25 000 с выделением четырех разновидностей гнейсов и основных элементов разломной тектоники, выраженных в рельефе;

- повышенное внимание городского населения и администрации к медико-экологическим аспектам радиационной безопасности, включая аккумулирующий во времени эффект малых доз, остающийся недоизученным.

Для территории г. Мурманска с окрестностями специалистами СЗ НТЦ «Экология и ресурсы» впервые составлена карта трещинной тектоники в м-бе 1:25 000, а также проведены анализ приуроченности к зонам разломов аномалий естественной радиоактивности, выявленных ранее АГСМ ПО «Невскгеология», их наземная заверка и выборочное обследование на радон площади города и общественных учреждений (детских, лечебных и ряда административных) [Мелентьев и др., 2003].

По результатам дешифрирования космических и аэрофотоснимков на обзорной карте района г. Мурманска м-ба 1:200 000 и карте города м-ба 1:25 000 выделены лишь те тектонические нарушения (разломы), которые проявляются в структурных формах рельефа, гидросети, растительного покрова и сформированы главным образом неотектоническими дислокациями. Система наиболее крупных зон разломов меридионального, субширотного и СВ простирания определяет конфигурацию Кольского залива, который представляет собой грабен древнего заложения (в плане – коленообразный). В целом структура деформаций, проявленных в его пределах, кулисообразная (Мурмаши – Кола – Североморск – Полярный). В районе Мурманска прослеживается наибольшая по величине разгрузка напряжений, фиксируемая сколовыми деформациями и смещением блоков вдоль разломов СВ простирания. Зона наиболее крупного Субмеридионального разлома, отчетливо выраженного на космоснимках, трассируется в осевой части города, параллельно

генеральному простиранию Кольского залива; подобная же зона определяет конфигурацию восточного побережья Кольского залива на севере города. Там же прослеживается крупная, активная северо-западная зона разломов древнего заложения, которая отделяет Северный блок от Центрального. В узлах пересечений СЗ зоны главным Субмеридиональным и более молодым Северо-Восточным разломами в максимальной степени развиты глинистые отложения и торфяники, ныне перекрытые насыпными грунтами в основаниях сооружений Северной промзоны. Центральная зона разломов, подобная Северо-Западной, разделяет Центральный и Южный блоки, каждый из которых характеризуется преобладанием соответствующих разновидностей гранито-гнейсов. В южной части города заметно выделяется район г. Горелой как тектонический блок, ограниченный крупными разломами СВ простирания, в то время как его СЗ граница определяет конфигурацию береговой черты Кольского залива. Этот относительно молодой блок наиболее приподнят и в то же время, предположительно, выдвинут в СЗ направлении. С ним связана повышенная тектоническая активность, отчетливо фиксируемая на карте густой сетью разломов различных порядков, что резко отличает эту часть города от остальных его районов на юге, в центре и на севере. Среди широтных разломов крупных тектонических зон не выявлено. Разломы этого направления наиболее распространены в центральной части площади. Они не определяют структуру основных тектонических блоков, но проявляются в очертании гидросети, мелких форм рельефа и, по-видимому, являются наиболее молодыми.

С главным субмеридиональным разломом в центральной части г. Мурманска связаны радиационные аномалии K₄₀, которые смещены к востоку, а в районе г. Горелой прослеживаются и в широтном направлении. Непосредственно на площади г. Горелой фиксируются обширные аномалии тория и несоизмеримо меньшие – урана. Подобные же, но разрозненные аномалии K₄₀, тория и урана установлены в черте города вдоль восточного побережья Кольского залива. Непосредственной радиационной опасности для здоровья населения эти аномалии не представляют, но исключают возможность жилой застройки района г. Горелой, предусмотренной ранее генеральным планом развития города [Мелентьев и др., 2003].

Выполнены следующие виды работ [Мелентьев и др., 2009]:

- гамма-съемка на местности в пяти профилях, ориентированных вкост простирания

территории Мурманска вдоль Кольского залива (30 км); общая протяженность профилей 25 км при интервалах между ними ~ 6 км;

– выборочная гамма-съемка и обследование карьеров, территорий промышленных объектов, свалок, гаражных городков, ж/д полотна, мостов, общественных и административных зданий, их цоколей и облицовки, исторических памятников и т. д.;

– измерения удельной радиоактивности естественных радионуклидов Ra^{226} , Th^{232} , K^{40} и цезия-137, определяющих мощность дозы гамма-излучения (МЭД) в пробах горных пород, грунтов и почв, песка и щебня из карьеров, различного минерального сырья, продуктов и отходов его переработки (углей, апатита и минеральных удобрений, цемента, извести, шлаков и зольных остатков, донных осадков и т. д.);

– измерения объемной активности радона на местности в почвенном воздухе пяти профилей и в помещениях обследуемых общественных и административных зданий, детских садов, лечебных и учебно-педагогических учреждений и т. д.

Общее число измерений всех видов составило более 9 тыс., количество обследованных объектов – 74, протяженность маршрутов гамма-съемки – более 50 км. Для гамма-съемки использовались универсальный дозиметр-радиометр ДРБП-03 и поисковый радиометр СРП-88, для измерений удельной радиоактивности радионуклидов в пробах – спектрометрическая аппаратура «Прогресс-Спектр БГ-011» и объемной активности радона – специальный радиометр РРА-01М (НПО ЛРК «Экотрон»). Привязка проб осуществлена на государственной топооснове м-ба 1:10 000 с выносом на карты фактического материала опробования м-ба 1:25 000. Расчетно-оценочная часть работы выполнена в соответствии с требованиями, предусмотренными Законом РФ «О радиационной безопасности населения», НРБ-96, СНиП 11-2-96 «Инженерно-экологические изыскания для строительства» и др. нормативные документы.

В результате установлено, что естественный радиационный фон на территории г. Мурманска в среднем составляет 10 мкр/час, что позволяет считать повышенными уровни природной радиоактивности в интервале $15 < \text{МЭД} < 50$ мкр/час. Такие аномальные значения МЭД (25–30 мкр/час) зафиксированы в коренных пегматоидных гранито-гнейсах, вскрытых карьером в западной части города на сопке Горелая, в валунах красного гранита в карьере Салаварака к югу от города (до 60 мкр/час) и на двух свалках – в районе опто-

вых баз Промзоны (38–58 мкр/час) и в районе бывшего свинокомплекса на Планерном поле (38 мкр/час). Повышенная радиоактивность не обнаружена у городских зданий и сооружений – за исключением гранитных памятников В. И. Ленину (22–24 мкр/час) и С. М. Кирову (17–45 мкр/час). Удельная эффективная активность, рассчитанная по результатам гамма-спектрометрического анализа индивидуальных радионуклидов в минеральном сырье, продуктах и отходах его переработки также не превышает нормативных требований по каждому виду. Максимальные ее значения установлены для коренных гранито-гнейсов и аплитов, щебня и песка из карьеров по добыче стройматериалов (50–120 Бк/кг), для апатитового концентрата (167 Бк/кг), минеральных удобрений (20–347 Бк/кг), перегружаемых в порту, в меньшей степени – для цемента и пылей с термического завода «Шунгизит» (70–74 мкр/час), а также шлакозольных отходов различных производств (до 50–70 Бк/кг) с мусоросжигающего завода при норме для стройматериалов ≤ 370 Бк/кг.

Замерами радона в почвенном воздухе зон разломов в пяти поперечных профилях через территорию города установлено, что при фоновой активности радона в 1000 Бк/м^3 встречаются аномальные участки с активностью до 7600 Бк/м^3 , значительно превышающей все нормативы. Эти данные свидетельствуют о возможности выявления радоновых аномалий не только в зонах крупных тектонических нарушений, но и опережающих их более мелких [Мелентьев и др., 2009].

Выборочное обследование на радон 78 помещений, особенно над подвалами, впервые проведенное нами в г. Мурманске в пределах 26 зданий детских, общественных и административных учреждений, позволило установить безопасность большинства из них. Вместе с тем до 10 % обследованных зданий (Мурманская городская администрация, Детский дом № 7, Кукольный театр и др.) признаны потенциально радоноопасными по установленным превышениям принятых нормативов. Дополнительное обследование на радон рекомендовано для 42 % зданий (детские сады №№ 41, 130, 156, дома детского творчества, Областной медико-диагностический центр, Облздрав, УЖКХ и т. д.).

В настоящее время результаты выборочного обследования Мурманска на радон требуют продолжения этой работы, имеющей в равной степени прямое отношение к деятельности городского центра Госпотребнадзора и Комитета ГО МЧС.

Очевидно, что объективная радиационно-гигиеническая оценка территории г. Мурманска, а также других урбанизированных, в том числе геологически «закрытых», территорий обосновывает проведение площадного картирования с привязками объектов обследования на радон и точек натуральных измерений к зонам тектонических разломов, выраженных в рельефе. Такой методический подход, вместо выборочного и формально-статистического, может оказаться наиболее продуктивным как в расшифровке причин эндемической заболеваемости населения (онкология и др.), так и в оценке геопатогенной опасности разломов и их «радонового дыхания».

С изложенных позиций первоочередными объектами для оценки радоновой опасности на местности являются водоемы и водотоки, как правило, приуроченные к зонам разломов, рудниковые воды, городские свалки и т. д.

Заключение

Установлены существенные различия в уровнях естественной радиоактивности собственно редкометалльного и высококомплексного редкометалльно специализированного минерального сырья, добываемого и обогащаемого горно-обогатительными предприятиями акционерных обществ и холдингов на Северо-Западе России. Выявлены ведущие и сопутствующие минералы – концентраторы урана и тория в различных типах руд и закономерности их распределения. Обнаружено преимущественное преобладание тория над ураном, что позволяет рекомендовать более жесткие радиационно-гигиенические требования к качеству минерального сырья, продуктам и отходам его переработки.

На примере г. Мурманска картировочно-оценочными методами доказана приуроченность радоновых аномалий к зонам разломов в кристаллическом фундаменте, проведено выборочное ранжирование зданий и сооружений по степени радоноопасности.

Обнаружена эмпирическая зависимость доз облучения природными источниками населения городов и рудничных поселков Кольского региона от уровней радиоактивности минерального сырья, добываемого и обогащаемого в районах локализации соответствующих ГОКов и населенных пунктов. Максимальные значения эквивалентной равновесной объемной активности радона (ЭРОА) выявлены в помещениях Кировска (260 Бк/м³) и пос. Ревда (245 Бк/м³) и, соответственно, в подвалах, где накапливается радон, в Кировске (278 Бк/м³) и пос. Ревда (478 Бк/м³), т. е. в районах лока-

лизации, добычи и обогащения Хибинского горно-химического сырья и Ловозерского радиоактивного редкометалльного, для которого характерна максимальная радиоактивность. Для г. Апатиты, удаленного от рудников, характеристики ЭРОА оказались промежуточными между установленными в пос. Ревда и г. Кировске: в помещениях 189 Бк/м³ и в подвалах 174 Бк/кг [Романович и др., 2006]. В то же время в г. Оленегорске (железородное сырье), а также в гг. Кандалакше и Мурманске, где нет рудных объектов, ЭРОА не превышает 100 Бк/м³ (2-я группа). При установленных в помещениях населенных пунктов группы «Хибины – Ловозеро» значениях ЭРОА 22–54 Бк/м³ очевидно, что указанные максимальные значения (174–478 Бк/м³) являются аномальными относительно санитарно-гигиенической нормы в 200 Бк/м³. Кроме того, одновременными замерами в г. Апатиты ЭРОА торона и радона установлено, что их соотношение достигает ~ 33 %. Это свидетельствует о необходимости проведения при радиационно-экологических обследованиях измерений объемной активности не только радона, но и торона, тем более что концентрации тория в рудах Ловозера и Хибин превышают концентрации урана, а ПДК тория в 3 раза жестче, чем ПДК урана. Соответственно, рассчитанные средние дозы облучения населения в городах 1-й группы составили 2,25–4,38 мЗв в год, а максимальные – до 5–18 мЗв в год, при средних для городов 2-й группы 1,94 мЗв в год и максимальных – 3 мЗв в год [Романович и др., 2006]. Рекомендованы сочетанное проведение традиционного геохимического и медико-радиоэкологического картирования населенных пунктов Кольского региона и организация подобных исследовательских работ в Карелии. С методологических позиций комплексная геоэкологическая оценка территорий деятельности горнопромышленных, химико-металлургических и топливно-энергетических комплексов должна включать опробование и картирование изменчивости химического состава всех компонентов среды обитания, депонирующих техногенные загрязнения, а в пределах их промышленных источников – составление балансов распределения компонентов-загрязнителей в материальных потоках производства, включая их отходы [Мелентьев и др., 2005]. Тем самым будет обеспечиваться прикладной научно-технический характер рекомендуемых исследований, их межведомственный корпоративный характер и возможность включения соответствующих региональных проектов в программу национального проекта «Наука».

Автор выражает глубокую благодарность инженеру-картографу Е. Н. Малининой за активное участие в полевых работах и камеральной обработке результатов исследований.

Литература

Борнеман-Старынкевич И. Д. Ловчоррит и его аналоги // Материалы к геохимии Хибинских тундр / Под ред. А. Е. Ферсмана. М.; Л.: АН СССР, 1935. С. 43–66.

Временные методические указания по радиационно-гигиенической оценке полезных ископаемых при производстве геологоразведочных работ на месторождениях строительных материалов. Казань: ВНИИГеолнеруд, 1986. 48 с.

Комлев Л. В. Радиологические исследования в Хибинских тундрах // Хибинские Апатиты. VI Хибинский сборник / Под ред. акад. А. Е. Ферсмана. Л.: НИС НКТП, 1933. С. 135–139.

Мелентьев Г. Б. Актуальные задачи радиационно-экологической оценки редкометалльного, комплексного и нерудного сырья с применением геохимического картирования и минералого-геохимических методов // Тезисы годичной сессии Всесоюз. минералогич. общ. Звенигород, март 1989 г. М.: ВИМС, 1990.

Мелентьев Г. Б., Амосова Л. П., Чельшев С. В., Павлов В. А., Росляков В. С. Проблема естественной радиоактивности в Карело-Кольском регионе // Окружающая среда в Баренцевоморском регионе: Тез. докл. 3-й Междунар. симп. (Киркенес, Норвегия, 12–15 сентября 1996 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 1996.

Мелентьев Г. Б., Аргамаков И. Г., Лоскутова Л. М., Павлов Н. В., Марьянова Н. П. Распределение редких и радиоактивных элементов в апатито-лопаритовых рудах Ловозера и перспективы вовлечения их в комплексное промышленное использование // Комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья: современное состояние и перспективы: Матер. междунар. конф. (4–8 апреля 2006 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 2006. С. 189–196.

Мелентьев Г. Б., Малинина Е. Н., Крампит И. А., Мильчаков В. И., Калитка И. Е. Методика и результаты комплексного радиоэкологического изучения и оценки урбанизированных территорий // Экологическая геология: научно-практические, медицинские и экономико-правовые аспекты: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. (Воронеж, 6–10 октября 2009 г.). Воронеж: ВГУ, 2009. С. 36–38.

Мелентьев Г. Б., Малинина Е. Н. Уровни концентрации и распределение урана и тория в минеральном сырье как критерии оценки перспектив его рационального и экологически безопасного использования // Комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья: современное состояние и перспективы: Матер. междунар. конф. (4–8 апреля 2006 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 2006. С. 196–200.

Мелентьев Г. Б. Научно-методические основы и результаты комплексной оценки месторождений

природного и техногенного сырья // Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья: Матер. 2-го Всерос. семинара по технологич. минералогии (Петрозаводск, 14–16 июня 2007 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007.

Мелентьев Г. Б., Павлов Р. И., Трубин В. И., Совсуняк В. И., Шарый А. Б. Перспективы разработки комплекса геолого-геохимических методов локального прогнозирования, поисков и оценки пегматитовых месторождений высококачественного нерудного сырья // Геохимические методы поисков неметаллических полезных ископаемых / Ред. В. В. Иванов, Г. Б. Мелентьев. М.: ИМГРЭ, 1990. С. 196–200.

Мелентьев Г. Б. Парагенетические ассоциации и типоморфные особенности «экзотических» промышленно-ценных минералов редкометалльных производных гранитовых, нефелин-сиенитовых и карбонатитовых комплексов и их роль в оценке качества поликомпонентного сырья // Роль технологической минералогии в получении конечных продуктов передела минерального сырья: Сб. статей X Рос. семинара по технол. минералогии, 22–24 апреля 2015 г., Белгородский ГТУ им. В. Г. Шухова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. С. 24–42.

Мелентьев Г. Б., Попова М. Н., Журавлев В. А., Малинина Е. Н. Геотектоника как фактор прогнозирования и предупреждения природно-техногенных катастроф и геопатогенной заболеваемости на урбанизированных территориях // Современные проблемы строительства и реконструкции зданий и сооружений: Матер. междунар. науч.-техн. конф. Вологодского ГТУ (Вологда, 29–31 октября 2003 г.). Вологда, 2003. С. 145–149.

Мелентьев Г. Б., Самаев С. Б., Букарь В. П., Сахаров И. В., Малинина Е. Н. Интегрированная геоэкологическая оценка территорий в целях предупреждения природно-техногенных катастроф и профилактики экологически обусловленной заболеваемости населения // Экология промышленного производства. 2005. № 2. С. 15–25.

Мелентьев Г. Б., Самонов А. Е., Малинина Е. Н. Радиогеохимические и геотектонические аспекты изучения и радиоэкологические оценки объектов недропользования и урбанизированных территорий // Экология промышленного производства. М.: ФГУП ВИМИ, 2010. Вып. 3, ч. 1. С. 12–26; вып. 4, ч. 2. С. 2–15.

Мелентьев Г. Б. Уровни концентрации и закономерности распределения естественных радионуклидов в приоритетных источниках редкоземельных металлов как факторы оценки перспективности природного и техногенного сырья // Технологическая минералогия в оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения минерального сырья. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. С. 27–51.

Мельник Н. А. Радиоэкологические аспекты безопасного использования отходов Кольского региона в производстве строительных материалов. Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2003. 114 с.

Николаев А. И., Петров В. Б., Мельник Н. А., Брыляков Ю. Е., Плешаков Ю. В., Федченко В. Ф. Исследование состава и радиационных характери-

стик сфенового концентрата из апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений // Комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья. Современное состояние и перспективы: Матер. междунар. конф., 4–8 апреля 2006 г. Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2006. С. 200–204.

Пельменев М. Д. О радиационной характеристике редкометалльных месторождений / Директивное письмо-указание Мингео СССР, исх. № 159-Д от 19.05.1989 г. М., 1989.

Романович И. К., Чернев А. В., Стамат И. П., Венков В. А., Кормановская В. А. Дозы облучения населения Мурманской области природными источни-

ками излучения и радионуклидами глобальных выпадений // Экология промышленного производства. 2006. № 1. С. 36–38.

Савицкий А. И., Бархатов А. В. Радиационно-гигиеническая оценка строительных материалов с учетом радоноопасности // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных материалов: Матер. 2-й Междунар. науч. конф. (Петрозаводск, 12–16 сентября 2005 г.). Петрозаводск, 2005. С. 172–175.

Поступила в редакцию 05.07.2020

References

Borneman-Starynkevich I. D. Lovchorrit i ego analogi [Lovchorrite and its analogs]. *Mat. k geokhim. Khibinskikh tundr* [Materials for the geochemistry of the Khibiny tundra]. Ed. A. E. Fersman. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1935. P. 43–66.

Komlev L. V. Radiologicheskie issledovaniya v Khibinskikh tundrakh [Radiological research in the Khibiny tundra]. *Khibinskie Apatity. VI Khibinskii sbornik* [Apatity in the Khibiny. VI Khibiny coll.]. Ed. A. E. Fersman. Leningrad: NIS NKTP, 1933. P. 135–139.

Melent'ev G. B. Aktual'nye zadachi radiatsionno-ekologicheskoi otsenki redkometal'nogo, kompleksnogo i nerudnogo syr'ya s primeneniem geokhimicheskogo kartirovaniya i mineralogo-geokhimicheskikh metodov [Topical issues of radiation-ecological assessment of rare-metal, complex, and non-metallic raw materials with the use of geochemical mapping and mineralogical and geochemical methods]. *Tezisy godichnoi sessii Vsesoyuz. mineralogich. obshch. Zvenigorod, mart 1989 g.* [Abs. Annual session of the All-Union Mineralogical Soc. Zvenigorod, March 1989]. Moscow: VIMS, 1990.

Melent'ev G. B., Amozova L. P., Chelyshev S. V., Pavlov V. A., Roslyakov V. S. Problema estestvennoi radioaktivnosti v Karelo-Kol'skom regione [The problem of natural radioactivity in the Karelo-Kola region]. *Okruzhayushchaya sreda v Barentsevomorskom reg.: Tez. dokl. 3-i Mezhdunar. simp. (Kirkenes, Norvegiya, 12–15 sent. 1996 g.)* [Environment in the Barents Sea Region: Proceed. 3rd int. symp. (Kirkenes, Norway, Sept. 12–15, 1996)]. Apatity: KSC RAS, 1996.

Melent'ev G. B., Argamakov I. G., Loskutova L. M., Pavlov N. V., Mar'yanova N. P. Raspreделение redkikh i radioaktivnykh elementov v apatito-loparitovykh rudakh Lovozera i perspektivy вовлечения их в комплексное промышленное использование [Distribution of rare and radioactive elements in apatite-loparite ores of Lovozero and prospects for their involvement in complex industrial use]. *Kompleksnaya pererabotka netraditsionnogo titano-redkometal'nogo i alyumosilikatnogo syr'ya: sovr. sostoyanie i perspektivy: Mat. mezhdunar. konf. (4–8 aprelya 2006 g.)* [Complex processing of unconventional titanium-rare metal and aluminosilicate raw materials: Current state and prospects: Proceed. int. conf. (April 4–8, 2006)]. Apatity: KSC RAS, 2006. P. 189–196.

Melent'ev G. B., Malinina E. N. Urovni kontsentratsii i raspredelenie urana i toriya v mineral'nom syr'e kak kri-

terii otsenki perspektiv ego ratsional'nogo i ekologicheskoi bezopasnogo ispol'zovaniya [Levels of concentration and distribution of uranium and thorium in mineral raw materials as criteria for assessing the prospects for its rational and environmentally safe use]. *Kompleksnaya pererabotka netraditsionnogo titano-redkometal'nogo i alyumosilikatnogo syr'ya: sovr. sostoyanie i perspektivy: Mat. mezhdunar. konf. (4–8 aprelya 2006 g.)* [Complex processing of unconventional titanium-rare metal and aluminosilicate raw materials: Current state and prospects: Proceed. int. conf. (April 4–8, 2006)]. Apatity: KSC RAS, 2006. P. 196–200.

Melent'ev G. B., Malinina E. N., Krampit I. A., Mil'chakov V. I., Kalitka I. E. Metodika i rezul'taty kompleksnogo radioekologicheskogo izucheniya i otsenki urbanizirovannykh territorii [A technique and results of a comprehensive radioecological study and assessment of urbanized territories]. *Ekol. geologiya: nauchno-praktich., meditsinskie i ekonomiko-pravovye aspekty: Mat. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Voronezh, 6–10 okt. 2009 g.)* [Ecol. geology: sci. practical, medical, economic, and legal aspects: Proceed. int. sci. practical conf. (Voronezh, Oct. 6–10, 2009)]. Voronezh: VGU, 2009. P. 36–38.

Melent'ev G. B. Nauchno-metodicheskie osnovy i rezul'taty kompleksnoi otsenki mestorozhdenii prirodnogo i tekhnogennogo syr'ya [Scientific and methodological foundations and results of a comprehensive assessment of deposits of natural and man-made raw materials]. *Znachenie issled. tekhnol. mineralogii v reshenii zadach kompleksnogo osvoeniya mineral'nogo syr'ya: Mat. 2-go Vseros. seminar po tekhnol. mineralogii (Petrozavodsk, 14–16 iyunya 2007 g.)* [Significance of research in technol. mineralogy in solving problems of integrated development of mineral raw materials: Proceed. 2nd All-Russ. seminar on technol. mineralogy (Petrozavodsk, June 14–16, 2007)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007.

Melent'ev G. B. Parageneticheskie assotsiatsii i tipomorfnye osobennosti "ekzoticheskikh" promyshlennno-tsennykh mineralov redkometal'nykh proizvodnykh granitovykh, nefelin-sienitovykh i karbonatitovykh kompleksov i ikh rol' v otsenke kachestva polikomponentnogo syr'ya [Paragenetic associations and typomorphic features of 'exotic' industrially valuable minerals of rare-metal derivatives of granite, nepheline-syenite and carbonatite complexes and their role in assess-

ing the quality of multicomponent raw materials]. *Rol' tekhnol. mineralogii v poluchenii konechnykh produktov peredela mineral'nogo syr'ya: Sb. statei X Ros. seminar po tekhnol. mineralogii, 22–24 aprelya 2015 g., Belgorodskii GTU im. V. G. Shukhova* [The role of technol. mineralogy in obtaining the final products of the redistribution of mineral raw materials: Proceed. X Russ. seminar on technol. mineralogy, April 22–24, 2015, Belgorod St. Tech. Univ. named after V. G. Shukhov]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2016. P. 24–42.

Melent'ev G. B., Pavlov R. I., Trubin V. I., Sovsunyak V. I., Sharyi A. B. Perspektivy razrabotki kompleksa geologo-geokhimicheskikh metodov lokal'nogo prognozirovaniya, poiskov i otsenki pegmatitovykh mestorozhdenii vysokokachestvennogo nerudnogo syr'ya [Prospects for the development of a complex of geological and geochemical methods for local forecasting, prospecting, and evaluation of pegmatite deposits of high-quality non-metallic raw materials]. *Geokhim. metody poiskov nemetal. poleznykh iskopaemykh* [Geochem. Methods for prospecting non-metallic minerals]. Eds. V. V. Ivanov, G. B. Melent'ev. Moscow: IMGRE, 1990. P. 196–200.

Melent'ev G. B., Popova M. N., Zhuravlev V. A., Malinina E. N. Geotektonika kak faktor prognozirovaniya i preduprezhdeniya prirodno-tekhnogennykh katastrof i geopatogennoi zaboлеваemosti na urbanizirovannykh territoriyakh [Geotectonics as a factor in predicting and preventing natural and man-made disasters and geopathogenic morbidity in urbanized areas]. *Sovr. probl. stroitel'stva i rekonstruktsii zdaniy i sooruzhenii: Mat. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Vologdskogo GTU (Vologda, 29–31 okt. 2003 g.)* [Current probl. of construction and reconstruction of buildings and structures: Proceed. int. sci. tech. conf. Vologda St. Tech. Univ. (Vologda, Oct. 29–31, 2003)]. Vologda, 2003. P. 145–149.

Melent'ev G. B., Samaev S. B., Bukar' V. P., Sakharov I. V., Malinina E. N. Integrirovannaya geoekologicheskaya otsenka territorii v tselyakh preduprezhdeniya prirodno-tekhnogennykh katastrof i profilaktiki ekologicheskoi obuslovlennoi zaboлеваemosti naseleniya [Integrated geoecological assessment of territories in order to prevent natural and man-made disasters as well as to prevent ecologically caused morbidity of the population]. *Ekol. promyshl. proizvodstva* [Ecol. Industrial Production]. 2005. No. 2. P. 15–25.

Melent'ev G. B., Samonov A. E., Malinina E. N. Radiogeokhimicheskie i geotektonicheskie aspekty izucheniya i radioekologicheskoy otsenki ob'ektov nedropol'zovaniya i urbanizirovannykh territorii [Radiogeochemical and geotectonic aspects of the study and radioecological assessments of the objects of subsoil use and urbanized territories]. *Ekol. promyshl. proizvodstva* [Ecol. Industrial Production]. Moscow: FGUP VIMI, 2010. Iss. 3, pt. 1. P. 12–26; iss. 4, pt. 2. P. 2–15.

Melent'ev G. B. Urovni kontsentratsii i zakonmernosti raspredeleniya estestvennykh radionuklidov v prioritnykh istochnikakh redkozemel'nykh metallov kak faktory otsenki perspektivnosti prirodnogo i tekhnogenogo syr'ya [Concentration levels and patterns of distribution of natural radionuclides in priority sources of rare-earth metals as factors for assessing the prospects

of natural and man-made raw materials]. *Tekhnol. mineralogiya v optimizatsii protsessov rudopodgotovki i obogashcheniya mineral'nogo syr'ya* [Technol. mineralogy in optimizing the processes of ore preparation and concentration of mineral raw materials]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2014. P. 27–51.

Mel'nik N. A. Radioekologicheskie aspekty bezopasnogo ispol'zovaniya otkhodov Kol'skogo regiona v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Radioecological aspects of the safe use of waste in the Kola region in the production of building materials]. Apatity: KSC RAS, 2003. 114 p.

Nikolaev A. I., Petrov V. B., Mel'nik N. A., Brylyakov Yu. E., Pleshakov Yu. V., Fedchenko V. F. Issledovanie sostava i radiatsionnykh kharakteristik sfenovogo kontsentrata iz apatit-nefelinovykh rud Khibinskikh mestorozhdenii [Study of the composition and radiation characteristics of sphene concentrate from apatite-nepheline ores of the Khibiny deposits]. *Kompleksnaya pererabotka netraditsionnogo titano-redkometal'nogo i alyumosilikatnogo syr'ya: sovr. sostoyanie i perspektivy: Mat. mezhdunar. konf. (4–8 aprelya 2006 g.)* [Complex processing of unconventional titanium-rare metal and aluminosilicate raw materials: Current state and prospects: Proceed. int. conf. (April 4–8, 2006)]. Apatity: KSC RAS, 2006. P. 200–204.

Pel'menev M. D. O radiatsionnoi kharakteristike redkometal'nykh mestorozhdenii. Direktivnoe pis'mo-ukazanie Mingeo SSSR, iskh. № 159-D ot 19.05.1989 g. [On the radiation characteristics of rare metal deposits. Letter of instruction/order of the Ministry of Geology of the USSR, ref. No. 159-D dated May 19, 1989]. Moscow, 1989.

Romanovich I. K., Chernev A. V., Stamat I. P., Venkov V. A., Kormanovskaya V. A. Dozy oblucheniya naseleniya Murmanskoi oblasti prirodnyimi istochnikami izlucheniya i radionuklidami global'nykh vypadenii [Doses of the Murmansk Region population exposure to natural sources of radiation and radionuclides of global fallout]. *Ekol. promyshl. proizvodstva* [Ecol. Industrial Production]. 2006. No. 1. P. 36–38.

Savitskii A. I., Barkhatov A. V. Radiatsionno-gigienicheskaya otsenka stroitel'nykh materialov s uchetchom radonoopasnosti [Radiation-hygienic assessment of building materials in view of radon hazard]. *Probl. ratsional'nogo ispol'zovaniya prirod. i tekhnogenogo syr'ya Barentseva reg. v tekhnologii stroitel'nykh materialov: Mat. 2-i Mezhdunar. nauch. konf. (Petrozavodsk, 12–16 sent. 2005 g.)* [Probl. of rational use of nat. and man-made raw materials from the Barents region in building materials technology: Proceed. 2nd int. sci. conf. (Petrozavodsk, Sept. 12–16, 2005)]. Petrozavodsk, 2005. P. 172–175.

Vremennyye metodicheskie ukazaniya po radiatsionno-gigienicheskoy otsenke poleznykh iskopaemykh pri proizvodstve geologorazvedochnykh rabot na mestorozhdeniyakh stroitel'nykh materialov [Temporary guidelines for radiation and hygienic assessment of minerals during geological survey at the deposits of building materials]. Kazan': VNIIGeolnerud, 1986. 48 p.

Received July 05, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:**Мелентьев Гелий Борисович**

старший научный сотрудник, к. г.-м. н.
Объединенный институт высоких температур РАН
(ОИВТ РАН)
ул. Ижорская, 2, стр. 2, Москва, Россия, 125412
эл. почта: gb_melent@mail.ru
тел.: (499) 1677931

CONTRIBUTOR:**Melentyev, Geliy**

Joint Institute for High Temperatures,
Russian Academy of Sciences
2 Izhorskaya St., bld. 2, 125412 Moscow, Russia
e-mail: gb_melent@mail.ru
tel.: (499) 1677931

УДК 552.122

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТРУКТУР И ТЕКСТУР АМФИБОЛИТОВ ОСТРОВОВ КЕРЕТСКОГО АРХИПЕЛАГА (БЕЛОЕ МОРЕ)

Ю. Л. Войтеховский^{1,2}, А. А. Захарова¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Россия

² Геологический институт ФИЦ Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия

Показаны статистические методы, развиваемые авторами для описания петрографических структур и текстур. Для отображения статистик бинарных и тернарных межзерновых контактов, определяемых в шлифах, предложены диаграммы нового типа – барицентрические треугольник (p_{ii} , p_{ij} , p_{jj}) и тетраэдр (p_{iii} , p_{ijj} , p_{jjj} , p_{ijj}). В обоих показано положение линии равновесия Харди – Вайнберга, характеризующей массивные текстуры горных пород. Вычислительные процедуры и результаты показаны на примере амфиболитов островов Виченная Луда и Сидоров (Керетский архипелаг, Белое море).

Ключевые слова: кристаллическая горная порода; структура; текстура; бинарные и тернарные межзерновые контакты; барицентрическая диаграмма; равновесие Харди – Вайнберга.

Yu. L. Voytekhovsky, A. A. Zakharova. A STATISTICAL DESCRIPTION OF THE STRUCTURES AND TEXTURES OF KERETSKY ARCHIPELAGO (WHITE SEA) AMPHIBOLITES

The article presents the statistical methods developed by the authors for the description of petrographic structures and textures. To display the statistics of binary and ternary intergrain contacts detected in thin sections, diagrams of a new type are proposed – barycentric triangle (p_{ii} , p_{ij} , p_{jj}) and tetrahedron (p_{iii} , p_{ijj} , p_{jjj} , p_{ijj}). Both show the location of the Hardy-Weinberg equilibrium line, which characterizes massive rock textures. Computational procedures and results are demonstrated using the example of amphibolites of Vichennaya Luda and Sidorov islands (Keretsky Archipelago, White Sea).

Keywords: crystalline rock; structure; texture; binary and ternary intergrain contacts; barycentric diagram; Hardy-Weinberg equilibrium.

Введение

При изучении горных пород наибольшую сложность представляет не определение химического или минерального состава (для этого есть весьма точные методы химии и физики),

а характеристика петрографических структур и текстур. В словаре петрографа есть сотни терминов, схватывающих метрические (абсолютные и относительные размеры), неметрические (идиоморфизм – ксеноморфизм) характеристики минеральных зерен, особенности

пространственных отношений их самих (пойкилитовые структуры) и агрегатов (такситовые, полосчатые и др. текстуры), а также генетические представления (лепидогранобластовая структура). Последние при описании горной породы кажутся методологическим казусом, ибо бластез ни в штуфе, ни в шлифе не виден, но реконструируется позднее по совокупности признаков. Существующая систематика эклектична, синонимична (разновидности гипидиоморфнозернистой структуры: гранитовая, офитовая, монцонитовая...) и открыта для дальнейшего изобретения сколь угодно метафоричных терминов (структура спинифекс). В рамках бытующих определений структуры и текстуры нельзя ответить на вопрос, сколько их необходимо и достаточно для образования полной системы понятий. По-видимому, описательный подход идейно исчерпан. Развитие теории видится в том, чтобы определить петрографическую структуру в математических категориях и дать способ ее однозначной и воспроизводимой диагностики.

Петрографические структуры и текстуры воспринимаются нами как система межзерновых границ. С морфологической точки зрения они совокупно выражают фундаментальное отношение контактирования минеральных зерен и их агрегатов в пространстве горной породы. Очевидна и физическая подоплека. В горных породах (а также металлах и сплавах) есть бинарные (по поверхностям), тернарные (тройные по ребрам) и куотернарные (четверные в точках) межзерновые контакты, рассматриваемые как граничные дефекты кристаллических структур, зоны обрыва химических связей, каналы свободной энергии [Салтыков, 1958; Беленький, 1980]. После установления физико-химического равновесия в горной породе наступает период дополнительной минимизации свободной энергии ее межзерновых границ [Вернон, 1980; Бродская, 1988]. Результат особенно заметен в мономинеральных горных породах (мраморах, кварцитах), фирновом льде, керамике, отоженных металлах и сплавах. В них реализуется «структура Коксетера» сухой пены вопреки требованиям кристаллических решеток минеральных зерен [Войтеховский, Захарова, 2020]. При описании межзерновых границ в 2D желательнее было бы учесть их протяженность (еще лучше – площади границ в 3D, что сегодня технически невозможно), а в физическом приближении – удельные свободные энергии (что тоже невозможно, ибо они зависят от типа контактирующих решеток, их взаимной ориентации, извилистости границ и третьей фазы – газа или жидкости, заполняющей

область контакта). В этом видится перспектива развития метода. Далее показано, что статистический анализ межзерновых контактов уже позволяет продвинуться в построении строгой теории 2D (т. е. наблюдаемых в шлифах) петрографических структур.

Амфиболиты Керетского архипелага

Для демонстрации метода в качестве примера использованы амфиболиты Керетского архипелага [Березин и др., 2020] (на другом примере метод работал бы так же). Приведем их стандартное петрографическое описание. «Обр. 710. Крупнозернистая порода сложена преимущественно амфиболом (при подчиненной роли биотита до 5 об. %), плагиоклазом и кварцем. Зерна амфибола имеют субидиоморфный облик, разориентированы и содержат многочисленные включения зерен кварца. Соотношение амфибола с плагиоклазом составляет 70/30. В породе встречаются многочисленные участки *Pl-Qz-Bt* агрегатов (20 об. %), являющихся псевдоморфозами по порфиробластам граната. Наполнение этих участков соответствует примерно 20 об. % мелкозернистого биотита, часто имеющего ориентировку вдоль длинной оси псевдоморфозы. Нередко с противоположных сторон таких структур имеются «хвосты», состоящие из ориентированных агрегатов амфибола» [Березин и др., 2020, с. 92] (рис. 1). Детальную информацию о месте взятия образцов, геолого-структурной зоне, комплексе пород, парагенезисе, возрасте и параметрах метаморфизма и т. д. читатель может почерпнуть в цитированной статье.

Немного теории: бинарные и тернарные контакты, равновесия Харди – Вайнберга

Комбинаторика межзерновых границ в горных породах никогда не рассматривалась петрографами. Между тем там кроются строгие закономерности. Так, в n -минеральной горной породе вероятности p_{ij} бинарных и p_{ijk} тернарных контактов ($i, j, k = 1, \dots, n$) связаны функционально, т. к. каждый тернарный контакт дает три бинарных определенного вида. Для $n = 2$ (рис. 2) вероятности (p_{11}, p_{22}, p_{12}) и ($p_{111}, p_{112}, p_{122}, p_{222}$) можно показать точками в барицентрических треугольнике и тетраэдре, т. к. их суммы равны 1. (Эти диаграммы введены в петрологию в начале XX века А. Харкером и широко использовались Е. С. Федоровым. Способ их построения должен быть известен читателю.) Связи: $p_{11} = p_{111} + p_{112} / 3$, $p_{22} = p_{222} + p_{122} / 3$, $p_{12} = 2(p_{112} / 3 + p_{122} / 3)$.

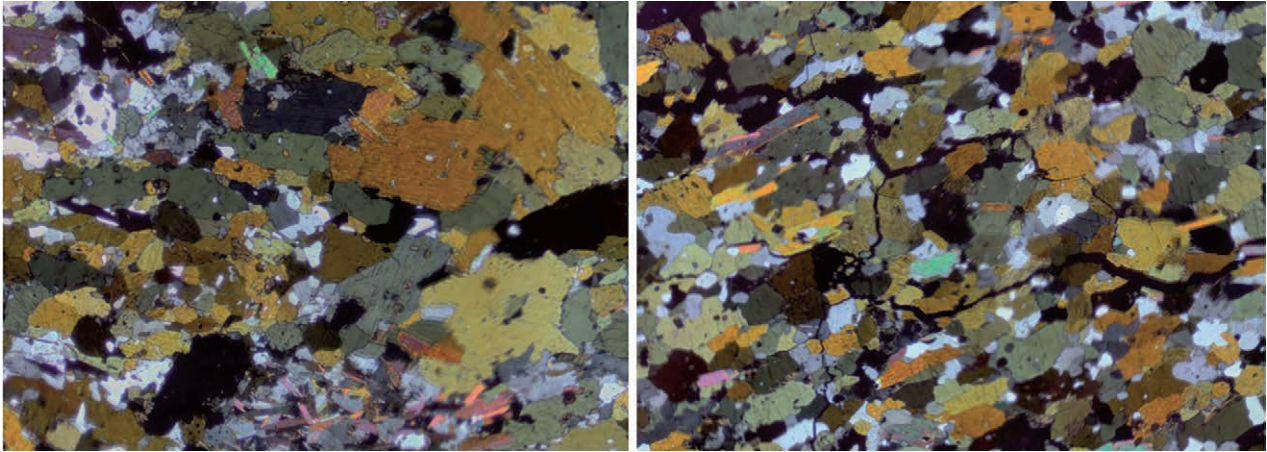


Рис. 1. Амфиболиты Керетского архипелага. Обр. 710 (слева) и 711 (справа) [Березин и др., 2020]. Петрографический шлиф 1,0 × 1,5 см, николи ×

Fig. 1. Amphibolites of the Keretsky Archipelago. Samples 710 (left) and 711 (right) [Berezin et al., 2020]. Petrographic thin section 1.0 × 1.5 cm, nicoli ×

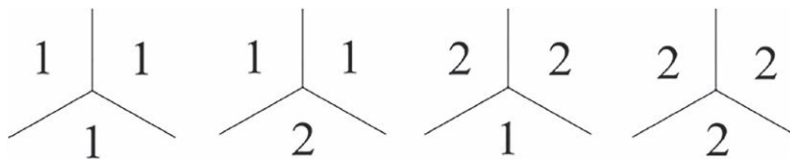


Рис. 2. Тернарные контакты однозначно определяют бинарные

Fig. 2. Ternary contacts uniquely define the binary ones

Важный случай организации горных пород – равновесие Харди – Вайнберга (далее для краткости ХВ, HW, введено названными авторами в начале XX века для описания скрещивания генов в потомстве) – идеальное перемешивание минеральных зерен. В этом случае вероятности межзерновых контактов можно рассчитать по вероятностям (парциальным частотам) p_i минеральных зерен разных видов:

$$(p_1 m_1 + \dots + p_n m_n)^2 = \sum p_{ij} m_i m_j,$$

где $m_i m_j$ имеет смысл бинарного контакта, $p_{ii} = p_i^2$, $p_{ij} = 2p_i p_j$. Для $n = 2$ линии ХВ задаются соотношениями: $p_{11} p_{22} = (p_{12} / 2)^2$ в треугольнике и $p_{111} = p_1^3$, $p_{112} = 3p_1^2 p_2$, $p_{122} = 3p_1 p_2^2$, $p_{222} = p_2^3$ в тетраэдре (рис. 3). Линия ХВ фундаментальна. Это математический образ массивных текстур для любых горных пород.

Линия ХВ разбивает барицентрический треугольник на два поля: $p_{11} p_{22} > (p_{12} / 2)^2$ (преобладают мономинеральные сростания) и $p_{11} p_{22} < (p_{12} / 2)^2$ (преобладают полиминеральные сростания). В тетраэдре линия ХВ «подвешена». Но подставляя тернарные вероятности (p_{111} , p_{112} , p_{122} , p_{222}) (см. 1-й абзац параграфа) в соотношение $p_{11} p_{22} = (p_{12} / 2)^2$, получим уравнение К-поверхности, разбивающей барицентрический тетраэдр на два класса, изоморфных

таковым в барицентрическом треугольнике (рис. 3). Линия ХВ лежит в К-поверхности, обе симметричны относительно L_2 тетраэдра.

Массивная или не массивная?

Неожиданный результат теоретического анализа состоит в том, что массивные текстуры не образуют полей в барицентрических диаграммах (рис. 3). Попадание фигуративных точек реальных текстур на линию ХВ невозможно. Отнесение текстуры к массивной – статистическая задача, решаемая с помощью критериев согласия [Войтеховский, Захарова, 2018]. Фигуративные точки амфиболитов Керетского архипелага лежат близко к линиям ХВ (рис. 3). Но критерием «хи-квадрат» проверено, что их текстуры не массивны даже на уровне значимости 0,01.

При этом они лежат по обе стороны от классифицирующих границ и, строго говоря, должны считаться различными. Это ставит ряд вопросов: имеем ли мы дело с массивными текстурами, для которых непопадание на линию ХВ вызвано недостаточной статистикой (p_{11} , p_{22} , p_{12}) и (p_{111} , p_{112} , p_{122} , p_{222}); означают ли два типа текстур изменение стиля организации горной породы при метаморфизме (считает-

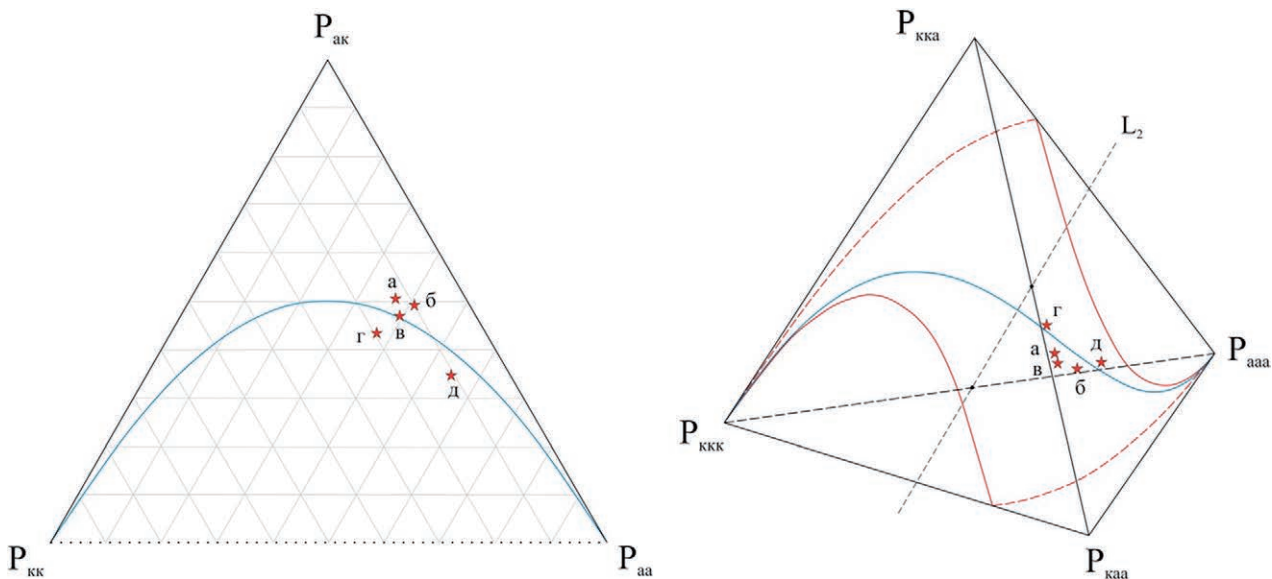


Рис. 3. Линии ХВ (голубые) в барицентрических треугольнике (слева) и тетраэдре (справа), следы К-поверхности на гранях тетраэдра (красные).

Индексы: а – амфибол, к – кварц и полевоы шпат вместе, аксессуарные биотит и титанит в расчетах не учтены. Буквами обозначены амфиболиты о. Сидоров (а – S4, б – S2) и о. Виченная Луда (в – 711, г – 710, д – V2) [Березин и др., 2020]

Fig. 3. HW lines (blue) in barycentric triangle (left) and tetrahedron (right), K-surface traces on tetrahedron facets (red).

Indices: a – amphibole, k – combined quartz and feldspar, accessory biotite and titanite are not included in the calculations. The letters denote the amphibolites of the Sidorov (a – S4, б – S2) and Vichennaya Luda islands (в – 711, г – 710, д – V2) [Berezin et al., 2020]

ся, что структуры и текстуры более инертны, чем минеральный и химический составы); если так, то в каком направлении произошло изменение? Таким образом, количественный анализ петрографических структур и текстур ставит перед исследователями новые вопросы.

Тренды петрографических структур

В статье [Войтеховский, Захарова, 2020] выполнено статистическое 2D-моделирование канонических петрографических структур (вкрапленных, цепочечных, пойкилитовых, с ветвящимися кластерами, порфировых, порфировидных) и текстур (полосчатых, шлировых). Для фиксированных кластеров, определяющих тип структуры и текстуры, и их разных концентраций в матрице рассчитаны тренды указанных структур и текстур. В реальных горных породах типы кластеров не выдержаны идеально. Следует ожидать, что их фигуративные точки попадут между расчетными трендами. Текстуры амфиболитов характеризуются как шлировые с небольшим (3–5) числом зерен амфибола в шлирах (рис. 4). В четырех случаях насыщение горной породы шлирами близко к предельному, в образце V2 – среднее. При этом в шлифах видно цепочечное распределе-

ние минералов, в основном амфибола и биотита (рис. 1). Эти характеристики согласуются

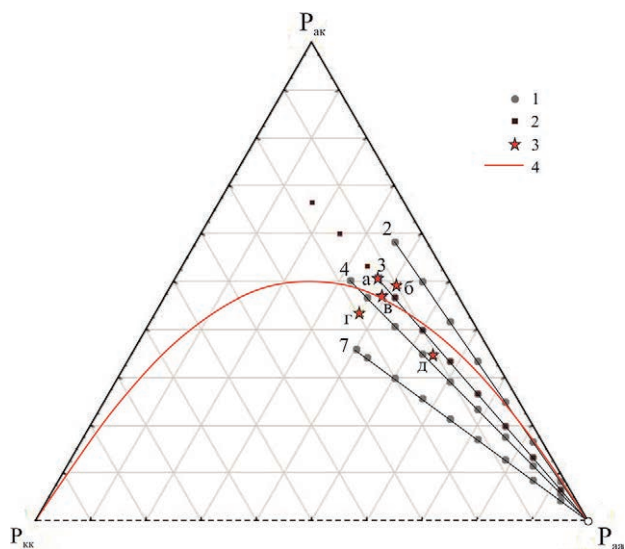


Рис. 4. Модельные тренды:

1 – шлировые текстуры (2, 3, 4, 7 – числа минеральных зерен в шлирах), 2 – цепочечная структура, 3 – амфиболиты (обозначены на рис. 3), 4 – линия ХВ

Fig. 4. Model trends:

1 – schlieren textures (2, 3, 4, 7 – the numbers of mineral grains in schlieren), 2 – chain structure, 3 – amphibolites (shown in Fig. 3), 4 – HW line

с описаниями амфиболитов в статье [Березин и др., 2020]. Заметим, что предлагаемый способ описания имеет очевидные ограничения. Так, не будут различаться статистиками (p_{11} , p_{22} , p_{12}) и (p_{111} , p_{112} , p_{122} , p_{222}) текстуры, полученные одна из другой сжатием/растяжением без нарушения межзерновых контактов.

Структурные индикатрисы

Применение барицентрических диаграмм ограничено биминеральными структурами и текстурами, т. к. разнообразие межзерновых контактов быстро растет с числом минералов. В триминеральной горной породе уже 6 бинарных и 10 тернарных типов контактов. Для изображения их вероятностей фигуративными точками нужны 5- и 9-мерный симплексы. Здесь можно рекомендовать метод «минерал – матрица» с последовательной оппозицией каждого из минералов всем остальным. По сути, это и было сделано выше (рис. 3 и 4) оппозицией амфибола и лейкократовой кварц-полевошпатовой матрицы. Повторив процедуру для кварца и полевого шпата, можно получить еще две барицентрических диаграммы, из сравнения которых можно извлечь информацию о структурной роли каждого из трех минералов в пространстве горной породы.

Типизация любой n -минеральной петрографической структуры возможна методом структурной индикатрисы [Войтеховский, 2000]. Он состоит в представлении суммы вероятностей p_{ij} межзерновых контактов $m_i m_j$ в виде квадратичной формы, строго определяющей квадратичную поверхность – структурную индикатрису [Боревич, 1988]. Ее тип устанавливается по канонической диагональной форме матрицы $[p_{ij}]$. Последняя характеризует организацию горной породы, ее диагональная форма – структуру, в некоторых границах устойчивую относительно вариаций вероятностей p_{ij} .

$$\sum_{i,j=1}^n p_{ij} m_i m_j = [m_1 m_2 \dots m_n] \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \dots \\ m_n \end{bmatrix}.$$

В статье [Войтеховский, 2000] показано, что для биминеральных горных пород возможны две диагональные формы матриц $[p_{ij}]$: $[1\ 1]$ и $[1\ -1]$. Им соответствуют структурные индикатрисы: эллипс (поле под линией ХВ, рис. 3 и 4) и гипербола (поле над линией ХВ). Для триминеральных горных пород возможны три диагональные формы матриц $[p_{ij}]$: $[1\ 1\ 1]$ (эллипсоид), $[1\ 1\ -1]$ (одно-) и $[1\ -1\ -1]$ (двуполост-

ный гиперboloиды). Здесь очевидна аналогия с коноскопическими фигурами, используемыми в петрографии для диагностики минералов по оптическим свойствам. В общем случае для n -минеральной горной породы возможны n канонических структур с простой и однозначной номенклатурой. Символ S_n^m означает, что в диагональной форме матрицы $[p_{ij}]$ содержится m положительных единиц ($m = 1, \dots, n$). Структуры амфиболитов 711, S2 и S4 имеют тип S_2^1 , структуры амфиболитов 710 и V2 – тип S_2^2 . Все вычислительные процедуры компьютеризованы.

Заключение

Для описания петрографических структур и текстур сегодня есть два подхода. Первый, закрепленный в словарях и учебниках, использует все богатство языка для максимально подробной характеристики форм, размеров, морфологических особенностей срастания и взаимного пространственного положения минеральных зерен и их агрегатов. Он ориентирован на скорейшие генетические реконструкции. Второй, развиваемый авторами, ориентирован на максимальное продвижение математической теории кристаллической горной породы в стиле кристаллографии, хотя и в других категориях. Структуры и текстуры рассматриваются почти традиционно как системы межзерновых границ. Но акцент сделан на статистическом анализе вероятностей различных межзерновых контактов. Матрица вероятностей фиксирует организацию горной породы, ее диагональная форма – структуру, устойчивую в некоторых границах при изменении организации. В алгебраических категориях построены классификация и увязанная с ней номенклатура петрографических структур. Но и здесь есть физическая подоплека, т. к. межзерновые границы – это дефекты кристаллических структур минеральных зерен, зоны обрыва химических связей, вносящие существенный (если не главный) вклад в баланс поверхностной свободной энергии горной породы после установления в ней физико-химического равновесия. Традиционный подход идейно исчерпан, математическая теория – в начале становления. Генетические интерпретации получаемых на этом пути результатов в рамках известных феноменологических теорий кристаллизации – дело будущего. Применительно к практическим задачам сегодня они дополняют друг друга.

Авторы благодарят А. В. Березина, Л. И. Салимгараеву и С. Г. Скублова за предоставление петрографических шлифов амфиболитов

Керетского архипелага для исследования, а также рецензентов за профессиональные замечания, способствовавшие более ясному изложению результатов.

Литература

Беленький В. З. Геометрико-вероятностные модели кристаллизации. Феноменологический подход. М.: Наука, 1980. 88 с.

Березин А. В., Салимгараева Л. И., Скублов С. Г. Эволюция состава минералов при эклогитовом метаморфизме в Беломорском подвижном поясе (на примере о-ва Виченная Луда) // Петрология. 2020. Т. 28, № 1. С. 85–107.

Боревич З. И. Определители и матрицы. М.: Наука, 1988. 184 с.

Бродская Р. Л. Термодинамические (кинетические) критерии формирования и эволюции структуры минеральных агрегатов // Зап. ВМО. 1988. № 5. С. 623–633.

References

Belen'kii V. Z. Geometriko-veroyatnostnye modeli kristallizatsii. Fenomenologicheskii podkhod [Geometric-probabilistic models of crystallization. The phenomenological approach]. Moscow: Nauka, 1980. 88 p.

Berezin A. V., Salimgaraeva L. I., Skublov S. G. Evolyutsiya sostava mineralov pri eklogitovom metamorfizme v Belomorskom podvizhnom poyase (na primere ostrova Vichennaya Luda) [Evolution of the composition of minerals during eclogite metamorphism in the White Sea mobile belt (on the example of Vichennaya Luda island)]. *Petrologiya* [Petrology]. 2020. Vol. 28, no. 1. P. 85–107.

Borevich Z. I. Opredeliteli i matritsy [Determinants and matrices]. Moscow: Nauka, 1988. 184 p.

Brodskaya R. L. Termodinamicheskie (kineticheskie) kriterii formirovaniya i evolyutsii struktury mineral'nykh agregatov [Thermodynamic (kinematic) criteria of formation and evolution of mineral aggregates structures]. *Zap. VMO* [Proceed. Russ. Mineral. Soc.]. 1988. No. 5. P. 623–633.

Saltykov S. A. Stereometricheskaya metallografiya [Stereometric metallography]. Moscow: Metallurgy, 1958. 446 p.

Vernon R. H. Metamorficheskie protsessy [Metamorphic processes]. Moscow: Nedra, 1980. 228 p.

Vernon R. H. Metamorphic processes. M.: Nedra, 1980. 228 p.

Voytekhovskiy Yu. L. Количественный анализ петрографических структур: метод структурной индикатрисы и метод вычитания аксессуаров // Изв. вузов. Сер. Геол. и разведка. 2000. № 1. С. 50–54.

Voytekhovskiy Yu. L., Zakharova A. A. Массивная текстура горной породы: гранит массива Акжайляу, Казахстан // Тр. XV Всерос. научн. школы «Математические исследования в естественных науках». Апатиты: К&М, 2018. С. 56–57. doi: 10.31241/MIEN.2018.15.07

Voytekhovskiy Yu. L., Zakharova A. A. Моделирование петрографических структур // Вестник геонаук. 2020. № 10. С. 38–42. doi: 10.19110/geov.2020.10.5

Zhabin A. G. Онтогенез минералов. Агрегаты. М.: Наука, 1979. 275 с.

Saltykov S. A. Stereometricheskaya metallografiya. M.: Metallurgiya, 1958. 446 с.

Поступила в редакцию 05.01.2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Войтеховский Юрий Леонидович

профессор каф. минералогии, кристаллографии и петрографии, д. г.-м. н., проф.
Санкт-Петербургский горный университет
21-я линия В. О., 2, Санкт-Петербург, Россия, 199106
эл. почта: Voytekhovskiy_YuL@pers.spmi.ru,
woyt@geoksc.apatity.ru
тел.: +79216679895

CONTRIBUTORS:

Voytekhovskiy, Yury

Saint Petersburg Mining University
2, 21st Line, V. O., Saint Petersburg, Russia, 199106
e-mail: Voytekhovskiy_YuL@pers.spmi.ru,
woyt@geoksc.apatity.ru
tel.: +79216679895

Захарова Алена Александровна

аспирант каф. минералогии, кристаллографии
и петрографии
Санкт-Петербургский горный университет
21-я линия В. О., 2, Санкт-Петербург, Россия, 199106
эл. почта: zakharova.alena27614@gmail.com
тел.: +79216449521

Zakharova, Alena

Saint Petersburg Mining University
2, 21st Line, V. O., Saint Petersburg, Russia, 199106
e-mail: zakharova.alena27614@gmail.com
tel.: +79216449521

УДК 622.35

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ КАРЕЛИИ НА ГЛОБАЛЬНОМ РЫНКЕ

В. А. Шеков

Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Камнеобрабатывающая промышленность является одной из самых консервативных в мире с позиции применения в строительстве декоративных материалов из натурального камня на фоне устойчиво развивающегося производства искусственных облицовочных материалов. Несмотря на длительную историю использования природного декоративного камня, он не выходит из моды и спрос на него меняется очень слабо. Рост спроса на каменные изделия на фоне экономических кризисов и падений колеблется от шести до девяти процентов в год уже на протяжении десятиков лет. С расширением глобальных рынков и некоторым перераспределением акцентов на мировом рынке блочного камня в сторону Юго-Восточной Азии природные ресурсы европейской части России, в том числе Северо-Западного федерального округа, дают надежду, что и эта территория получит серьезное развитие за счет использования запасов твердых изверженных пород разного декоративного качества, при соответствующем внимании к камнеобработке. Состояние каменной промышленности в мире показывает, что она динамично развивается, и прогнозы выглядят очень привлекательно. В статье рассмотрены основные черты современного развития камнедобывающего сектора и сделана попытка понять перспективы камнеобрабатывающей промышленности Республики Карелия на глобальном рынке.

К л ю ч е в ы е с л о в а: облицовочный камень; блоки; промышленность облицовочного камня в Карелии; совершенствование законодательства.

V. A. Shekov. KARELIAN FACING STONE DEPOSITS IN THE GLOBAL MARKET

The stone processing industry is one of the most conservative industries in the world in terms of the use of natural-stone ornamental materials in construction simultaneously with a dynamically developing artificial facing material manufacturing. Notwithstanding the long history of use of natural decorative stone, it does not go out of fashion, and the demand for has hardly changed. The annual growth in demand for stone products in times of economic crises and slumps has ranged from six to nine percent for decades. As global markets have expanded and the world's block stone market has re-focused somewhat towards Southeast Asia, the natural resources of European Russia, including the Northwestern Federal District, give a hope that this part of the planet can also be seriously developed due to the use of its resources of hard igneous rocks of varying ornamental quality, given that the stone processing industry receives adequate attention. The current situation in the world's stone industry is that of a dynamic development, and forecasts for the future are very favourable. This article examines the main features of the stone mining sector development today, and makes an attempt to envision the prospects for the development of this industry in the Republic of Karelia in the global context.

Key words: facing stone; blocks; facing stone industry in Karelia; legislative improvements.

Введение

В современном мире рынки блочного облицовочного камня при всей своей устойчивости находятся в постоянном движении, определяемом основными тенденциями развития мировой экономики. Но надо отметить, что кризисы предыдущих десятилетий мало повлияли на общие показатели рынка камня. По-видимому, накрывший планету кризис 2020 года тоже не сыграет для него значительной роли, поскольку строительная отрасль всегда восстанавливается первой, увлекая за собой все сопутствующие сегменты.

Консервативность каменного рынка, обусловленная низкими затратами на перевозку блоков облицовочного камня на длинные расстояния, низкие таможенные тарифы не оставляют возможности для быстрой диверсификации новых участников в этом разделе экономики, и потому только медленное и долгосрочное планирование рыночной экспансии на перспективной территории может дать свои плоды.

Мировая добыча облицовочного камня

Для тех, кто наблюдает за развитием мирового рынка облицовочного камня, уже не кажется удивительным, что этот процесс продолжается с ростом 6–9 процентов в год [Ashmole, Motlounq, 2008] и в настоящее время общий объем продукции находится на уровне 50 млн м³.

Основными участниками рынка на протяжении многих лет являются Китай, Индия, Турция, Бразилия, Иран, Италия, Испания, Египет, Португалия и США [Montani, 2007], производящие более половины всей каменной продукции в мире. Некоторые из них, например Италия и Испания, обязаны такому положению исторически – каменная отрасль развивалась там веками, а Индия, Бразилия и особенно Китай «набрали вес» в этой категории за последние два десятилетия. Во всех этих странах ближайшие несколько десятков лет наблюдается постоянный рост производства облицовочного камня. Указанные успехи обусловлены, как правило, наличием сырьевой базы природного камня в сочетании с развитой инфраструктурой и не зависят от уровня экономики государств – производителей каменных изделий, как и от причин демографического характера.

Вполне очевидно, что основную роль в этом секторе играет небольшое число государств. Остальные страны производят умеренный объем облицовочного камня, который, как правило, используют в пределах своих границ. Лидеры же стараются выходить на мировой рынок,

распределяя между собой функции поставщика сырого камня, его обработчика и потребителя [Мировой..., 2017, 2018]. Во многих случаях товарными продуктами камнедобычи являются каменные блоки, которые могут перевозиться на значительные расстояния для последующей переработки, или слябы – блоки, распиленные на плиты-заготовки различной толщины. Окончательный продукт – облицовочная плитка, памятники для ритуальных целей или архитектурные детали – может производиться уже на месте, вблизи от территорий использования. Теоретически крупным производителем облицовочных изделий из камня могут быть страны, совершенно не имеющие ресурсов для этого. Но в большинстве случаев производство блоков, как самостоятельная отрасль, и производство готовой продукции из блоков совмещены в единую сеть по производству каменной продукции для конечного потребителя. Хорошими примерами, иллюстрирующими эту идею, являются Италия и Китай, которые при наличии собственной ресурсной базы природного камня импортируют значительное количество каменных материалов со всего мира, обеспечивая архитекторов удобным механизмом получения облицовочных плит требуемого качества и объема.

Устойчивые показатели развития отрасли природного камня среди крупнейших мировых производителей хорошо видны на примере Китая и Индии. Последние десятилетия характеризовались очень быстрым развитием Китая, которому для обеспечения строительной отрасли требуется значительное количество разных материалов, в том числе и каменных. Именно появление Китая, как активного потребителя облицовочных материалов, на рынке природного камня сохранило позитивный рост в пределах 6–9 процентов для мировой камнедобывающей и камнеобрабатывающей промышленности при снижении темпов развития в странах с давней традицией добычи и обработки камня.

По данным Marco Cosi [2014] по динамике спроса и производства отдельных типов пород в Европейском союзе, при производстве блоков облицовочного камня необходимо учитывать его востребованность. С этой точки зрения важно, что черные разновидности камня, которые в основном добываются в Республике Карелия, на протяжении многих лет очень хорошо востребованы на мировом рынке, правда, по форме блоков к первому сорту могут быть отнесены лишь некоторые образцы.

С другой стороны, цветные граниты, особенно красные и розовые, имеют сомнительные перспективы в Европейском союзе. Про-

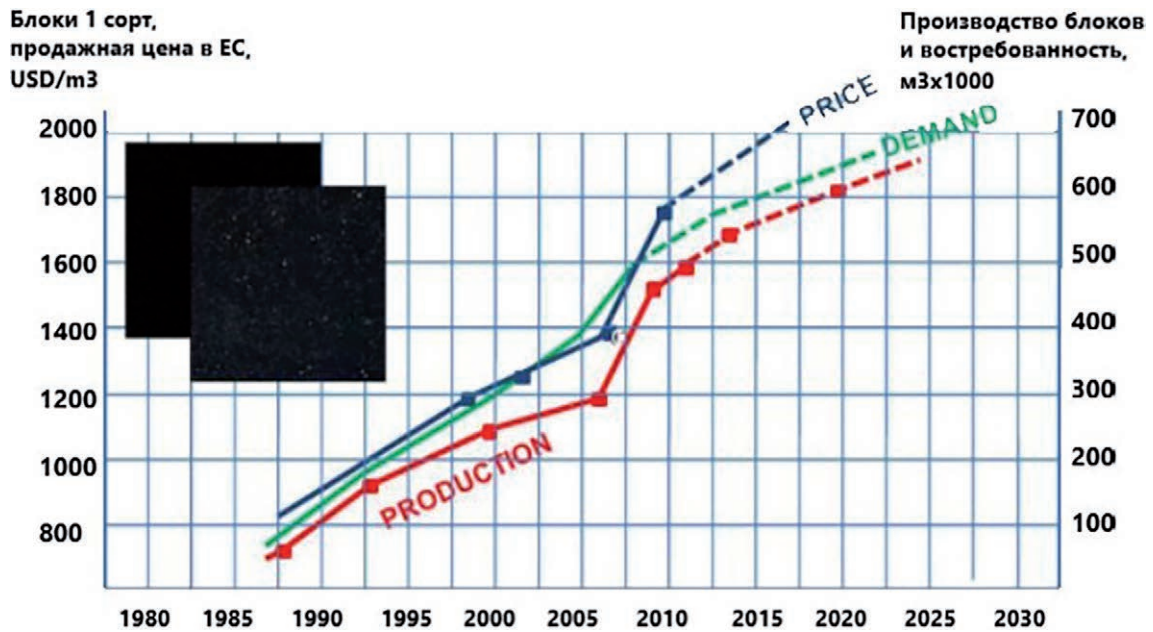


Рис. 1. Производство черных разновидностей камня (габбро, габбродиабазов) и тенденции роста объемов [Cosi, 2014]

Fig. 1. Production of black varieties of stone – gabbro, gabbrodiabases and growth trends [Cosi, 2014]

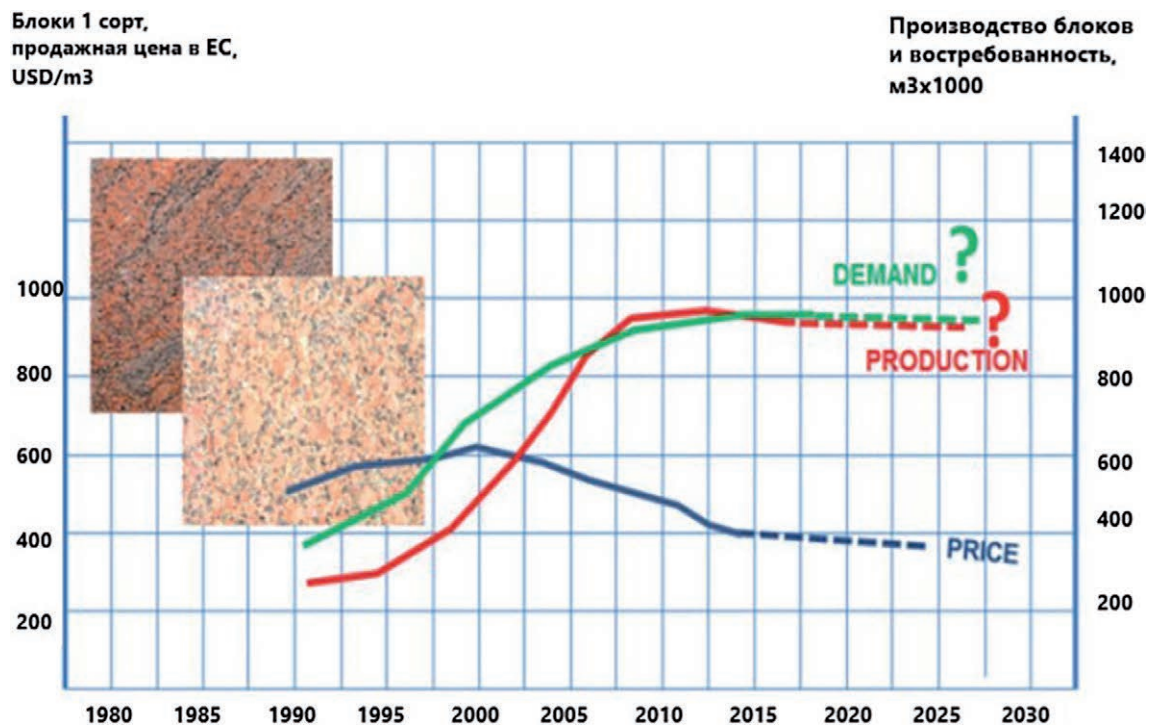


Рис. 2. Производство среднезернистых розово-красных разновидностей гранитов и тенденции роста их объемов [Cosi, 2014]

Fig. 2. Production of medium-grained pink-red varieties of granites and growth trends [Cosi, 2014]

гнозный характер развития черных и розовых разновидностей блочного камня продемонстрирован на рис. 1 и 2.

На практике количество облицовочного камня, используемого разными странами в соб-

ственной промышленности, численно должно различаться за счет его импорта и экспорта. Но в любом случае утверждение, что добыча минеральных ресурсов (а именно каменных строительных материалов) – это признак сырьевого,

отсталого государства, является ошибочным. Из списка основных участников обсуждаемого рынка только у Китая и Индии низкий ВВП на душу населения, остальные страны не показывают прямой зависимости объемов производства блочного камня и этого параметра.

Облицовочный камень в Европейском союзе и Китае

В общем объеме мировой добычи облицовочного камня Европейский союз занимает среднюю позицию. Во главе отрасли находятся Италия, Испания и Португалия, но в целом роль ЕС [Arvantides, 2015] на общем фоне мирового развития каменной отрасли относительно невелика. Более того, ежегодная добыча блоков в ведущих европейских камнедобывающих компаниях последние двадцать лет заметно снижается.

С другой стороны, положительную тенденцию за счет привлечения иностранных инвестиций имело развитие камнеобрабатывающего сектора Китая [Indian..., 2016; Тенденции..., 2018]. Правда, проблемы с охраной окружающей среды сформировали китайскую специфику развития этого направления. Экологические правила «Red Line of Ecology» потребовали закрытия значительной части карьеров, а охранные зоны рек, озер и морей оказались под запретом для создания камнедобывающих предприятий, что и повлияло на ситуацию в стране с экспортом и импортом облицовочного камня.

Поскольку Китай имеет высокоразвитую камнеобрабатывающую промышленность, возникает необходимость в импорте необработанных блоков, структура которого делится в соотношении 8 к 5, где высокая цифра соответствует доле завозимых твердых горных пород (гранитов, габбро и т. п.), а низкая – мягких (мрамора

и ему подобных). Импорт камня в Китай обеспечивают страны с соответствующей сырьевой базой, отсюда и дифференциация стран-поставщиков по разновидностям поставляемых пород (рис. 3).

Стремительное развитие промышленности природного камня, создание отрасли, производящей камнедобывающее и камнеобрабатывающее оборудование, явилось одной из причин того, что в настоящее время Китай из простого производителя каменной продукции становится инвестором. Именно этим многие объясняют высокие значения импорта мрамора из Турции, где инвестиции Китая в этой отрасли очень велики. В большом объеме используются граниты Индии с их широкой цветовой гаммой, имеющие всегда значительную роль на мировом рынке.

Любопытные данные приведены на сайте <https://www.stonecontact.com/>, обеспечивающем торговые сделки между производителями и потребителями облицовочных изделий из природного камня (рис. 4). Скорее всего, эти цифры и объясняют, почему индийские и бразильские граниты, а также турецкие мраморы более предпочтительны в Китае, чем российские камни.

Добыча каменных блоков в Финляндии

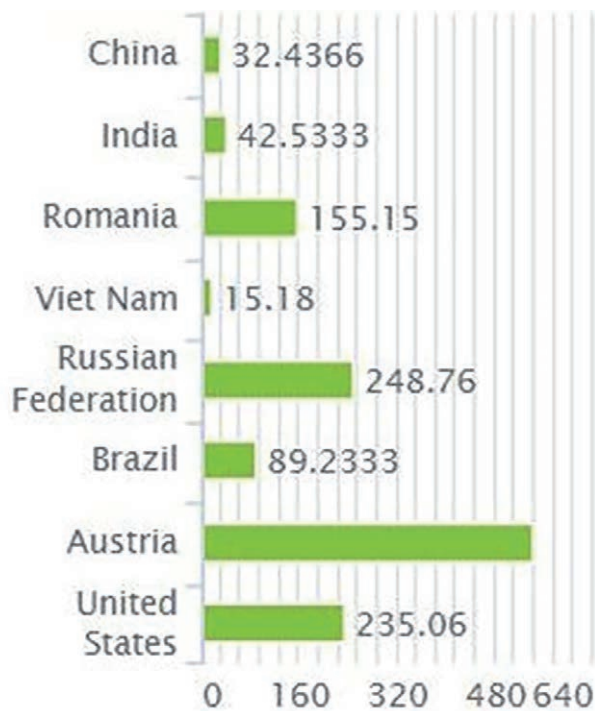
Рассматривая позиции Республики Карелия на каменном рынке, обычно сравнивают ситуацию в камнедобывающей отрасли республики и соседней Финляндии. Однако сходство ограничивается, как правило, климатическими условиями.

Следует отметить в первую очередь разницу в законодательной базе. Так называемые «общераспространенные полезные ископаемые» в Финляндии не подпадают под горное зако-

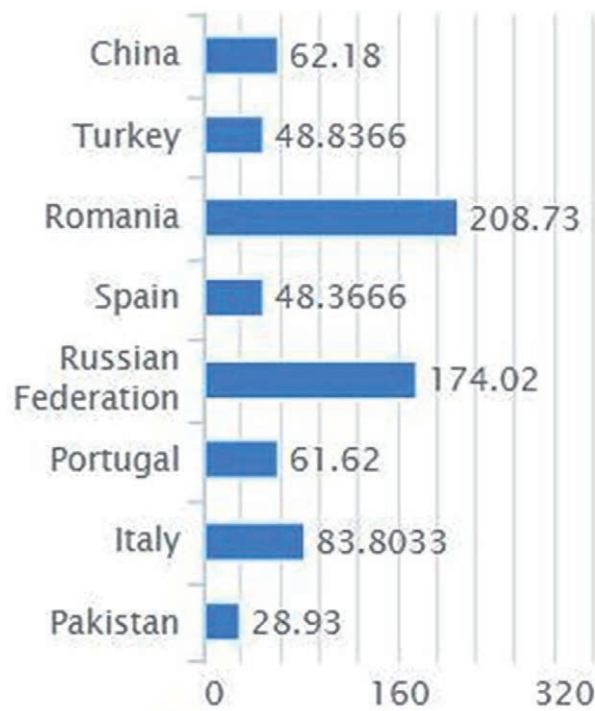


Рис. 3. Структура импорта гранитных и мраморных блоков китайской каменной промышленностью [Тенденции..., 2018]

Fig. 3. Structure of granite and marble blocks import by the Chinese stone industry [Tendentsii..., 2018]



2cm Granite Slabs



2cm Marble Slabs

Рис. 4. Стоимость гранитных (слева) и мраморных (справа) слэбов по странам-производителям, в долларах США (данные за май 2019 года)

Fig. 4. Cost of granite (left) and marble (right) slabs by countries of origin, in the U. S. dollars (the data of May, 2019)

нодательство. Отсюда все решения, которые принимаются в этой отрасли, регулируются отдельным законом по использованию камня [Бархатов и др., 2002]. В результате сроки подготовки к лицензированию участков для добычи горных пород значительно снижаются, требования к проектированию упрощены. В проекте отработки блочного участка основное внимание уделяется не технологии извлечения полезного материала с соответствующими расчетами по оборудованию и механизмам, а последствиям, которые наступят по завершении работ, т. е. стадии рекультивации, являющейся частью природоохранных мероприятий. Сами карьеры работают на общих основаниях, так же, как и другие предприятия. Выведение горных пород из-под действия горного законодательства является причиной того, что частная собственность на землю определяет условия аренды и эксплуатации карьеров, сроки их отработки, размеры платежей за аренду и добываемое сырье.

Доступ к недрам является одним из ключевых факторов конкуренции в промышленности декоративного камня. В этом контексте в Финляндии сбалансирован подход к отведению участков земли для будущих карьерных работ, а способствующие принятию решений систе-

мы управления земельными ресурсами, объединяющие данные о землепользовании, биоразнообразии, культурном наследии, геологии и водных ресурсах, уже многие годы развиваются в цифровом виде на базе Геологической службы Финляндии.

При достаточно большом количестве разных типов природного камня и разведанных Геологической службой Финляндии месторождений активно действующих карьеров на территории страны немного. Почти половина добытых блоков представлена разновидностями тальккарбонатных пород (soapstone), в больших количествах добываемых в местечке Юукка и коммуне Суомуссалми. Остальное – разновидности гранитов рапакиви, расположенных в юго-восточной и юго-западной частях страны. При этом широкая палитра камня позволяет при наличии запроса быстро получить блоки разнообразных расцветок без дополнительных бюрократических процедур даже с месторождений, где добыча в настоящее время не ведется, а карьеры законсервированы [Шеков, 2019].

Ассоциация каменной промышленности представляет полную характеристику этой отрасли в Финляндии (<https://www.suomalainenkivi.fi/en/finnish-natural-stone-association/natural-stone-industry-fin>

land/). Сектор дает работу почти 2000 человек. Главным товарным продуктом являются блоки.

Основными контрагентами финских добывающих компаний были и остаются Китай и Италия. Итальянские компании являются владельцами нескольких камнедобывающих предприятий, которые поставляют на свой рынок значимую часть продукции, а Китай, куда до недавнего времени вывозилась основная масса блоков, играет роль обрабатывающего центра для финских компаний.

Финляндия полностью интегрирована в мировой рынок камня, производя блоки и конечную продукцию высокого качества. Тот объем производства, который мы наблюдаем сегодня в Финляндии, по-видимому, и определяется емкостью рынка финского камня в мире. Но производственные мощности и ресурсы камня в стране гораздо выше, что дает возможность финским камнедобывающим компаниям гибко реагировать на все вызовы.

Камнедобывающая промышленность России

В настоящее время в Российской Федерации производится незначительное количество блоков (рис. 5) и осваивается 134 месторождения природного камня [Selonen, 2011].

Основную часть блоков Россия импортирует из разных стран (рис. 6). К сожалению, в российской экономике так и не сформировалась конкурентная среда. Очевидно, что объем облицовочной продукции из природного камня в Российской Федерации далек от его уровня у ближайших конкурентов, даже не являющихся высокоразвитыми странами.

Камнедобывающий сектор Карелии

Горная промышленность республики в настоящее время занимает ведущую позицию в структуре ее промышленности, или чуть меньше 40 % в общем объеме произведенных товаров, постепенно увеличивая эти показатели на протяжении последних лет. По состоянию на 01.10.2018 года на территории Республики Карелия недропользование осуществляется на лицензионной основе. На общераспространенные полезные ископаемые выдано 334 лицензии, среди которых 120 разрешений – на щебень, 87 – на блоки, 9 – на торф и 118 лицензий относятся к прочим полезным ископаемым (сапропель, глина, песок, ПГС).

На этом фоне работа предприятий по добыче строительного камня представляется очень важной для получения дополнительных доходов Республики Карелия. В 2017 году строительный камень для производства блоков получали на 13 предприятиях. Объем производства нерудных строительных материалов (щебня и блоков) в том же году составил 16121 тыс. куб. м, или 95,7 % к уровню 2016 года.

Между тем еще двадцать лет назад Институтом геологии КарНЦ РАН выполнены работы по оценке стоимости полезных ископаемых в Республике Карелия [Бархатов и др., 2002]. Одним из результатов является график распределения различных полезных ископаемых по их ценности и перспективности использования. Важным выводом этой работы стало понимание, что наряду с железными рудами, шунгитовыми породами и щебнем блочный камень является наиболее перспективным ресурсом

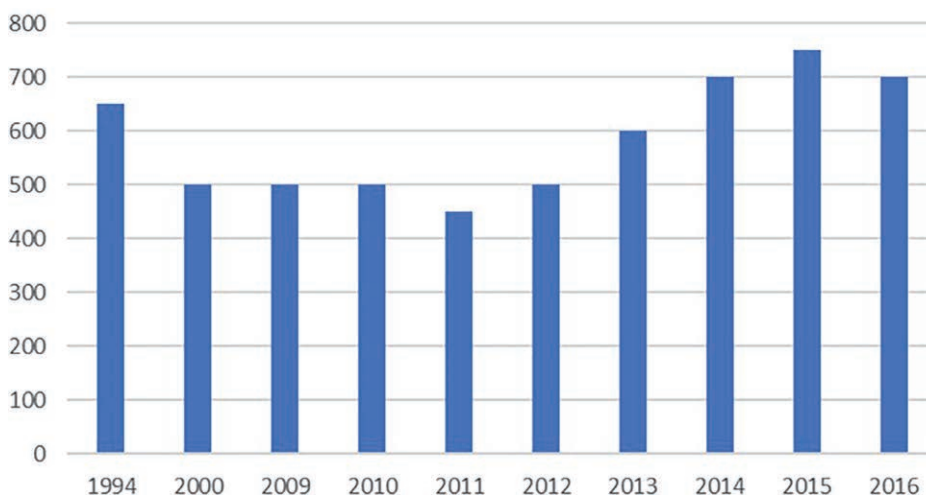


Рис. 5. Производство блочного камня в России, тыс. тонн

Fig. 5. Block production in Russia, thousand tons

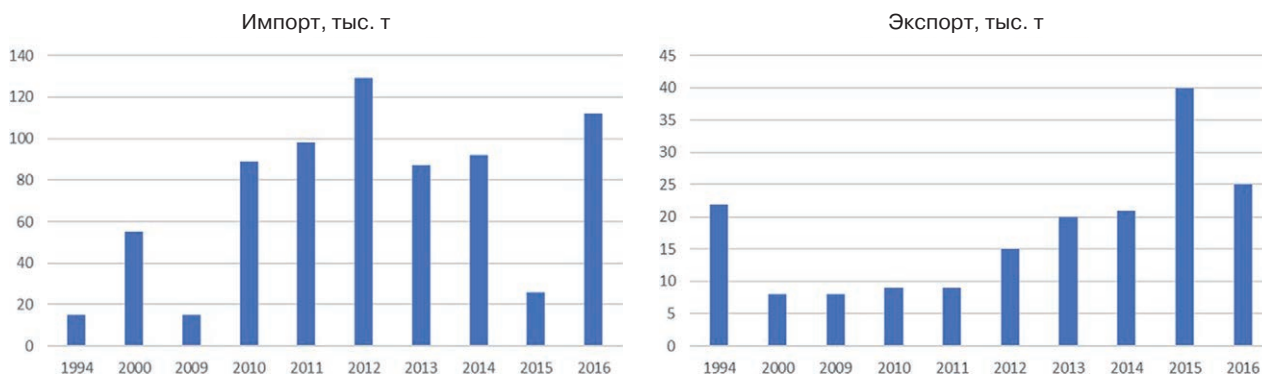


Рис. 6. Импорт и экспорт блочного камня в России [Selonen, 2011]

Fig. 6. Import and export of blocks in Russia [Selonen, 2011]

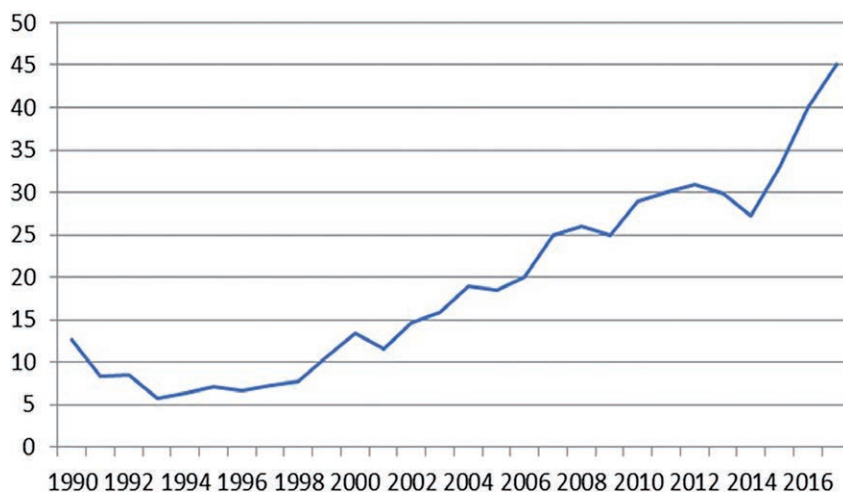


Рис. 7. Добыча блочного камня в Республике Карелия, тыс. куб. м

Fig. 7. Block stone production in the Republic of Karelia, thousand cubic meters

недр Республики Карелия как по стоимости, так и по имеющемуся объему.

В рейтинге приоритетов по развитию минерально-сырьевой базы Республики Карелия блочный камень, безусловно, занимает высокое место. На рынке блочного камня республики наблюдается устойчивый рост объема производства (рис. 7). За последние 10 лет он увеличился в 1,8 раза, например, за период январь–сентябрь 2018 года составил 37 тыс. куб. м, или 101,5 % к уровню аналогичного периода 2017 года.

Карельская модель развития минерально-сырьевой базы блочного камня имеет свои особенности [Шеков, 2019]. Прежде всего основной объем добываемого камня приходится на габбродиабазы, то есть на камень черного цвета. Поскольку такой камень используется в основном для мемориальных целей, где цена конечного продукта значительно выше, чем затраты на его изготовление, то требования к форме и размерам блоков черного камня не столь критичны.

Камень перерабатывается по большей части на территории республики, где только в Петрозаводске находится более двух десятков различного рода производств, от кустарных до современных, изготавливающих памятники и сопутствующие детали из каменных блоков. Высокий спрос на этот тип камня еще больше повышает на него цену, поэтому габбродиабазы Карелии нечувствительны к требованиям мирового рынка в отношении формы и размеров блоков. Не меняют ситуацию и отвечающие требованиям крупные блоки, достаточно редко появляющиеся в общей линейке добываемой продукции.

Минерально-сырьевая база облицовочного камня на территории Карелии значительна и достаточно хорошо изучена [Михайлов и др., 2006]. Однако специфика изучения месторождений блочного камня в российских условиях очень отличается от мировой. Основные требования к блочному камню сформулированы в российском ГОСТ 9479–2011 [2012], где ос-

новным критерием деления блоков на группы является их объем. Зарубежное законодательство требует блоков заданного размера, согласованного с рабочим пространством распиловочных станков. С позиций этих требований российские, в том числе и карельские, производители начали изготовление размерных блоков европейского качества только в последнее десятилетие. Это в некоторой степени девальвирует результаты, полученные в процессе геологического изучения блочных месторождений, поэтому переоценка сырьевой базы облицовочного камня республики становится актуальной проблемой на ближайшее будущее. Важно понять место карельского камня со всей его очень широкой палитрой среди других камней на мировом рынке, донести до инвесторов реальные прогнозы по перспективам использования тех или иных разновидностей.

В Швеции средний выход блоков при добыче гранита редко превышает 10 % из-за особенностей массивов. Поэтому затраты на оплату труда, налоги и другие постоянные расходы с учетом рыночной цены FOB для больших блоков должны составлять не менее 600 евро/м³, чтобы карьер был прибыльным [Arvantides, 2015]. Для европейских месторождений выход блоков варьирует в пределах от 2 до 50 %, то есть для простого блока цена может изменяться в зависимости от структурных особенностей и цвета от 250 до 6000 евро/м³ [Arvantides, 2015]. С этой точки зрения важно понять, что устаревшие данные по разведке и поиску перспективных объектов блочного камня на территории Республики Карелия серьезно тормозят развитие промышленности облицовочного камня. Значительная часть лицензированных и находящихся в нераспределенном фонде ресурсов, в том числе и разведанных, не соответствуют современным требованиям и никогда не будут использованы по прямому назначению. С другой стороны, существуют современные методики и подходы для поисков и оценки массивов горных пород, пригодных для использования в качестве облицовочного камня [Shekov, 2015]. Чтобы исправить эту ситуацию, необходима на начальном этапе разработка программы развития промышленности нерудных строительных материалов, в том числе и промышленности облицовочного камня в рамках выполнения Распоряжения Правительства РФ от 22.12.2018 N 2914-р «Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года». После разработки программы станут ясными и перспективы переоценки запасов как на новых месторождениях, так и на месторождениях,

состоящих на балансе, но не используемых промышленностью.

В настоящее время в Карелии активно эксплуатируются 13 месторождений. Остальные находятся в стадии изучения и подготовки к освоению. 74 месторождения учтены, но пока не востребованы.

Активную работу как на новых, так и на старых месторождениях проводит холдинг «Возрождение». Помимо освоения широко известных месторождений Нигрозерское, Сопка Бунтина и других компания активно занимается поиском и разведкой новых месторождений, являясь, по сути, флагманом развития сырьевой базы облицовочного камня в Республике Карелия.

Обсуждение результатов

Учет мирового опыта разработки месторождений облицовочного камня, накопленного за предыдущие десятилетия, может стать основной движущей силой в формировании российского законодательства, которым регулируются и отношения недропользования в Республике Карелия в этой сфере. Сегодня невозможно решить в этой области ни одного вопроса без участия государства.

Параметры функционирования отрасли каменных материалов в разных странах определяются в большей своей части имеющимися ресурсами и историей ее развития. Геологическое сходство территории Финляндии и Карелии не дает оснований предполагать, что карельский камень на мировом рынке будет так же востребован, как и финский. Маркетинговые усилия, приложенные финскими производителями каменных блоков, сформировали свои особенности в производстве камня – выбор палитры, предпочтительные сорта для экспорта, что и демонстрирует промышленность соседней с нами страны. С этой точки зрения финский камень на рынке очень сильно отличается по качеству и технологическим параметрам от камня Карелии. Но, с другой стороны, мероприятия в области формирования законодательства в Финляндии могут стать хорошим примером создания эффективной камнедобывающей отрасли, учитывающей экономические рыночные составляющие развития отрасли на фоне серьезных природосберегающих технологий, применяемых на карьерах, благодаря достаточному вниманию со стороны государства, обеспечивающего не торможение, а развитие этого направления, а также слаженной работы Ассоциации камнедобывающей промышленности страны.

Для эффективного развития камнедобывающей промышленности необходимы «длинные» кредиты. Каждый карьер требует значительных затрат на строительство, приобретение оборудования, на маркетинговые мероприятия. Сегодня это под силу только крупным предприятиям, как и показывает опыт холдинга «Возрождение».

Необходим тщательный анализ сырьевой базы облицовочного камня Республики Карелия и Российской Федерации в целом. Со сменой социально-политических укладов сменились отношения между недропользователями и владельцами, которых в России представляет государство. Сложное и запутанное законодательство значительно снижает возможности развития каменной отрасли, приводя к тому, что камень, полученный на российском предприятии, не выдерживает конкуренции с зарубежными аналогами.

Очень важно установить баланс в отношениях недропользования между государством, недропользователем и местным населением. Местные жители возражают, как правило, только в тех случаях, когда есть угроза появления экологических проблем в регионе. Однако эффективный приток финансирования и других возможностей для развития территории всегда будет играть положительную роль при принятии решения о начале разработки карьеров. Просто необходимо четко следовать требованиям природоохранного законодательства, а само законодательство должно быть разумным и простым. Проблема выравнивания законодательства в области взаимоотношений государства, недропользователя и экологии является ключевой.

Вопросы развития минерально-сырьевой базы облицовочного камня неоднократно рассматривались в разных изданиях [Шеков, 2008, 2010], где уже сформулированы некоторые предложения в этой сфере.

Специфика карельского рынка, то есть преобладание камня черного цвета, не стимулирует применения ни требований российского ГОСТ [2012], ни требований мирового рынка; при этом снижается качество, а следовательно, и стоимость сырого блока, от которой исчисляются налоги.

С другой стороны, это означает, что отечественные требования и нормы для производителей памятников, а они очень часто являются и недропользователями, в нашей стране бессмысленны. То есть конечным продуктом добычи может быть любой кусок камня, из которого возможно получение готовой продукции в виде памятника. А это значит, что усилия по изуче-

нию выхода блоков на месторождении, которые прилагаются при проведении разведочных работ, во многих случаях неоправданны, так же как и попытки производить расчет выхода блоков различных групп из массива. Гораздо полезнее приводить все необходимые платежи за пользование недрами и добычу полезного ископаемого к объемам добытой горной массы в твердом теле, договариваясь на этапе получения лицензии о стоимости единицы объема извлеченной горной массы. Это повлечет колоссальное снижение затрат, выделяемых на контроль за недропользователем, и даст возможность недропользователю подходить к «собственным» ресурсам более рационально.

Работа выполнена в Институте геологии КарНЦ РАН по государственному заданию КарНЦ РАН в соответствии с проектом № АААА-А18-118020290175-2.

Литература

Бархатов А. В., Шеков В. А. Основы стоимостной оценки минерально-сырьевых ресурсов Карелии. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2002. 334 с.

ГОСТ 9479-2011 «Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2012. 8 с.

Мировой каменный рынок – современные тенденции развития: некоторые аспекты // Камень и бизнес. 2018. № 2. С. 6.

Мировой рынок природного камня – основные тенденции развития // Камень и бизнес. 2017. № 3. С. 6–10.

Михайлов В. П., Голованов Ю. Б., Шеков В. А. Блочный камень // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2. Петрозаводск: Карелия, 2006. С. 113–157. Прил.: Карта размещения месторождений и проявлений (блочный и строительный камень Республики Карелия). М 1:1 000 000.

Тенденции развития сектора камня Китая: основные данные по экспорту-импорту за 2017 г. // Камень и бизнес. 2018. № 1. С. 6–8.

Шеков В. А. О совершенствовании законодательства в области добычи общераспространенных полезных ископаемых // Горный журнал. 2010. № 5. С. 69–71.

Шеков В. А. Роль современного законодательства в формировании конкурентоспособной среды для развития промышленности облицовочного камня // Камень и бизнес. 2008. № 1(40). С. 9–11.

Шеков В. А. Состояние и тенденции развития камнедобывающей промышленности в мире // Горный журнал. 2019. № 3. С. 5–10. doi: 10.17580/gzh.2019.03.01

Arvantides N., Heldal T. Draft report state-of-the-art: ornamental stone quarrying in Europe. State-of-the-art: ornamental stone quarrying in Europe: Draft Report.

2015. 57 p. URL: <http://www.ngu.no/filearchive/91/OSNET3.pdf> (дата обращения: 10.01.2020).

Ashmole I., Motloung M. Dimension stone: the latest trends in exploration and production technology // The Southern African Inst. of Mining and Metallurgy, Surface Mining. 2008. P. 35–70.

Cosi M. The dimension stones sector new perspectives in the international mining standards reporting // EFG/PERC Conf. *Min win-win: establishing Europe-wide minerals resources and reserves reporting standards – the key to reducing risk and increasing investors' confidence* (Brussels, 20–21 Nov. 2014). URL: https://www.researchgate.net/publication/346319994_THE_DIMENSION_STONES_SECTOR_new_perspectives_in_the_international_mining_standards_reporting_Speaker_MARCO_COSI (дата обращения: 10.01.2020).

References

Barkhatov A. V., Shekov V. A. Osnovy stoimostnoi otsenki mineral'no-syr'evykh resursov Karelii [Bases for mineral resources valuation in Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2002. 334 p.

GOST 9479–2011 “Blokii iz gornykh porod dlya proizvodstva oblitsovochnykh, arkhitekturno-stroitel'nykh, memorial'nykh i drugikh izdelii. Tekhnicheskie usloviya” [Rough blocks for manufacture of facing, architectural and building, memorial and other products. Specifications]. Moscow: Standartinform, 2012. 8 p.

Mikhailov V. P., Golovanov Yu. B., Shekov V. A. Blochnyi kamen' [Dimension stone]. *Mineral'no-syr'e-vaya baza Respubliki Kareliya* [Raw material base of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. B. 2. P. 113–157. Appendix: Location map of the deposits and occurrences (dimension and building stone of the Republic of Karelia). M 1:1.000.000.

Mirovoi kamennyi rynek – sovremennye tendentsii razvitiya: nekotorye aspekty [The world stone market – modern lines of development: Some aspects]. *Kamen' i biznes* [Stone and Business]. 2018. No. 2. P. 6.

Mirovoi rynek prirodnogo kamnya – osnovnye tendentsii razvitiya [The world stone market – The basic tendencies of development]. *Kamen' i biznes* [Stone and Business]. 2017. No. 3. P. 6–10.

Tendentsii razvitiya sektora kamnya Kitaya: osnovnye dannye po eksportu-importu za 2017 [The tendencies of development of sector of stone of China: A specification on export-import for 2017]. *Kamen' i biznes* [Stone and Business]. 2018. No. 1. P. 6–8.

Shekov V. A. O sovershenstvovanii zakonodatel'stva v oblasti dobychi obshcherasprostranennykh poleznykh iskopaemykh [On improving legislation in the field of mining of common minerals]. *Gornyi zhurn.* [Mining J.]. 2010. No. 5. P. 69–71.

Shekov V. A. Rol' sovremennogo zakonotvorchestva v formirovanii konkurentosposobnoi sredy dlya razvitiya promyshlennosti oblitsovochnogo kamnya [The role of modern legislation in the formation of a competitive environment for the development of the facing stone industry]. *Kamen' i biznes* [Stone and Business]. 2008. No. 1(40). P. 9–11.

Indian Minerals Yearbook 2015 (Part III: Mineral Reviews). 54th ed. / Granite, Government of India, Ministry of Mines, Indian Bureau of Mines, Indira Bhavan, Civil Lines. Dec., 2016. URL: www.ibm.gov.in (дата обращения: 10.01.2020).

Montani C. Stone 2007. World Marketing Handbook // *Il Sole 24 ORE Business Media S. r. l.* 2007.

Selonen O., Ehlers C., Luodes H., Karell F. Magmatic constraints on localization of natural stone deposits in the Vehmaa rapakivi granite batholith, southwestern Finland // *Bull. Geol. Soc. Fin.* 2011. Vol. 83. P. 25–39.

Shekov V. Free of stress massif as a source for dimensional stone deposits // *Proceed. 15th Int. Multidisciplinary Sci. Geoconference SGEM 2015, Science and Technology in Geology, Exploration and Mining*. Vol. III. P. 313–321.

Поступила в редакцию 31.05.2020

Shekov V. Sostoyanie i tendentsii razvitiya kamnedobyvayushchei promyshlennosti v mire [State and development trends of the natural stone extracting industry in the world]. *Gornyi zhurn.* [Mining J.]. 2019. No. 3. P. 5–10. doi: 10.17580/gzh.2019.03.01

Arvantides N., Heldal T. Draft report state-of-the-art: ornamental stone quarrying in Europe. State-of-the-art: ornamental stone quarrying in Europe: Draft Report. 2015. 57 p. URL: <http://www.ngu.no/filearchive/91/OSNET3.pdf> (accessed: 10.01.2020).

Ashmole I., Motloung M. Dimension stone: the latest trends in exploration and production technology. *The Southern African Inst. of Mining and Metallurgy, Surface Mining*. 2008. P. 35–70.

Cosi M. The dimension stones sector new perspectives in the international mining standards reporting. EFG/PERC Conf. *Min win-win: establishing Europe-wide minerals resources and reserves reporting standards – the key to reducing risk and increasing investors' confidence* (Brussels, 20–21 Nov. 2014). URL: https://www.researchgate.net/publication/346319994_THE_DIMENSION_STONES_SECTOR_new_perspectives_in_the_international_mining_standards_reporting_Speaker_MARCO_COSI (accessed: 10.01.2020).

Indian Minerals Yearbook 2015 (Part III: Mineral Reviews). 54th ed. Granite, Government of India, Ministry of Mines, Indian Bureau of Mines, Indira Bhavan, Civil Lines. Dec., 2016. URL: www.ibm.gov.in (accessed: 10.01.2020).

Montani C. Stone 2007. World Marketing Handbook. *Il Sole 24 ORE Business Media S. r. l.* 2007.

Selonen O., Ehlers C., Luodes H., Karell F. Magmatic constraints on localization of natural stone deposits in the Vehmaa rapakivi granite batholith, southwestern Finland. *Bull. Geol. Soc. Fin.* 2011. Vol. 83. P. 25–39.

Shekov V. Free of stress massif as a source for dimensional stone deposits. *Proceed. 15th Int. Multidisciplinary Sci. Geoconference SGEM 2015, Science and Technology in Geology, Exploration and Mining*. Vol. III. P. 313–321.

Received May 31, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Шеков Виталий Александрович
заместитель директора по научной работе, к. т. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: shekov@krc.karelia.ru
тел.: +79217260273

CONTRIBUTOR:

Shekov, Vitaly
Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: shekov@krc.karelia.ru
tel.: +79217260273

УДК 552.45 + 553.546 + 72 (470.22)

МАЛИНОВЫЙ КВАРЦИТ В ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОМ НАСЛЕДИИ РОССИИ И ЗАРУБЕЖЬЯ

А. В. Рахманова

Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Шокшинское месторождение малинового кварцита, известное с XVIII века, находится в 5 км к северу от старинного вепсского села Шокша, расположенного в Прионежском районе Республики Карелия (в 60 км от г. Петрозаводска). Минеральный состав малиновых кварцитов: кварц – 94–96 %, халцедон – 2–3 %, серицит – 0,5–1,0 %, оксиды железа – до 0,5 %. Оксиды железа придают камню насыщенный пурпурный цвет, за который он был прозван «порфиром» («порφύρεος» или «porphýreos», с греч. – «пурпурный», «багряный»). Высокая твердость, прочность, износостойкость, декоративность позволяют применять эту горную породу в качестве облицовочного материала. Красота шокшинского порфира не могла остаться незамеченной великими мастерами – ценителями природного камня. Саркофаг французского императора и полководца Наполеона I, мозаичный пол Казанского собора, пьедестал памятника Николаю I в Санкт-Петербурге, венечная часть и надпись «Ленин» мавзолея в Москве и другие сооружения на века прославили этот природный камень. Не обойден он строителями и архитекторами столицы Карелии. В Петрозаводске брусчаткой из малинового кварцита было выложено дорожное покрытие Первомайского проспекта, из него же изготовлены пьедесталы памятников С. М. Кирову, К. Марксу и Ф. Энгельсу, прямоугольная площадка мемориального комплекса «Могила Неизвестного солдата с Вечным огнем Славы» и др. На сегодняшний день этот природный камень используется для производства брусчатки, футеровки для шаровых мельниц, изготовления декоративных облицовочных и ритуальных изделий, а также в ландшафтном дизайне. Объекты, в которых представлен этот уникальный природный материал, остаются вечным памятником труду русских и зарубежных зодчих. Статья представляет собой обобщающий обзор по истории применения шокшинского кварцита.

Ключевые слова: малиновый кварцит; Шокшинское месторождение; Михайловский (Инженерный) замок; саркофаг Наполеона I; Исаакиевский собор; мавзолей В. И. Ленина; малиновый кварцит в архитектуре Петрозаводска.

A. V. Rakhmanova. CRIMSON QUARTZITE IN THE HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE OF RUSSIA AND THE WORLD

The Shoksha crimson quartzite deposit, known since the 18th century, lies 5 km north of Shoksha, an old Vepsian village in Prionezhsky District, Republic of Karelia (60 km from Petrozavodsk). The crimson quartzite has the following mineral composition: 94–96 % quartz, 2–3 % chalcedony, 0.5–1.0 % sericite, and up to 0.5 % iron oxides. It is called porphyry because of its deep purple colour imparted to it by iron oxides (the Greek word *порφύρεος* or *porphýreos* means purple). As the rock is hard, durable, wear-resistant and ornamental, it is used as facing stone. The beauty of Shoksha porphyry was appraised by great architects, who knew the value of natural stones. The use of porphyry in the tomb

of French Emperor and military leader Napoleon I, the mosaic floor of the Kazan Cathedral, the pedestal of the Monument of Nicholas I in St. Petersburg, the crowning section and the name *Lenin* of the Mausoleum in Moscow, and in other structures has made it famous. The builders and architects of Karelia's capital have also given porphyry its due. Crimson quartzite was used to pave Pervomaisky Avenue in Petrozavodsk and to make the pedestals of monuments of S. M. Kirov, K. Marx and F. Engels, the rectangular portion of the Memorial Complex known as The Grave of the Unknown Soldier with the Eternal Flame, etc. The porphyry is now used for the production of paving stone, lining in ball mills, ornamental facing and ritual products, and in landscape design. The structures, in which this unique natural stone is used, will remain perpetual monuments to the skills of Russian and foreign architects. The article is a general overview of the history of use of Shoksha quartzite.

Keywords: crimson quartzite; Shoksha deposit; Mikhailovsky (Engineers') Castle; tomb of Napoleon I; St. Isaac's Cathedral; V. I. Lenin mausoleum; crimson quartzite in Petrozavodsk architecture.

Введение

Среди многочисленных горных пород, широко применяемых в архитектуре в качестве строительного и облицовочного материала, особое место занимают докембрийские кварциты и кварцито-песчаники. Один из них – шокшинский малиновый кварцит, получивший свое название в честь одноименного села Шокша (Прионежский район, Республика Карелия). Месторождение этого природного камня (рис. 1) расположено на берегу Шокшинской губы Онежского озера в 5 км к северу от старинного вепсского села Шокша (в 60 км к юго-востоку от г. Петрозаводска). Территорией раз-

вития протерозойских кварцито-песчаников и кварцитов шокшинской свиты вепсского надгоризонта является Юго-Западное Прионежье. (Название стратиграфического подразделения «вепсий» дано по наименованию финно-угорской народности, проживающей на этой территории.) Время формирования указанных осадочных горных пород (по сути – древних пляжных песков) – 1,80–1,65 млрд лет.

Основные задачи представленной работы: сделать обзор использования шокшинского кварцита, в том числе в архитектуре Петрозаводска; указать петрографические особенности и состав породы, обеспечивающие прочность и красоту природного камня.

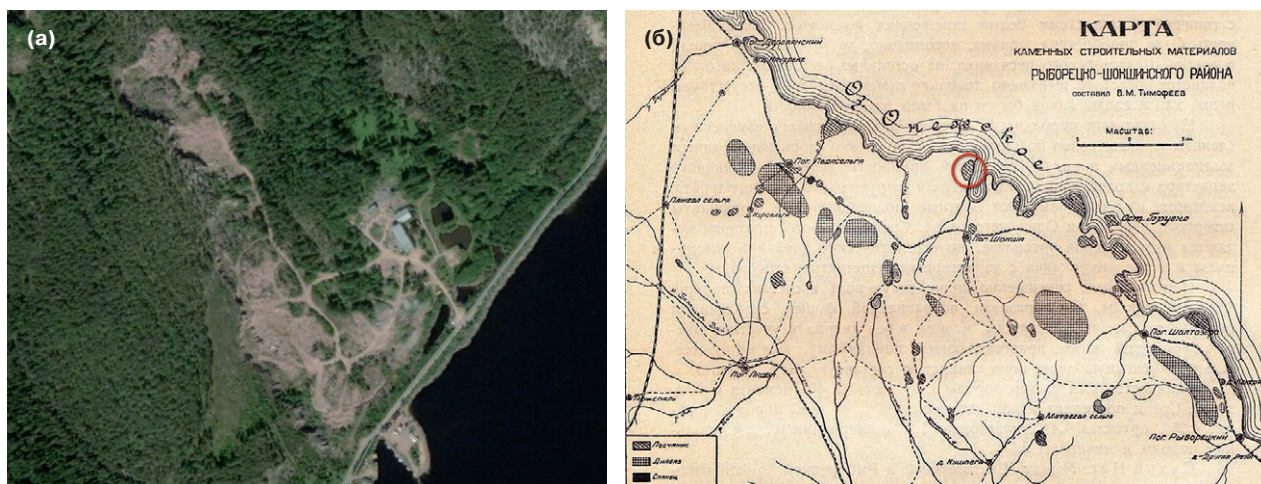


Рис. 1. Шокшинское месторождение малиновых и красных кварцитов:

а – карьер «Кварцитный»; б – карта каменных строительных материалов Рыборецко-Шокшинского района, составленная В. М. Тимофеевым [1927]. Шокшинское месторождение малиновых кварцитов обозначено красным кружком

Fig. 1. Shoksha crimson and red quartzite deposit:

а – Kvarcitsny Quarry; б – map of stone building materials from the Ryboretsk-Shoksha District compiled by V. M. Timofeyev [1927]. The Shoksha crimson quartzite deposit is indicated by a red circle

Краткая история исследования Шокшинского месторождения

Шокшинское месторождение малиновых кварцитов известно с XVIII века. Профессор Главного педагогического института (г. Санкт-Петербург), директор Минералогического общества, статский советник Я. Г. Зембницкий в своей работе «О Шокшинских и Соломенских камнях» [1830] дает краткую характеристику этой горной породы, а также сведения о ее распространении, применении, добыче и технологических данных.

Капитан корпуса горных инженеров И. К. Комаров в своем труде «О строительных материалах Олонецкой губернии», изданном в середине XIX века [Комаров, 1851], приводит следующее описание: «Шокшинские ломки принадлежат управлению Тивдийского завода; камень, из них добываемый, известен под именем Шохана. Песчаник этот имеет мелкозернистое, почти сливное сложение; он темно-красного и красновато-бурого цветов... Шохан по цвету разделяется на заводе на две разновидности, на а) красный и б) красновато-бурый, слоистый; первый представляет то отличие, которое известно в мраморном деле под именем *rouge antique*. Добыча Шохана производится бурением и потом расклиниванием, частью же и порохострельною работою. Последняя употребляется только при выемке малых штук, также для отделения массы по длине, с боков – от месторождения, потому что камень этот, при выстрелах, нередко дает вредные трещины... Для бурения употребляется долотчатый бур со стальным напарьем и железная желонка... Для поправки и починки инструментов имеется на месте кузница».

Краткую заметку о Шокшинском месторождении, а также характеристику породы дал в своем труде «Каменные и строительные материалы Прионежья» геолог широкого профиля, петрограф, гидрогеолог, исследователь недр Карелии профессор В. М. Тимофеев [1927]. Он же обозначил это месторождение на составленной им карте каменных и строительных материалов Рыборецко-Шокшинского района (рис. 1, б).

В работе «Каменные строительные материалы Карелии» профессор П. А. Борисов [1963], геолог, петрограф, заслуженный деятель науки Карело-Финской ССР, первый директор Института геологии КарНЦ РАН, приводит описание Шокшинского месторождения, отмечает физико-механические свойства породы, а также указывает на применение шокшинского кварцита в качестве строительного и облицовочного материала.

Геологическое строение Шокшинского месторождения

Месторождение состоит из двух участков – Северного и Южного. В пределах Южного участка в составе шокшинской свиты вепсского надгоризонта (PR₁ vp) выделяются три пачки [Минерально-сырьевая..., 2006]: нижняя – красных кварцитов, мощностью 15 м, средняя – малиновых кварцитов, мощностью 17 м и верхняя – красных кварцито-песчаников мощностью до 40 м.

Малиновые кварциты залегают выше серых (петрозаводской свиты) и прорываются силлами габбродиабазов. Минеральный состав малиновых кварцитов (%): кварц – 94–96, халцедон – 2–3, серицит – 0,5–1,0, оксиды железа – до 0,5. Красные кварциты содержат (%): кварц – 78–88, серицит – 8–10, халцедон, кремний – 4–5, оксиды железа – 2–3, иногда в красных кварцитах имеется до 15–20 % включений глинистых сланцев. Породе свойственна параллельная и косая слоистость; текстура массивная либо слоистая. Твердость горной породы определяется ведущим минералом кварцем.

Структура кварцитов тонко- и мелкозернистая, мощность однородных слоев в пачке малиновых кварцитов составляет 0,4–1,5 м, в пачке красных кварцитов – 0,1–0,4 м (рис. 2, а). Средний размер зерен кварцевых песчинок – около 0,3 мм (наиболее крупные зерна имеют диаметр 0,5–0,8 мм, мелкие – 0,02–0,03 мм), отдельные песчинки окружены тонкой пленкой оксида железа (гематита) (рис. 2, б).

На месторождении встречается малиновый кварцит со знаками ряби, образованными в условиях водных течений или действия волн, с прямыми или изогнутыми, с параллельными или перекрещивающимися рядами слоев.

Разработка месторождения ведется открытым способом (рис. 3). Утвержденные запасы составляют более 1,3 млн м³.

Физико-механические (высокая твердость, прочность, износостойкость) и декоративные свойства позволяют применять эту горную породу в качестве облицовочного материала.

История применения малинового кварцита в архитектуре России и зарубежья

Красота шокшинского кварцита не могла остаться незамеченной великими мастерами – ценителями природного камня. Особый интерес представляли однотонные разности темно-малинового цвета, называемые «шокшинским порфиром». Слово «порфир» проис-

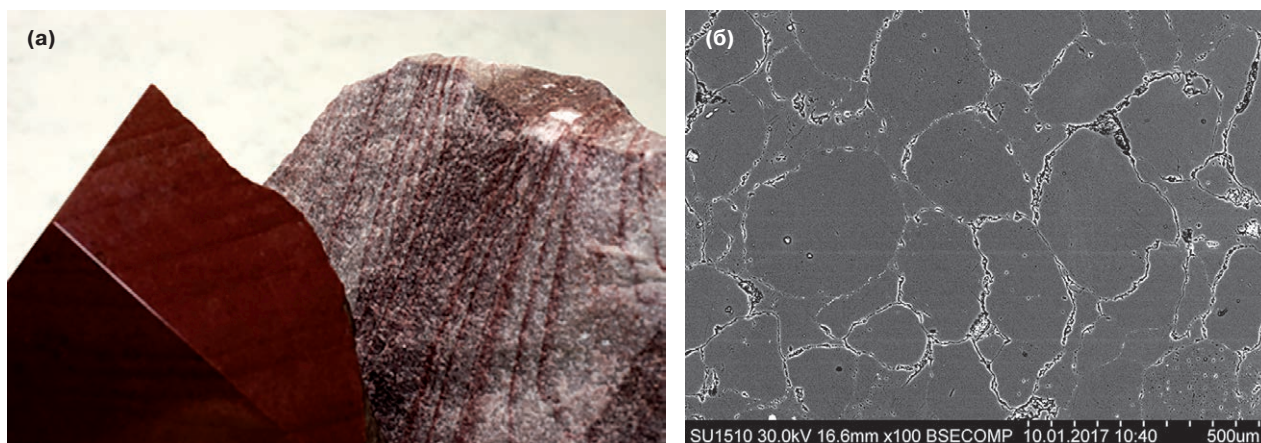


Рис. 2. Текстура и структура малинового кварцита:

а – породы; б – микроструктура кварцита, изображение в отраженных электронах (фотография выполнена на сканирующем микроскопе HITACHI SU 1510 в Петрозаводском государственном университете, предоставлена В. В. Травиным)

Fig. 2. Crimson quartzite texture and structure:

а – rock; б – quartzite microstructure (reflected electron image, photo was taken on a HITACHI SU 1510 scanning microscope at Petrozavodsk State University and presented by V. V. Travin)



Рис. 3. Шокшинское месторождение малиновых кварцитов (стенка карьера), Прионежский р-н, Республика Карелия (фото: <https://cont.ws/@restvier-zor/581356>)

Fig. 3. Shoksha crimson quartzite deposit (quarry wall), Prionezhsky District, Republic of Karelia (photo: <https://cont.ws/@restvier-zor/581356>)

ходит от древнегреческого «порφύρεος» или «porphyreos», означающего «темно-красный, пурпурный». По-видимому, первым, кто применил этот камень в архитектуре, был итальянский зодчий Антонио Ринальди, поместивший монолит шокшинского порфира в основание Чесменской колонны в Царском Селе (ныне г. Пушкин),

установленной в 1776 г. в центре Большого пруда Екатерининского парка. Монумент сооружен в память о сражении в бухте Чесма в 1770 году, определившем исход русско-турецкой войны. Следует отметить, что в дальнейшем в геологии термин «порфир» был использован для обозначения магматической горной породы кислого

состава, в связи с чем так называть метаморфизованную осадочную горную породу нельзя, что отмечает в своих публикациях исследователь природного камня А. Г. Булах [2015].

Из этого же природного материала сделан фриз (декоративная композиция в виде горизонтальной полосы или ленты, увенчивающая или обрамляющая ту или иную часть архитектурного сооружения) Михайловского (Инженерного) замка, построенного в 1797–1800 гг. по заказу российского императора Павла I (архитекторы Винченцо Бренна и В. И. Баженов). На нем нанесена измененная цитата из 92-го псалма библейского царя Давида: «Дому Твоему подобаешь Святыня Господня въ долготу дней».

Малиновый кварцит наравне с тивдийским мрамором и нигозерским аспидным сланцем применялся и при отделке мозаичного пола Казанского собора (строительство 1801–1811 гг., архитектор А. Н. Воронихин).

При коренной перестройке помещений Большого Эрмитажа, проведенной архитектором А. И. Штакеншнейдером в середине XIX в., также применялись кварциты шокшинского месторождения. Была создана парадная лестница с вестибюлем, украшенным восемью полированными колоннами из малинового кварцита, установленными на пьедесталах из белого итальянского (каррарского) мрамора. Малиновым кварцитом декорированы колонны и пилястры в двухсветном зале второго этажа [Зискинд, 1989]. Шокшинский порфир использовался и для убранства Зимнего дворца. В 1845 г. из него изготовлялись пьедесталы, которые должны были украшать это здание.

Истинную славу малиновый кварцит получил в 1847 г., когда Николай I дал разрешение на отбор его блоков для изготовления саркофага императора Франции Наполеона I, останки которого в 1840 г. были перевезены с острова Святой Елены в Париж и помещены в соборе Дома инвалидов. Проект усыпальницы разработан французским архитектором Луи Висконти в 1843 г. Продолжая традицию погребений великих римских императоров, он решил использовать для изготовления надгробия «красный порфир», который в те времена считался царским камнем и являлся символом знатности [Regeira, Marker, 2016]. Поиски практически зашли в тупик, когда в Париже получили несколько образцов ярко-малинового камня из России. Достоверно не установлено имя того человека, благодаря которому во Франции узнали о шокшинском порфире. Заключение о декоративных свойствах этой горной породы было дано известным французским геологом, профессо-

ром минералогии и геологии, действительным членом Французской Академии наук Пьером Луи Антуаном Кордые (1777–1861). Успокоенный его исследованиями, Луи Висконти решил послать в Россию миссию во главе с журналистом и литератором Луи Антуаном Леузон Ле Дюком, считавшимся в Париже знатоком Финляндии и России. Наделенный титулом «Глава миссии при дворах Финляндии и России» и значительной суммой денег, полученных от Л. Висконти, Леузон Ле Дюк летом 1846 г. отправился в Санкт-Петербург, где взял себе в помощь итальянского инженера Жана-Франсуа Бюатти, уже долгое время проживавшего в России [Туре, Булах, 2016]. Заплатив за доступ на аудиенцию к российскому императору 340 рублей серебром (1360 франков), они получили от него разрешение на разработку карьера, в результате которой были выбраны блоки малинового кварцита для дальнейшей отправки в Париж. Имеются некоторые расхождения в их количестве. Леузон Ле Дюк отмечает, что их было 15 [Léouzon le Duc, 1873]. В письме министру по прибытии во Францию Ж.-Ф. Бюатти указывает на 29 блоков. В русской литературе упоминают о 27 блоках. Их общий объем составил 38 м³, тогда как Л. Висконти заказывал 24 м³ [Туре, Булах, 2016]. Самая крупная глыба, предназначенная для карниза и крыши саркофага, весила 2400 пудов (около 39 тонн). Во французских газетах ошибочно было указано, что блоки «изсечены из добытого в Финляндии гранита» [Иванов, 1886].

С перевозкой камня возникли трудности, так как судно, приготовленное для этой цели, было разбито о скалы каменоломни свирепствовавшей 20–22 сентября 1847 года бурей. В октябре того же года судовладелец Ольшев, пренебрегая опасностью плавания по Онежскому озеру в глубокую осень, принял на себя перевозку блоков. Удержанное в пути противным ветром, судно вынуждено было остановиться на зимовку в реке Свирь и пришло в Кронштадт только в июле 1848 года, хотя во многих парижских газетах ошибочно сообщалось, что порфир был доставлен во Францию осенью 1847 года [Порфир..., 1848]. Уже в Кронштадте при помощи мощных кранов камень перегрузили на купеческое судно «Герман», управляемое шкипером (капитан торгового судна) Ларсеном. Оно вышло в путь 21 августа 1848 года и через некоторое время прибыло в Гавр. Далее ценный груз переправили по реке Сена в Париж, на Орсейскую набережную.

Сложности представляла и дальнейшая обработка камня. Процесс распила и полировки проходил крайне медленно из-за высокой



Рис. 4. Саркофаг Наполеона I в Доме инвалидов в Париже (фото: <https://uz.advisor.travel/poi/Tomb-of-Napoleon-21158/photos>)

Fig. 4. Napoleon's tomb in the House of Invalids, Paris (photo: <https://uz.advisor.travel/poi/Tomb-of-Napoleon-21158/photos>)

твердости породы. Изначально работы производились вручную: поверхность терли мокрым песком, а затем окончательно полировали при помощи бруска, изготовленного из металлического порошка. Распилы делались стальным лезвием в потоке воды с песком, иногда с добавлением наждака. Позже в этих целях начали применяться паровые машины. Сама же церемония перезахоронения останков Наполеона I состоялась в 1861 г., через 20 лет после начала работ по созданию усыпальницы в Доме инвалидов [Touret, Bulakh, 2016]. Из российских императоров только Николаю II удалось увидеть саркофаг, изготовленный из карельского камня (рис. 4).

Шокшинский порфир применялся и при создании интерьера Исаакиевского собора (строительство 1818–1858 гг.). Из него сделаны ступени и основание иконостаса, а также фриз, обрамляющий стены здания. В храме находится бюст архитектора Огюста Монферрана (1786–1858): из малинового кварцита выполнен его плащ.

На Исаакиевской площади Санкт-Петербурга расположен памятник Николаю I (строительство 1856–1859 гг., автор проекта О. Монферран, скульптор П. К. фон Клодт). Для изготовления его пьедестала использовали малиновый квар-

цит. Применение этой горной породы доставило множество хлопот, так как при ее обработке треснуло 20 блоков порфира, тогда как прежде в нем не было замечено ни малейших следов каких-либо повреждений. По поручению директора горного департамента генерал-адъютанта Чевкина причину «порчи камня» исследовал горный инженер, директор Горного института академик Императорской Санкт-Петербургской академии наук Г. П. Гельмерсен, посетивший с этой целью Шокшинское месторождение.

«При ближайшем рассмотрении оказалось, что кварцито-песчаник обладает двойной спайностью и, следовательно, уже от природы имеет склонность распадаться на параллелопипеды. Весьма естественно, что при окончательной обработке, при которой песчаник подвергался непрерывным ударам молотка и большей частью двух молотков разом и притом с двух противоположных сторон, происходило в нем сотрясение частиц также по двум противоположным направлениям; имея при этом, как мы выше сказали, склонность к распадению, он при этих обстоятельствах должен был раскалываться», – отмечает Г. П. Гельмерсен в своем труде «Геологическое исследование Олонецкого горного округа, произведенное в 1856, 1857, 1858 и 1859 годах» [Гельмерсен, 1860]. Это об-

стоятельство, очевидно, и явилось причиной появления в породе трещин и, как следствие, ее повреждения.

Малиновый кварцит не утратил своей славы и после установления в России Советской власти. Известным сооружением, в котором он нашел применение, стал мавзолей В. И. Ленина (строительство 1924–1930 гг., архитектор В. А. Щусев). «Камень из Шокши» использован при создании вершины пирамиды этого здания, из него же была изготовлена и надпись «ЛЕНИН».

В 1938 году эта горная порода была высоко оценена за рубежом на Международной выставке в Нью-Йорке [Осколков, 1984]. Полированная плита из того же камня, с высеченной на ней цитатой известного русского химика, минералога, геолога, академика Императорской академии наук В. М. Севергина, находится у входа в здание Минералогического музея имени А. Е. Ферсмана в г. Москве. Шокшинский кварцит использовался при строительстве станции метро «Бауманская» (архитектор Б. М. Ионофан) в столице нашей страны. На пилонах со стороны центрального зала имеются изготовленные из малинового кварцита вставки, между которыми установлены скульптуры защитников Родины и тружеников тыла времен Великой Отечественной войны

(рис. 5). В послевоенные годы «камень из Шокши» активно использовался при создании мемориальных ансамблей. Из него изготовлено надгробие на Могиле Неизвестного Солдата (строительство 1966–1967 гг.), расположенной у стен Московского Кремля в Александровском саду (рис. 6). Слева от могилы находится стена с надписью «Павшим за Родину 1941–1945», выполненная из того же природного материала, справа – блоки из малинового кварцита, хранящие урны с землей городов-героев.

Эта горная порода неоднократно использовалась для изготовления пьедесталов. На площади Свободы Вахитовского района г. Казани в 1954 году установлен памятник В. И. Ленину (авторы проекта П. П. Яцыно, А. И. Гегелло). Скульптура располагается на постаменте из малинового кварцита. В Московском парке Победы (г. Санкт-Петербург) находится памятник знаменитой русской балерине Галине Улановой, пьедестал которого создан из шокшинского кварцита (скульптор М. К. Аникушин).

Малиновый кварцит в архитектуре г. Петрозаводска

Малиновый кварцит не обойден строителями и архитекторами столицы Карелии. В начале



Рис. 5. Шокшинский кварцит в пилонах на станции метро «Бауманская» в Москве (фото: <http://www.metrowalks.com/ru/moscow/arbatsko-pokrovskaya/baumanskaya/1677>)

Fig. 5. Shoksha quartzite in the pylons at the Baumanskaya metro station, Moscow (photo: <http://www.metrowalks.com/ru/moscow/arbatsko-pokrovskaya/baumanskaya/1677>)



Рис. 6. Шокшинский кварцит в оформлении Могилы Неизвестного Солдата в Москве (фото: <http://www.metrowalks.com/ru/moscow/arbatsko-pokrovskaya/baumanskaya/1677>)

Fig. 6. Shoksha quartzite on the Grave of the Unknown Soldier, Moscow (photo: <http://www.metrowalks.com/ru/moscow/arbatsko-pokrovskaya/baumanskaya/1677>)

XX века он использовался в г. Петрозаводске для изготовления надгробий. На Неглинском кладбище города похоронен А. А. Бернацкий (1850–1925) – чиновник, действительный член Лесного общества в Санкт-Петербурге (1887 г.), и камень для его могилы выполнен из шокшинского кварцита. На могиле известного врача-офтальмолога, доктора медицины, Героя Труда И. А. Шехмана (1871–1939) установлена стела из той же горной породы (рис. 7).

Брусчаткой из малинового кварцита в послевоенные годы был выложен Первомайский проспект (рис. 8). В 1980-е годы ее сняли и часть камня направили для обустройства Онежской набережной города.

Еще один объект находится в самом центре площади Кирова (которая в прошлом называлась Соборной). До революции на этом месте возвышалась скульптура российского императора Александра II. К первой годовщине Октябрьской революции петрозаводские большевики сбросили с пьедестала статую царя. А после смерти русского революционера, советского государственного и политического деятеля С. М. Кирова (1886–1934) решился

вопрос с названием площади и фигурой, которая займет на ней центральное место. Памятник С. М. Кирову открыли 12 декабря 1936 г. (скульптор М. Г. Манизер). В 1942 г. он был снесен оккупационными властями и вывезен в Финляндию. После войны бронзовую скульптуру так и не вернули на историческую родину, и М. Г. Манизер изготовил ее копию. Памятник восстановлен в 1945 году, его пьедестал выполнили из шокшинского кварцита, но некоторые интернет-сайты ошибочно указывают, что он изготовлен из гранита.

Шокшинский кварцит украшает цоколь Петрозаводского государственного университета – ведущего учебного заведения Карелии (основан в 1940 году, до 1956 года – Карело-Финский государственный университет). Брусчатое дорожное покрытие из малинового кварцита выстилает вход в здание железнодорожного вокзала города, который был построен в 1953–1955 годах по проекту архитектора В. П. Ципулина в традициях позднего неоклассицизма. Из шокшинского кварцита изготовлен также постамент памятника К. Марксу и Ф. Энгельсу (угол проспекта К. Маркса и ул. Куйбы-



Рис. 7. Стела из шокшинского кварцита на могиле врача-офтальмолога И. А. Шехмана (фото: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Шехмани.А..jpg>)

Fig. 7. Stela made of Shoksha quartzite on the grave of I. A. Shekhman, an ophthalmologist (photo: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Шехмани.А..jpg>)

шева), открытие которого состоялось 10 мая 1960 года в связи с празднованием сорокалетия со дня образования Карельской Трудовой Коммуны (скульптор Е. И. Белостоцкий).

На площади Ленина, являющейся историческим центром города (первоначально она носила название Круглая площадь), 28 июня 1969 года был открыт мемориал на Могиле Неизвестного Солдата и зажжен Вечный огонь (авторы проекта архитекторы Э. Ф. Андреев, Э. В. Воскресенский, скульпторы Э. А. Акулов и Л. К. Давидян). Прямоугольная площадка мемориального комплекса сделана из малинового кварцита, дорожка выложена брусчаткой из того же камня. Подобную брусчатку мож-



Рис. 8. Брусчатка из малинового кварцита на Первомайском проспекте Петрозаводска (фото: <https://izi.travel/ru/5395-pervomayskiy-prospekt/ru>)

Fig. 8. Crimson quartzite used as paving stone on Pervomayskiy Avenue (photo: <https://izi.travel/ru/5395-pervomayskiy-prospekt/ru>)

но наблюдать и в одном из старейших парков Петрозаводска – Губернаторском (памятник ландшафтной архитектуры), расположенном в историческом центре города и ограниченном улицами Герцена, Гоголя, Заводской линией и Закаменским переулком.

Из шокшинского кварцита изготовлен пьедестал памятника И. И. Сенькину – советскому государственному деятелю, первому секретарю Карельского областного комитета КПСС. Памятник открыт в 2007 г. в сквере по ул. Титова (скульпторы Э. Григорян, Л. К. Давидян). Напротив находится здание Законодательного собрания Республики Карелия, вход в которое облицован полированными плитами шокшинского кварцита, а ступени сложены блоками, изготовленными из того же камня (рис. 9).

В 2014 году около Петрозаводского колледжа железнодорожного транспорта на ул. Анохина в память о железнодорожниках, погибших в годы Великой Отечественной войны, сооружен памятник «Вечная слава железнодорожникам», при создании которого также использован «камень из Шокши». В 2017 году на тер-



Рис. 9. Портал здания Законодательного собрания Республики Карелия (Петрозаводск)

Fig. 9. Portal of the Legislative Assembly of the Republic of Karelia, Petrozavodsk

ритории пожарно-спасательной части имени капитана внутренней службы Г. А. Семенова (ул. Правды) установили памятник пожарным и спасателям (скульптор Э. Григорян). Выбор материала вновь пал на шокшинский кварцит.

Заключение

На сегодняшний день шокшинский кварцит используется для производства брусчатки, футеровки для шаровых мельниц, изготовления декоративных облицовочных и ритуальных изделий, а также в ландшафтном дизайне. Разработка месторождения осуществляется ООО «Карьер «Шокшинский кварцит». Отбойка горной массы производится буровзрывным способом (методом скважинных зарядов на уступе высотой 4–9 м), разработка – вручную. Годовая мощность карьера по горной массе составляет около 2–3 тыс. м³, блоков – 50 м³, футеровки – 130 м³, мелющих тел для шаровых мельниц – 700 т, декоративного щебня – 1 тыс. м³ [Шокшинское...]. Общая себестои-

мость блока шокшинского кварцита составляет примерно 800 000 рублей за кубометр.

В работе представлен общий обзор использования шокшинского кварцита в архитектуре России, учитывающий разрозненные публикации. Показана история освоения месторождения этого природного камня. Впервые приводится описание памятников и архитектурных сооружений с использованием малинового кварцита в г. Петрозаводске. Приведена петрографическая характеристика породы, показаны текстурные особенности природного камня и на микрофотографии продемонстрировано облекание зерен кварца тонкими гематитовыми пленками, что обеспечивает красный и малиновый цвет кварцита.

Нас не перестает восхищать красота карельского камня [Шеков, 2006]. В. Соорег и ряд других авторов [Cooper et al., 2013] предлагают регистрировать природные камни, получившие широкое признание в человеческой культуре, в качестве объектов мирового и культурного наследия. Шокшинский кварцит вполне может

быть включен в данный список. Архитектурные сооружения, в которых представлена эта уникальная горная порода, остаются вечным памятником труду отечественных и зарубежных содчих.

Работа выполняется по теме НИР № 209 Института геологии КарНЦ РАН, № гос. рег. АААА-А18-118020290084-7.

Литература

Борисов П. А. Каменные строительные материалы Карелии. Петрозаводск: Карел. книж. изд-во, 1963. 367 с.

Булах А. Г. От вазы гранитной до двери дворца. Эльфдаленская порфиновая мануфактура и ее вазы в Петербурге. СПб.: СПбГУ, 2015. 125 с.

Гельмерсен Г. П. Геогностическое исследование Олонцкого горного округа, произведенное в 1856, 1857, 1858 и 1859 годах // Горный журнал. 1860. Кн. 12. С. 517–595.

Зембницкий Я. Г. О Шокшинских и Соломенских камнях // Труды Минералогического общества. 1830. Ч. I. С. 469–479.

Зискинд М. С. Декоративно-облицовочные камни. Л.: Недра, 1989. 255 с.

Иванов А. Тивдийские мраморные ломки (в Петрозаводском уезде) // Олонцкий сборник: материалы для истории, географии, статистики и этнографии Олонцкого края. Вып. 2 / Под ред. А. Иванова. Петрозаводск: Губ. тип., 1886. С. 1–41.

Комаров И. К. О строительных материалах Олонцкой губернии // Горный журнал. 1851. Ч. IV, № 10. С. 55–138.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия / Ред. В. П. Михайлова, В. Н. Анимова. Кн. 2. Не-

металлические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. Петрозаводск: Карелия, 2006. 356 с.

Осколков В. А. Облицовочные камни месторождений СССР. М.: Недра, 1984. 192 с.

Порфир для памятника Наполеону // Олонцкие губернские ведомости. Часть неофиц. 17 февраля 1848 г. № 7.

Тимофеев В. М. Каменные строительные материалы Прионежья. Ч. I. Кварциты и песчаники. Л.: АН СССР, 1927. 84 с.

Туре Ж., Булах А. Г. Из Шокши в Париж (история добычи, доставки и обработки камня для саркофага Наполеона) // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 10. С. 127–134. doi: 10.17076/geo446

Шеков В. А. Палитра карельского камня. Петрозаводск: Пакони, 2006. 96 с.

Шокшинское месторождение // Академик. Геологическая энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/5567/ (дата обращения: 16.07.2020).

Cooper B., Marker B. R., Pereira D., Schoenborg B. Establishment of 'The Heritage Stone Task Group' (HSTG) // Episodes. 2013. Vol. 36, no. 1. P. 8–10. doi: 10.18814/epiugs/2013/v36i1/002

Léouzon le Duc L. Le sarcophage de Napoleon en son tombeau des Invalides. Paris: Typ. Georges Chamerot, 1873. 44 p.

Pereira D., Marker B. The value of original natural stone in the context of architectural heritage // Geosciences. 2016. Vol. 6(1): 13. doi: 10.3390/geosciences6010013

Touret J. L. R., Bulakh A. G. The Russian contribution to the edification of the Napoleon tombstone in Paris // Вестник СПбГУ. Сер. 15. Искусствоведение. 2016. Вып. 4. С. 70–83. doi: 10.21638/11701/spbu15.2016.306

Поступила в редакцию 20.03.2020

References

Borisov P. A. Kamennye stroitel'nye materialy Karelii [Stone building materials of Karelia]. Petrozavodsk: Karel. knish. izd-vo, 1963. 367 p.

Bulakh A. G. Ot vazy granitnoi do dveri dvortsa. El'fdalenskaya porfirovaya manufaktura i ee vazy v Peterburge [From a granite vase to a palace door. Alvdalen porphyry manufactory and its vases in St. Petersburg]. St. Petersburg: SPbGU, 2015. 125 p.

Gel'mersen G. P. Geognosticheskoe issledovanie Olonetskogo gornogo okruga, proizvedennoe v 1856, 1857, 1858 i 1859 godakh [Geognostic study of the Olonets mining district, carried out in 1856, 1857, 1858 and 1859]. *Gornyi zhurn.* [Mining J.]. 1860. B. 12. P. 517–595.

Ivanov A. Tivdiiskie mramornye lomki (v Petrozavodskom uезде) [Tivdia marble quarries (in the Petrozavodsk District)]. *Olonetskii sbornik: mat. dlya istorii, geografii, statistiki i etnografii Olonetskogo kraja* [Olonets collection: materials for history, geography, statistics, and ethnography of the Olonets region]. Iss. 2. Ed. A. Ivanov. Petrozavodsk: Gub. tip., 1886. P. 1–41.

Komarov I. K. O stroitel'nykh materialakh Olonetskoi gubernii [On building materials of the Olonets province]. *Gornyi zhurn.* [Mining J.]. 1851. Pt. IV, no. 10. P. 55–138.

Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya [Mineral resource base of the Republic of Karelia]. T. 2. Nemetallicheskie poleznye iskopaemye. Podzemnye vody i lechebnye gryazi [Vol. 2. Non-metallic minerals. Groundwater and medicinal mud]. Eds. V. P. Mikhailova, V. N. Animova. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. 356 p.

Oskolkov V. A. Oblitsovochnye kamni mestorozhdenii SSSR [Facing stones of deposits in the USSR]. Moscow: Nedra, 1984. 192 p.

Porfir dlya pamyatnika Napoleonu [Porphyry for the monument to Napoleon]. *Olonetskie gubernskie ведомosti. Chast' neofitsial'naya* [Olonets Provincial Gazette. Informal part]. Feb. 17, 1848. No. 7.

Shekov V. A. Palitra karel'skogo kamnya [Palette of Karelian stones]. Petrozavodsk: Pacony, 2006. 96 p.

Shokshinskoie mestorogdenie [Shoksha deposit]. *Akademik. Geol. encyclopedia* [Academician. Geol. en-

cyclopedia]. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/5567/ (accessed: 16.07.2020).

Timofeev V. M. Kamennye stroitel'nye materialy Prionezh'ya. Pt I. Kvartsity i peschaniki [Stone building materials of Prionezhie. Part I. Quartzites and sandstones]. Leningrad: AN SSSR, 1927. 84 p.

Ture Z. H., Bulah A. G. Iz Shokshi v Parizh (istoriya dobychi, dostavki i obrabotki kamnya dlya sarkofaga Napoleona) [From Shoksha to Paris (history of mining, delivery and processing of stone for Napoleon's sarcophagus)]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 10. P. 127–134. doi: 10.17076/geo446

Zembnitskii Ya. G. O Shokshinskikh i Solomenskikh kamnyakh [On Shoksha and Solomensky stones]. *Trudy Mineralogicheskogo obshch.* [Proceed. Mineralogical Soc.]. 1830. Pt I. P. 469–479.

Ziskind M. S. Dekorativno-oblitsovochnye kamni [Decorative facing stones]. Leningrad: Nedra, 1989. 255 p.

Cooper B., Marker B. R., Pereira D., Schoenborg B. Establishment of “The Heritage Stone Task Group” (HSTG). *Episodes*. 2013. Vol. 36, no. 1. P. 8–10. doi: 10.18814/epiugs/2013/v36i1/002

Léouzon le Duc L. Le sarcophage de Napoleon en son tombeau des Invalides. Paris: Typ. Georges Chamerot, 1873. 44 p.

Pereira D., Marker B. The value of original natural stone in the context of architectural heritage. *Geosciences*. 2016. Vol. 6(1): 13. doi: 10.3390/geosciences6010013

Touret J. L. R., Bulakh A. G. The Russian contribution to the edification of the Napoleon tombstone in Paris. *Vestnik SPBU. Ser. 15. Iskusstvovedenie* [Vestnik of St. Petersburg Univ. Ser. 15. Arts]. 2016. Vol. 4. P. 70–83. doi: 10.21638/11701/spbu15.2016.306

Received March 20, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Рахманова Александра Валентиновна

младший научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: tarare@yandex.ru
тел.: (8142) 783471

CONTRIBUTOR:

Rakhmanova, Alexandra

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: tarare@yandex.ru
tel.: (8142) 783471

ХРОНИКА

НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЮШКИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2020» И XIII РОССИЙСКИЙ СЕМИНАР ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ (Сыктывкар, 7–10 декабря 2020 г.)

В декабре 2020 г. в Сыктывкаре на базе Института геологии Коми НЦ УрО РАН состоялась Российская конференция с международным участием «Современные проблемы теоретиче-

ской, экспериментальной и прикладной минералогии» (Юшкинские чтения – 2020), организованная Министерством науки и высшего образования РФ, Российским минералогическим обществом, ФИЦ «Коми научный центр УрО РАН», Институтом геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН имени акад. Н. П. Юшкина.

Председатель оргкомитета академик А. М. Асхабов (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) выступил на открытии с приветственным словом. В состав Программного комитета под председательством чл.-корр. РАН, президента РМО Ю. Б. Марина вошли авторитетные ученые России и зарубежья в области наук о Земле: В. Н. Анфилов, чл.-корр. РАН, ИМ УрО РАН, Миасс, Россия; А. А. Богдасаров, д. г.-м. н., Белорусское географическое общество, Брест, Беларусь; Н. С. Бортников, академик РАН, ИГЕМ РАН, Москва, Россия; С. Л. Вотяков, академик РАН, ИГиГ УрО РАН, Екатеринбург, Россия; Ю. Л. Войтеховский, д. г.-м. н., Санкт-Петербургский горный университет, Россия; Л. Гёмзе, проф., д-р, Университет Мишкольца, Венгрия; Ф. Донг, проф., Юго-Западный университет науки и технологии, Миньянг, Китай; Д. В. Камашев, к. г.-м. н., ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; Р. И. Костов, проф., Университет горного дела и геологии, Болгарское минералогическое общество, София, Болгария; Е. Н. Котельникова, д. г.-м. н., Санкт-Петербургский госуниверситет, Россия; Ш. Ли, д-р, Пекинский геологический университет, Китай; В. Мареш, проф., д. г.-м. н., Институт





С докладом на пленарном заседании выступает академик А. М. Асхабов

геологии, минералогии и геофизики Бохумского университета, Германия; М. Мартинс, проф., Федеральный университет штата Минас-Жерайс, Бразилия; Ф. Мен, д-р, Институт геологии Китайской АН, Пекин, Китай; Ж. К. Мелгарехо, проф., факультет геологии Университета Барселоны, Испания; Е. Г. Ожогина, д. г.-м. н., ВИМС, Москва, Россия; В. А. Попов, д. г.-м. н., ИМ УрО РАН, Миасс, Россия; В. И. Ракин, д. г.-м. н., ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктыв-

кар, Россия; Ф. Роча, проф., Университет Авейро, Португалия; Ш. Сан, проф., Юго-Западный университет науки и технологии, Миньянг, Китай; В. И. Силаев, д. г.-м. н., ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; Н. В. Соболев, академик РАН, ИМП СО РАН, Новосибирск, Россия; Е. Тиллманнс, проф., Институт минералогии и кристаллографии Венского университета, Австрия; Э. Чифчи, проф., Стамбульский технический университет, Турция; В. С. Шац-



Пленарный доклад д. г.-м. н. В. И. Ракина. Слева – сопредседатель пленарного заседания д. г.-м. н. Д. А. Варламов



Пленарный доклад д. г.-м. н. В. В. Щипцова

кий, академик РАН, ИМП СО РАН, Новосибирск, Россия; Т. Г. Шумилова, д. г.-м. н., ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; В. В. Щипцов, д. г.-м. н., ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия; Я. Э. Юдович, д. г.-м. н., ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия.

Мероприятие проведено при поддержке РФФИ, проект № 20-05-20023. Сотрудники Института геологии КарНЦ РАН представили на конференцию один пленарный доклад, один секционный (онлайн) и семь стендовых.

7 декабря на утреннем заседании были заслушаны пленарные доклады:

Марин Ю. Б. Теоретические и эмпирические подходы в минералогии и использование минералогических законов и правил при решении проблем петро- и рудогенеза (онлайн).

Асхабов А. М. Неклассические механизмы зарождения и роста кристаллов в современной кристаллогенетической повестке.

Войтеховский Ю. Л. Алгебраические концепции, применимые к описанию горных пород: топологические и метрические пространства, пространственно распределенные случайные функции (онлайн).

Силаев В. И., Филиппов В. Н., Хазов А. Ф., Макеев А. Б., Юханов П. П. Система черновита: новый взгляд через полвека после открытия минерала.

Котова О. Б. Минералогическое геоматериаловедение: акценты академика Н. П. Юшкина и новые вызовы.

9 декабря на пленарной сессии состоялись выступления со следующими докладами:

Кривовичев С. В. Полиморфизм полевых шпатов: разнообразие, сложность, стабильность (онлайн).

Томас В. Г., Фурсенко Д. А., Гаврюшкин П. Н. Исследования регенерации монокристаллических шаров: противоречия с существующими положениями (онлайн).

Ракин В. И. Термодинамика растущего кристалла.

Голубев Е. А. Микро- и нанодисперсное состояние некристаллического минерального вещества: структура, свойства, методы.

Щипцов В. В., Войтеховский Ю. Л. История и уроки освоения промышленных минералов Карело-Кольского региона.

К конференции изданы материалы «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии». В выпуске рассматриваются фундаментальные проблемы генетической минералогии и кристаллографии, наноминералогии и биоминералогии. Широко представлены материалы по актуальным вопросам рационального использования минерального сырья и экспериментального моделирования процессов минералообразования. Большое внимание уделено минералогии месторождений полезных ископаемых.

Онлайн-трансляция конференции проходила на платформе Youtube на канале ИГ Коми НЦ УрО РАН (<https://www.youtube.com/channel/UCRF5FqE1KnY2m0MB7N0Rorg>).

В рамках общей программы конференции состоялся XIII Российский семинар по технологической минералогии. Необычный формат

семинара был продиктован обстоятельствами, связанными с COVID-19. Во вступительном слове председатель Комиссии по технологической минералогии В. В. Щипцов подчеркнул, что бюро комиссии с большой благодарностью приняло решение оргкомитета конференции «Юшкинские чтения – 2020» о включении данного мероприятия в общую программу. Организаторами семинара стали Российское минералогическое общество, Комиссия по технологической минералогии РМО, Институт геологии Коми НЦ УрО РАН и Институт геологии КарНЦ РАН. Семинары по технологической минералогии проходили в Белгороде, Казани, Магнитогорске, Москве, Петрозаводске, Санкт-Петербурге, Сыктывкаре. Следует напомнить, что V семинар состоялся Сыктывкаре в 2010 году. Большое внимание к этому событию было проявлено со стороны Николая Павловича Юшкина. На протяжении нескольких лет в 1990-е годы академик Юшкин входил в состав Комиссии по технологической минералогии.

На семинаре 2020 г. председатель Комиссии В. В. Щипцов от имени бюро представил обширный пленарный доклад на тему «Технологическая минералогия во всем пространстве» (соавторы О. Б. Котова, Е. Г. Ожогина, Б. И. Пирогов). С онлайн-докладами выступили Е. Светова (в соавт.; ИГ КарНЦ РАН, ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ПетрГУ), П. Фролов (в соавт.; ИГ КарНЦ РАН, ООО «Онего-Золото»), В. Кевлич (в соавт.; ИГ КарНЦ РАН), Т. Бубнова (в соавт.; ИГ КарНЦ РАН), А. Чертов (в соавт.; Университет ИТМО), Д. Белобородов (в соавт.; Геофизическая лаб. «Борок», ИФЗ РАН), О. Еремина (в соавт.; НПК «Механобр-техника»), О. Корнейчик (ООО «Техноинфо»). С. Кияшко (в соавт.; ООО «4–8») представила доклад в очном формате. Отмечено более 180 просмотров онлайн-трансляции семинара на Youtube.

С полным правом можно определить, что технологическая минералогия объединяет геолого-минералогические и технологические исследования:

1. В настоящее время технологическая минералогия занимает позицию самостоятельной дисциплины, служащей мостом между геологией рудопроявлений и месторождений и методами переработки минерального сырья с целью получения конечного продукта. Изучается взаимосвязь состава, структуры, физических свойств и генетических особенностей минерального вещества с его технологическими свойствами, что определяет технологическую оценку минерального сырья.



Труды конференции

2. Все эти данные влияют на особенности дезинтеграции и подготовки минерального сырья к обогащению, выбор оптимальных вариантов раскрытия минералов в процессах дробления и измельчения, роль направленного изменения физических свойств минеральных компонентов, т. е. определяется научная основа управления качеством сырья, выбора материалов, реагентов.

3. В этой цепочке последовательно обосновываются физические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов природного и техногенного происхождения, что дает возможность принимать правильные решения по обезвоживанию, окускованию, брикетированию, транспортированию и складированию полезных ископаемых и продуктов их обогащения.

4. Актуальным становится вопрос, как не дробить, не обогащать и не добывать ничего лишнего.

За четыре дня работы научных мероприятий продемонстрировано удачное сочетание очных заседаний с онлайн-докладами в сложной обстановке декабря 2020 года.

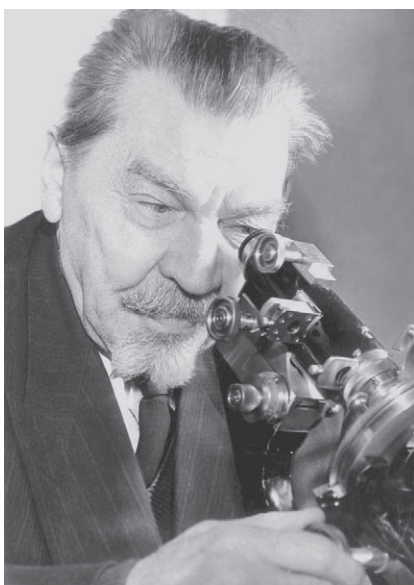
ЮБИЛЕИ И ДАТЫ

60 ЛЕТ ИНСТИТУТУ ГЕОЛОГИИ КарНЦ РАН

В **1946 г.** на специальном совещании в Академии наук СССР руководитель горнорудной секции Ленинградского геологического управления комитета по геологии СССР Петр Алексеевич Борисов выступил с сообщением о минерально-сырьевых ресурсах Карелии и Мурманской области. В том же году по его инициативе в только что созданной Карело-Финской научно-исследовательской базе АН СССР появился отдел геологии. Монографии П. А. Борисова «Керамические пегматиты Карело-Финской ССР» (1948), «Керамические пегматиты и их заменители» (1954) и «Карель-

ские шунгиты» (1956) сыграли важную роль в оценке минерально-сырьевой базы Карелии. Всю свою творческую энергию ученый направлял на изучение недр этого региона. Неслучайно геологи края называют его «отцом карельской геологии».

К концу **1960 г.** назрела задача преобразования к тому времени уже двух отделов в Институт геологии. Профессор П. А. Борисов с коллегами готовят проект постановления, принятого затем Президиумом АН СССР. В нем говорится: «В целях усиления и расширения научно-исследовательских работ по геологии



П. А. Борисов, директор Института геологии, 1961 г.



К. О. Кратц, директор Института геологии с 1962 по май 1966 г.



В. А. Соколов, директор Института геологии в 1966–1978 и 1984–1986 гг.

и технологическому использованию минеральных богатств КАССР организовать в январе 1961 г. Институт геологии». 18 мая 1961 г. выходит приказ по Карельскому филиалу Академии наук СССР (КФ АН СССР), в котором говорится, что во исполнение Постановления Президиума АН СССР и Приказа по КФ АН СССР на базе существующих в филиале отдела петрографии и минералогии и отдела региональной геологии с их подразделениями организуется Институт геологии. Определилась и структура института. Она включала отдел региональной геологии (заведующий В. А. Соколов), отдел минералогии и петрографии (заведующий К. О. Кратц), отдел четвертичной геологии и геоморфологии (заведующая Г. С. Бискэ), отдел минерального сырья с группой экономики и лабораторией минерального сырья (заведующий П. А. Борисов), химико-аналитическую лабораторию с группами химического анализа, спектрального анализа, рентгеноскопии, шлихового анализа и механического разделения минералов (заведующий В. А. Ахвонен), а также геологический музей (В. Н. Юдин). В штате института числился 51 человек, в том числе 25 научных сотрудников и 26 научно-технических. Из них два доктора наук (П. А. Борисов и Г. С. Бискэ) и восемь кандидатов (А. И. Богачев, Л. П. Галдобина, К. О. Кратц, В. А. Соколов, О. А. Рийконен, В. И. Робонен, М. А. Тойкка, Г. П. Филинцев). Вместе с ними в институте продолжили работать сотрудники отделов Т. М. Брагина, Р. В. Бутин, В. Я. Горьковец, Н. Н. Горюнова, Г. Ц. Лак, Н. Ф. Демидов, В. А. Доильница, Е. Ф. Дюккиев, Г. Д. Епишина, К. А. Инина, Ю. К. Калинин, Г. И. Капустина, В. И. Коросов, Ю. И. Лазарев, Г. А. Лебедева, А. Д. Лукашов, В. Я. Мейльбаум, З. Т. Митрофанова, М. Б. Раевская, Г. П. Сафронова, Ю. И. Сацук, М. М. Стенарь, Н. Д. Сыромятина, Н. В. Укконен, К. И. Хейсканен, В. М. Чернов, а также работники хозяйственно-технического направления. В конце года пришло серьезное кадровое пополнение – Е. Ф. Белоусов, Э. С. Васильева, Н. А. Горбик, Н. А. Грабецкая, Г. М. Кононова, Р. С. Мельянцева, А. С. Пекки, А. В. Рылеев, В. Д. Слюсарев, В. Н. Юдин. Директором института назначается П. А. Борисов. В разные периоды временно исполняли обязанности директора М. М. Стенарь, А. С. Пекки, К. И. Хейсканен.

1961 г. 2 июля проходит первая научная сессия в стенах института – «Закономерности размещения полезных ископаемых на территории Карелии». Председатель оргкомитета – проф. П. А. Борисов. На этой сессии были представлены доклады ученых института Г. С. Бискэ, В. А. Соколова, В. И. Робонена,

Л. П. Галдобиной. С двумя докладами выступил профессор П. А. Борисов – о проектируемых центрах камнедобывающей промышленности Карелии и о новых видах сырья для электрокерамической и абразивной промышленности.

В этом же году по личной просьбе П. А. Борисов освобождается от должности директора института, оставаясь в возрасте 84 лет заведующим отделом минерального сырья.

1962 г. 11–19 июня под эгидой Госгеолкома СССР, АН СССР и Института геологии КФ АН СССР проходит 1-е рабочее совещание по литологии докембрийских метаморфических толщ. К началу совещания опубликованы тезисы докладов, а также путеводитель (авт. Р. В. Бутин, Л. П. Галдобина, В. И. Горлов, О. А. Рийконен, В. А. Соколов).

В середине года директором института назначается молодой талантливый ученый, кандидат геолого-минералогических наук К. О. Кратц, который вскоре защищает докторскую диссертацию на тему «Геология карелид Карелии».

1966 г. В московском издательстве «Недра» выходит в свет очередной том сборника «Геологическая изученность СССР» – «Т. 2. РСФСР. Карельская АССР. Период 1941–1950. Вып. 1. Опубликованные работы» (ред. кол. Г. С. Бискэ, М. С. Зискинд, А. С. Огородников; отв. редактор В. И. Робонен; сост. В. И. Робонен и А. И. Светова).

1971 г. В июне этого года крупным событием стала международная конференция по тектонике докембрия восточной части Балтийского щита и геологические экскурсии по Карелии. Напутствовал участников академик Д. В. Наливкин. Весьма представительными выглядели делегации иностранных специалистов из многих стран мира – США, Канады, Бразилии, Франции, Великобритании, Испании, Норвегии, Финляндии, Швеции и других. С советской стороны принимали участие крупнейшие ученые-геологи страны – А. А. Богданов, В. Е. Хаин, М. В. Муратов, Л. И. Салоп, С. С. Шульц и др. На русском и английском языках издан «Путеводитель геологической экскурсии по Карелии к международной конференции по тектонике восточной части Балтийского щита» (Петрозаводск, 1971).

Открыто Карельское отделение Всесоюзного минералогического общества в г. Петрозаводске при Институте геологии. Первым председателем Совета Карельского ВМО избран к. г.-м. н. А. Б. Наливкин. В составе отделения было 103 действительных члена – в основном сотрудники Института геологии Карельского

филиала АН СССР и Карельской комплексной геологической экспедиции.

Подготовлено Постановление Совмина СССР от 04.01.1972 г., указавшее на «необходимость комплексного исследования углеродсодержащих нерудных полезных ископаемых Карелии – шунгитов, прогнозные запасы которых достигают сотен миллионов тонн». Институт геологии определен ведущей организацией страны в этом направлении.

1972 г. В Москве проводится первое заседание советско-финляндской рабочей группы по научно-техническому сотрудничеству в области геологии, сыгравшее большую роль в установлении и развитии контактов между геологами института и коллегами из Финляндии.

Формируется комплексная научная экспедиция по изучению Костомукшского района. Начальником экспедиции назначен заведующий отделом водных проблем КФ АН СССР И. М. Нестеренко, научным руководителем – геоморфолог Г. С. Бискэ. В экспедиции приняли участие сотрудники двадцати научных лабораторий и секторов филиала. Работы проводились в тесном контакте с Гипрорудой, Ленгипротрансом, Карельской комплексной геологоразведочной экспедицией, Госпланом КАССР и другими организациями. Ведущая роль в исследовании природных ресурсов района Костомукши принадлежала Институту геологии. Основные работы велись в полевые сезоны с 1972 по 1974 г. В начале 1975 г. был представлен полный отчет по материалам комплексных исследований. Работа экспедиции помогла ускорить сроки проектирования и строительства Костомукшского горно-обогатительного комбината и города Костомукши. Комплексная оценка природных ресурсов и направлений их рационального использования учтена при проработке перспективных планов социально-экономического развития территориально-промышленного комплекса. За экспозицию «Изучение геологии и железных руд Костомукшского месторождения» Главный комитет ВДНХ СССР в 1975 г. наградил Институт геологии дипломом первой степени. Наибольший вклад в исследование геологии и прогнозную оценку запасов железных руд района Костомукши внесли сотрудники института В. М. Чернов (руководитель), В. Я. Горьковец, К. А. Инина, Ю. И. Лазарев, М. Б. Раевская, В. Н. Кожевников, Е. Ф. Белоусов.

1974 г. Состоялась выездная сессия Отделения геологии, геохимии и геофизики АН СССР. В работе сессии принимали участие академики В. И. Смирнов, Д. С. Коржинский, А. Л. Яншин, М. А. Садовский, Ф. В. Чух-

ров, члены-корреспонденты А. И. Тугаринов, К. О. Кратц, Г. И. Горбунов. Заседания чередовались с экскурсиями. Институт выдержал экзамен на зрелость. Один из важных моментов расширенной сессии можно определить словами академика В. И. Смирнова в статье по итогам работы: «В процессе изучения докембрийских толщ было обращено внимание на прослоенные осадками тела магматического происхождения, большую часть которых ранее относили к глубинно-магматическим или интрузивным образованиям. В ходе дальнейших работ были обнаружены серии застывших лавовых потоков, которые имели различную мощность, неоднородное площадное и стратиграфическое распространение. Применение вулканологических методов позволило определить направления течения лавы и в конечном итоге привело к открытию древнейших на Земле вулканических аппаратов. Вулканические жерла в докембрии – это логический результат целеустремленного геологического поиска. Так возникла новая ветвь в геологии – палеовулканология докембрия».

1978 г. В марте на базе лабораторий минералогии, геохимии и металлогении; литологии и палеовулканологии; геологии и разведки слюды созданы: лаборатория литологии и биостратиграфии (руководитель В. А. Соколов); лаборатория магматизма и палеовулканологии (заведующий А. П. Светов); лаборатория геохимии и минералогии (заведующий В. С. Куликов); лаборатория металлогении (заведующий А. И. Богачев).

1981 г. В Петрозаводске прошел международный симпозиум «Осадочная геология глубоко метаморфизованных комплексов докембрия». На русском и английском языках издан путеводитель геологической экскурсии.

1984 г. В августе В. С. Куликов, А. С. Пекки, Л. П. Свириденко, С. И. Рыбаков, В. А. Соколов, М. М. Стенарь, Р. А. Хазов, К. И. Хейсканен принимали участие в работе 27-го Международного геологического конгресса в Москве. Доклады участников опубликованы в Трудах XXVII сессии МГК. В Карелии состоялись две геологические экскурсии для участников МГК. К экскурсиям подготовлен и издан путеводитель «Геологическая экскурсия по Карелии. Geological fieldtrips in Karelia». Этот путеводитель вошел в раздел «Северо-Запад РСФСР» «Сводного путеводителя экскурсий XXVII сессии МГК» (М.: Наука, 1984).

В Пудожском районе открыто крупное Аганозерское месторождение хромитовых руд. Честь открытия месторождения принадлежит сотрудникам лаборатории геодинамики



Верхний ряд – Г. С. Бискэ, К. А. Инина, Н. Ф. Демидов, В. М. Чернов, Г. П. Сафронова; средний ряд – К. О. Кратц, Г. Ц. Лак, В. И. Робонен, В. А. Соколов, М. М. Стенарь; нижний ряд – Н. Н. Горюнова, А. И. Богачев, Р. В. Бутин, В. Я. Мейльбаум



Лаборатория литологии и стратиграфии, 1968 г. Л. П. Галдобина, А. И. Голубев, Г. М. Кононова, К. И. Хейсканен, Ю. И. Сацук, В. А. Соколов



Сотрудники лаборатории региональной геологии, 1969 г. Слева направо: сидят – С. И. Рыбаков, Н. Ф. Демидов, В. И. Робонен (зав. лабораторией), А. И. Светова; стоят – Н. В. Мельянцев, В. И. Коросов, М. А. Елисеев и Г. М. Кириленко



10 лет лаборатории технологии силикатов, 1972 г.



Лаборатория химического анализа, 1974 г.



Поселок геологов. На фото: лежит – А. Индюков; нижний ряд – В. М. Чернов, Р. С. Егорова (Мельянцева), В. Я. Горьковец, студент Пяткин; верхний ряд – С. Николаевский, Г. А. Свирская (Лебедева), В. И. Коросов, К. А. Инина, Ю. И. Лазарев; стоят – студент и В. И. Робонен



В. Д. Слюсарев, В. С. Куликов и житель деревни Калгачиха, 1965 г.



Около 50 преподавателей и выпускников геологического факультета ПетрГУ стали основой Института геологии Карельского филиала АН СССР. Выпускники ПетрГУ (1946–1960 гг.) – сотрудники института, 1970 г. Слева направо: сидят – В. М. Чернов, К. А. Инина, Н. В. Мельянцев, М. Г. Попов, Л. П. Галдобина, Л. С. Голованова, А. И. Светова, Т. К. Кулмала; стоят – Е. Ф. Белоусов, В. Д. Слюсарев, Е. В. Нефедов, А. С. Гришин, В. И. Робонен, К. И. Хейсканен, А. В. Рылеев, М. М. Стенарь, В. Н. Юдин, А. С. Пекки, В. А. Соколов, А. П. Светов, В. А. Ильин, Н. Ф. Демидов, Ю. И. Сацук



Обсуждение результатов исследований на Беломорье в лаборатории метаморфической петрологии Института геологии Карельского филиала АН СССР, 1976 г. На фото: стоит – М. М. Стенарь (зав. лабораторией), за столом слева направо – О. И. Володичев, Н. Е. Король, В. В. Щипцов, В. С. Степанов, Ю. Й. Сыстра, А. К. Карпова, Л. А. Тихонович (Мальшева), Н. И. Щипцова (Скорнякова), Л. Е. Рэбо



Участники 27-го Международного геологического конгресса в Москве, август 1984 г. Слева направо: С. И. Рыбаков, В. А. Соколов, В. С. Куликов, М. М. Стенарь, Р. А. Хазов, А. С. Пекки, К. И. Хейсканен



С. И. Рыбаков, директор Института геологии в 1987–2000 гг.



В. В. Щипцов, директор Института геологии в 2001–2016 гг.



С. А. Светов, директор Института геологии с 2017 г.



Закрытие американско-советско-канадского семинара Precambrian Geology of the Southern Canadian Shield and the Eastern Baltic Shield. Дулут, 23 августа 1990 г.

и металлогении Института геологии КФ АН СССР М. М. Лаврову и Н. Н. Трофимову. Первые сведения о наличии хромовой руды в Пудожском районе получены Карельской комплексной геологоразведочной экспедицией в 1956 г. С 1996 г. проводится геологическое изучение месторождения. Месторождение расположено в южной части Бураковского массива. Главный хромитовый горизонт вытянут в меридиональном направлении на 8 км, ширина его 1,5–3 км. Максимальная глубина залегания горизонта – 670 м, мощность пласта – от 1,4 до 5,4 м. Руды месторождения содержат также соединения железа, алюминия, платину и платиноиды (около 1,23 г/т) и золото (до 4,5 г/т). В результате лабораторно-технологических исследований разработана магнито-гравитационная схема обогащения руды. По сумме оцененных запасов Аганозерское месторождение сравнимо с месторождением Кеми в Финляндии, успешно разрабатываемым компанией «Оутокумпу».

1985 г. Создается лаборатория геологии и технологии неметаллов на базе трех лабораторий (керамических материалов, природного и технического камня, технологии мусковита). Заведующим избран по конкурсу В. В. Щипцов, сложивший с себя полномочия ученого секретаря института.

1988 г. С. И. Рыбаков стал руководителем лаборатории геодинамики и металлогении.

Благодаря инициативе и активным действиям Ю. К. Калинина создается научно-производственная компания «Карбон-Шунгит». Ю. К. Калинин становится генеральным директором этой компании. Заведующим лаборатории шунгитов назначается, а затем избирается по конкурсу Е. Ф. Дюккиев.

1990 г. Проводятся совместный семинар в Миннесотском университете США и полевые экскурсии в районе Онтарио на территории США и Канады по проекту «Геология докембрия Канадского щита и Балтийского щита». Начался настоящий прорыв в отношениях между американскими, канадскими и карельскими геологами. Мероприятие (семинар и геологические экскурсии) проходило с 21 августа по 2 сентября 1990 г. От Института геологии в нем участвовали В. С. Куликов, М. М. Стенарь, А. И. Голубев, Л. В. Кулешевич, П. В. Медведев, А. П. Светов, А. И. Слабунов, Г. Н. Соколов, Р. А. Хазов, К. И. Хейсканен, В. В. Щипцов. От Геологического института КНЦ РАН участвовал Ф. П. Митрофанов. Координаторы проекта – профессор Миннесотского университета Ричард Оякангас и главный геолог Геологической службы Онтарио (Канада) Кен Кард. Все участники выступа-

ли с докладами на семинаре в г. Дулуте. Организаторы: Национальный научный фонд США (NSF-INT-90000365), Геологическая служба Канады, Университет Миннесоты, Геологический факультет Миннесотского университета (Дулут), Геологическая служба Онтарио, АН СССР, Фонд Сороса. Таким образом, состоялось, по выражению А. П. Светова, «геологическое открытие Северной Америки». В США издан сборник докладов американско-советско-канадского семинара – Precambrian Geology of the Southern Canadian Shield and the Eastern Baltic Shield // USA – USSR – Canada Joint Seminar, August 21–23, 1990, Duluth, Minnesota, University of Minnesota, St. Paul, 1991.

1991 г. Сотрудники института участвуют в работе Всесоюзного совещания «Стратиграфия архея и нижнего протерозоя СССР» (г. Уфа). На совещании представлен основной доклад «Стратиграфия протерозоя Карельского региона» (авторы К. И. Хейсканен, В. И. Робонен, А. П. Светов, Л. П. Галдобина, В. И. Коросов, В. С. Куликов, В. В. Макарихин, Ю. И. Сацук).

1993 г. Международным коллективом геологов издана карта «Четвертичные отложения Финляндии и Северо-Запада Российской Федерации и их минеральные ресурсы. Масштаб 1:1 000 000» (Хельсинки, 1993). В числе соавторов сотрудники института А. Д. Лукашов, И. М. Экман, В. А. Ильин, Л. И. Гутаева.

В Петрозаводске прошла международная конференция «Индустриальные минералы Балтийского (Фенноскандинавского) щита и новые технологии». Среди участников – геологи из Финляндии, Болгарии, Китая, Великобритании, Норвегии. К началу конференции издана книга «Precambrian Industrial Minerals of Karelia» (ред. В. Щипцов; пер. на англ. Г. Н. Соколов. Петрозаводск, 1993).

1995 г. Совместные с Геологической службой Финляндии испытания по оценке щебня из действующих карьеров Карелии по Евростандартам в рамках проекта BISTRO-TACIS (BIS 95/312/046). При финансовой поддержке данного проекта в Петрозаводске организована международная конференция «Малый горный бизнес на северо-западе России и международный опыт». В ней приняли участие специалисты из Болгарии, Германии, Великобритании, Финляндии, Франции. Опубликованы материалы конференции (на русском и английском языке). По окончании проекта финская сторона передала в дар институту дробильно-измельчительное оборудование.

1996 г. К 50-летию Карельского научно-го центра РАН состоялась юбилейная научная сессия.

1997 г. ОГГГН РАН определены проблемные направления Института геологии в 1997 году:

- изучение геологического строения и выяснение фундаментальных закономерностей геологических процессов в докембрии; создание модели развития литосферы юго-восточной части Балтийского щита и прилегающих регионов;
- изучение закономерностей размещения и условий образования полезных ископаемых и создание научных основ развития горнопромышленного комплекса Карелии;
- исследование новых видов минерального сырья;
- изучение закономерностей геологических процессов в четвертичном периоде как основы функционирования палео- и современных экологических систем, участие в разработке предложений по охране окружающей среды.

Началась подготовка кадров геолого-геофизического направления в рамках ФЦП «Интеграция» на созданной по инициативе Института геологии базовой кафедре специалистов в области геофизики (с 1997 г.) и геологии (с 2002 г.) в соответствии с Договором о сотрудничестве и совместной деятельности между ПетрГУ и ИГ КарНЦ РАН. В настоящее время подготовка проводится по направлению 05.03.01 бакалавриата на кафедре наук о Земле и геотехнологий. Занятия по специальным дисциплинам проводят сотрудники института. За этот период подготовлено более 250 специалистов в области геологии и геофизики.

1998 г. По инициативе С. И. Рыбакова начато регулярное издание сборника научных статей «Геология и полезные ископаемые Карелии». В 2016 году вышел последний, 18-й выпуск.

2000 г. Завершены исследования по международному проекту «Реконструкция изменений окружающей среды на Северо-Западе России за последние 15 тыс. лет», начавшиеся в 1996 г. Сотрудники института принимают участие в исследованиях по договору с ГСФ, Университетами г. Лунда и г. Стокгольма (Швеция). В результате установлена значительная роль крупных (сотни кв. метров) останцов мертвого, частично погребенного льда, существовавших на протяжении 4–6 тыс. лет (15000–9000 лет назад) на территории Юго-Восточной Карелии после отступления материкового ледникового покрова. Дана детальная

палинологическая характеристика послеледниковья и голоцена Юго-Восточной Карелии.

2001 г. Институт награжден Дипломом за участие в межгосударственной выставке, посвященной 10-летию образования Содружества Независимых Государств.

2002 г. Рассмотрены и утверждены на Ученом совете 14 приоритетных направлений научных исследований. Опираясь на эти положения и признанные достижения ведущих научных коллективов института, современные приоритетные направления тематических исследований Института геологии КарНЦ РАН сформулированы следующим образом:

- создание геокарты Карелии (масштаба 1:1 000 000);
- изучение региональных и глобальных закономерностей и условий образования структурно-вещественных комплексов докембрия как отражения разномасштабных геодинамических циклов;
- изучение закономерностей глубинного строения и особенностей современной геодинамики земной коры и верхней мантии геолого-геофизическими методами;
- эволюция экзогенных процессов, стратиграфия, палеогеография и историческое развитие органического мира в раннем докембрии;
- вулканизм и плутонизм раннего докембрия, центры эндогенной магматической активности, вулканоплутонические ассоциации;
- изучение проявлений метаморфических и тектонических процессов в докембрийских комплексах;
- полихронные и полигенные рудные системы (в т. ч. с нетрадиционными полезными ископаемыми) в докембрии Фенноскандии;
- геологическая и минералого-технологическая оценка, разработка технологий и экономика минерального сырья Карелии;
- органическое вещество докембрия, генезис, эволюция, миграция и формирование месторождений;
- исследование строения и свойств углерода и шунгитоносных пород, а также фундаментальные основы использования их модификаций в наукоемких технологиях;
- исследование неоструктур, гляциоизостатические движения земной коры, палеосейсмология, глобальные изменения климата, палеоэкология четвертичного периода Северо-Запада России;
- внедрение новых геоинформационных технологий в практику геологических исследований. Развитие сетевых и Internet-intranet-технологий. Создание и актуализация

геологических баз данных на базе ГИС-технологий, Web и GeoWeb серверов геологического направления;

- создание системы геофизического и геохимического мониторинга окружающей среды для понимания и предсказания природных и техногенных катастроф;
- исследование геоэкологических проблем Карелии.

2003 г. В соответствии с Планом комплексных проверок научных учреждений Отделения наук о Земле РАН (ОНЗ РАН) с 16 по 18 марта проведена комплексная проверка деятельности Института геологии Карельского научного центра РАН.

Комиссия в составе председателя академика РАН Ф. П. Митрофанова (ОНЗ РАН), зам. председателя д. г.-м. н. Н. С. Бортникова (ОНЗ РАН), чл.-корр. РАН В. В. Адушкина (ИДГ РАН), д. г.-м. н. А. Б. Вревского (ИГГД РАН), д. г.-м. н. А. А. Козырева (ГИ КНЦ РАН) положительно оценила научную, научно-организационную и финансово-хозяйственную деятельность Института геологии Карельского научного центра за 1998–2002 гг. Итоги работы комиссии рассматривались на заседании Ученого совета. В Постановлении Бюро ОНЗ РАН от 16 апреля 2003 г. по результатам комплексной проверки деятельности ИГ КарНЦ РАН отмечено, что институт является признанным лидером по комплексному изучению фундаментальных проблем геологии в Карелии и сопредельных территорий.

В 2000–2003 гг. при поддержке Карелгеолкома и Министерства экономики РК проведена реконструкция помещений и переоборудована экспозиция в Музее геологии докембрия Института геологии КарНЦ РАН. Докембрий, или докембрийский период – название геологической эпохи, когда возникла масса организмов, населивших Землю и оставивших ископаемые остатки в осадочных породах. Продолжительность докембрия – около 3,8 млрд лет (около 90 % длительности геологической истории Земли). Музей геологии докембрия создан 18 мая 1961 года одновременно с Институтом геологии. На момент создания включал несколько витрин образцов горных пород. С той поры его фонды постоянно пополнялись новыми добытыми в результате полевых исследований образцами. Основное направление музейной деятельности изначально определено как создание экспозиции, отражающей геологическую изученность и богатства недр Карелии, а также результаты научной и практической деятельности Института геологии. Гордость коллекции – живописные образцы стромато-

литов, карбонатных наростов на дне водоемов, образованных остатками низших водорослей и древнейших микроорганизмов. Часть экспонатов рассказывают об истории геологических исследований в Карелии, горных и рудных промыслах, об использовании карельского камня в промышленности, строительстве и архитектуре. Со временем экспозиция музея стала постоянно действующей, открытой для посещений не только специалистами, но также студентами и школьниками. Здесь читаются лекции, проводятся тематические экскурсии.

2004 г. 6 апреля на заседании Ученого совета принято решение о ликвидации лаборатории магматизма и палеовулканологии в связи кадровыми проблемами и создании на базе лаборатории металлогении новой лаборатории – магматизма, палеовулканологии и металлогении.

16 июня на здании Института геологии открыта мемориальная доска К. О. Кратцу в день 90-летия со дня рождения. В этот же день состоялось совместное заседание Президиума Карельского научного центра РАН, Ученого совета Института геологии КарНЦ РАН, Карельского отделения Российского минералогического общества, Регионального петрографического комитета по Северо-Западу РФ, посвященное 90-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР К. О. Кратца.

2005 г. 1 апреля на здании института открыта мемориальная доска В. А. Соколову.

9 февраля председатель КарНЦ РАН, член-корр. РАН А. Ф. Титов передал институту благодарственное письмо мэра г. Петрозаводска В. Н. Маслякова за участие в конкурсе «Город, устремленный в будущее».

Институт удостоен диплома международной выставки «Подземный город. Камень», проходившей в Экспоцентре в Москве.

11 марта на собрании Республиканского хозяйственного актива «Об итогах социально-экономического развития Республики Карелия в 2004 году и задачах на 2005 год» Институту геологии вручен диплом «За лучший инновационный проект по Республике Карелия в 2004 году».

2006 г. 18 мая состоялась юбилейная научная сессия, посвященная 45-летию Института геологии КарНЦ и 35-летию Карельского отделения РМО «Минералогия, петрология и минералогия докембрийских комплексов Карелии».

В лаборатории шунгитов Института геологии завершено важное комплексное исследование агрегации (процесса объединения элементов в одну систему) наночастиц углерода, содержащихся в шунгитах.

В январе Попечительский совет Фонда содействия отечественной науке и Экспертная комиссия объявили лауреатов конкурса в номинации «Кандидаты и доктора наук РАН». Среди них научный сотрудник лаборатории петрологии и тектоники к. г.-м. н. А. В. Степанова и зав. лабораторией геохимии и моделирования природных и техногенных процессов д. г.-м. н. С. А. Светов.

2007 г. 14 марта в зале Института геологии состоялся научный семинар «География и геология Карелии», проведенный совместно Институтом геологии и Карельским отделением Русского географического общества. Семинар был посвящен 90-летию со дня рождения известного специалиста в области четвертичной геологии и геоморфологии Карелии, д. г. н., заслуженного деятеля науки КАССР Галины Сергеевны Бискэ. Семинар открыли директор Института водных проблем Севера, председатель Карельского отделения РГО, д. г. н., проф. Н. Н. Филатов и директор Института геологии д. г.-м. н. В. В. Щипцов.

Стартовала международная программа научного континентального бурения ICDP FAR-DEEP – «Переход от архея к палеопротерозою: становление современной системы Земли» (2007–2010), в которой принимал участие институт.

С 14 по 22 июня в рамках 3-го Международного полярного года (МПГ 2007/08) проходила геологическая экспедиция по маршруту Петрозаводск – Кижы – Толвуя – Бесов мыс – Лодейное Поле – Валаамский архипелаг – Путсари – Сортавала в пределах акваторий Онежского и Ладожского озер на судне «Эколог», организованная Отделением наук о Земле, Институтом физики Земли РАН, Геологическим институтом РАН и Институтами геологии и водных проблем Севера Карельского научного центра РАН. Геологические экспедиционные исследования проведены по программе фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 6 «Геодинамика и механизмы деформации литосферы», координаторы – академики А. О. Глико и Ю. Г. Леонов, проект «Сейсмическая модель литосферы и современная геодинамика юго-восточной части Фенноскандинавского щита», руководитель – д. г.-м. н. Н. В. Шаров. К началу экспедиции для участников был подготовлен путеводитель (сост. Н. В. Шаров, В. В. Щипцов, Л. П. Свириденко, Н. Н. Филатов, В. Н. Коваленко, А. В. Первунина).

2008 г. С 20 по 25 октября в соответствии с утвержденным Планом-графиком проведения комплексных проверок научных учреждений РАН на 2008 г. в Институте геологии КарНЦ

РАН работала Комиссия в следующем составе: академик РАН Ф. П. Митрофанов, председатель; чл.-корр. РАН Ф. Н. Юдахин, зам. председателя; Е. В. Силина, секретарь, ОНЗ РАН; Л. А. Бирюкова, Управление бухгалтерского учета и отчетности РАН; д. г.-м. н. А. Б. Вревский, ИГГД РАН; к. х. н. В. Ю. Егорова, Научно-организационное управление РАН; В. А. Левин, Агентство по управлению имуществом РАН; д. г.-м. н. Ю. А. Морозов, ОНЗ РАН; В. Ш. Науширванова, Управление кадров РАН. Членам комиссии была предоставлена возможность ознакомиться с работой всех подразделений института, на научно-исследовательском судне «Эколог» они совершили короткое плавание по маршруту Петрозаводск – остров Суйсари. Научная, научно-организационная и финансово-хозяйственная деятельность Института геологии Карельского научного центра РАН за 2003–2007 гг. оценена положительно.

2009 г. В апреле Н. В. Шарову присуждена премия имени С. И. Субботина Национальной академии наук Украины. Премия вручена за видные научные достижения в области геофизики за 2008 год, за монографию «Литосфера докембрийских щитов Северного полушария Земли по сейсмическим данным» (авт. А. А. Трипольский, Н. В. Шаров). Премия вручалась на общем собрании НАН Украины в г. Киеве.

В ноябре Музей геологии докембрия Института геологии КарНЦ РАН, Фонд развития творческих индустрий и культурного туризма, Центр культурных инициатив (Агентство «Культурная сеть Карелии») и Городской выставочный зал представили выставку IV Международной триеннале визуальных искусств «Отпечатки». Тема триеннале 2009 года: «Белое море. Art & Science».

2011 г. Институту геологии КарНЦ РАН исполнилось 50 лет. Коллектив института награжден Почетной грамотой РАН – «За большой вклад в развитие фундаментальных и прикладных научных исследований в области наук о Земле, внедрение научных результатов в практику и в связи с 50-летием основания Учреждения Российской академии наук Института геологии Карельского научного центра РАН».

В первом десятилетии XXI века на базе Института геологии Карельского научного центра РАН при участии кафедры геологии и геофизики горно-геологического факультета ПетрГУ создан Карельский клуб юных геологов «Архей» с целью научного просвещения школьников в области геологии и содействия в выборе их будущей профессии, продолживший традиции



Открытие второй очереди Музея геологии докембрия, 2003 г. На переднем плане слева направо: Глава РК С. Л. Катанандов, руководитель музея В. Г. Пудовкин, председатель КарНЦ РАН А. Ф. Титов



Открытие мемориальной доски памяти К. О. Кратца, 2004 г. Слева направо: Ю. И. Лазарев, В. А. Глебовицкий, А. И. Голубев



Открытие мемориальной доски памяти В. А. Соколова, 2005 г.



Стартовала Международная программа научного континентального бурения – ICDP FAR-DEEP



Геологическая экспедиция в рамках 3-го Международного полярного года (МПГ 2007/08), 2007 г. Второй слева – академик РАН А. О. Глико



Члены комиссии Президиума РАН информируют председателя КарНЦ РАН А. Ф. Титова об итоговых результатах проверки деятельности института за период 2003–2008 гг.



Заседание Ученого совета по итогам проверки ОНЗ РАН деятельности института, 2003 г.



Открытие XII Всероссийского петрографического совещания, 2015 г.



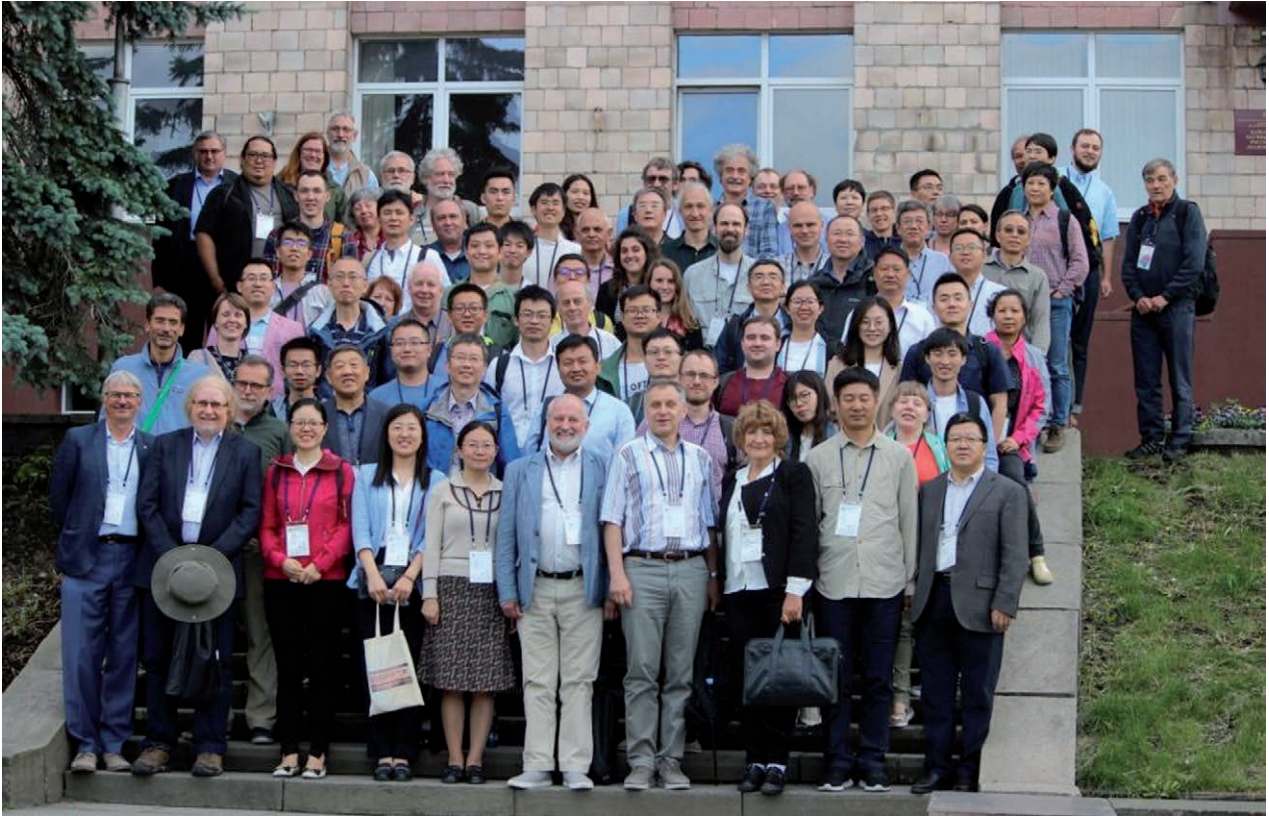
Геологическая экскурсия на судне «Эколог» для участников петрографического совещания, 2015 г.



Торжественная церемония закрытия международной технической ярмарки и входящей в ее состав выставки «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции», 2017 г.



В Казани по приглашению генерального директора ОАО «Татнефтьхиминвест-холдинг» Р. С. Яруллина карельская делегация: А. Н. Павлов, Ю. К. Калинин, А. Ю. Шишков, В. В. Ковалевский, 2015 г.



Участники 13-й международной конференции по эклогитам (IEC-13), 2019 г.



Петрозаводский государственный университет. Выпуск геологов, 2019 г.

ранее существовавшего геологического кружка. Активная работа клуба ведется на протяжении уже более 10 лет.

2012 г. 15–16 февраля состоялся семинар по программе ENPI CBC Karelia «Сотрудничество в области туризма» в Техноцентре г. Йоэнсуу (Финляндия). Институт геологии КарНЦ РАН стал одним из победителей конкурсной программы, итоги которой были объявлены в конце декабря 2011 г.

Вышел в свет «Горный журнал» № 5 – полноцветный тематический номер, в котором опубликованы материалы, освещающие потенциал, опыт работы и пути развития горнопромышленного комплекса Республики Карелия.

2013 г. Институт геологии посетил Йорн Тиде – известный немецкий специалист в области морской геологии и палеоокеанологии Арктики, директор-учредитель Института океанологии Общества им. Лейбница (IFM-Geomar, г. Киль, Германия) и бывший директор Института морских и полярных исследований имени Альфреда Вегенера (AWI, Бремерхафен и Потсдам), член ряда академий, в т. ч. иностранный член РАН, Почетный доктор СПбГУ, руководитель проекта по созданию общеевропейского ледокола «Auroga Borealis» и научный руководитель лаборатории Геоморфологических и Палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана в СПбГУ.

Издана карта индустриальных минералов Фенноскандинавского щита. Включает почти 600 промышленных месторождений полезных ископаемых в Фенноскандии. На новой карте представлены 35 различных минеральных продуктов, из которых в настоящее время 16 находятся в эксплуатации. В общей сложности на карте указаны 112 месторождений в Финляндии, 127 месторождений в Норвегии, 120 месторождений в России (Карело-Кольский регион) и 224 – в Швеции. Составляли карту представители Геологических служб Норвегии, Финляндии, Швеции, Института геологии КарНЦ РАН, Геологического института КНЦ РАН и ГГУП «Минерал»: Н. Gautneb, Т. Ahtola, Р. Lintenen, Т. Bergman, J. Gonzalez, А. Halberg, В. Литвиненко, В. Щипцов, Ю. Войтеховский. Составленная и изданная карта масштаба 1:2000000 – это один из итогов совместного проекта FODD. Карта подготовлена для использования в качестве инструмента при выборе стратегических направлений разведки полезных ископаемых, а также для исследований в области экономической геологии.

Год отмечен тем, что гостями института были Глава РК А. П. Худилайнен, министр природных ресурсов и экологии РФ С. Е. Донской,

академики РАН Н. П. Лаверов, А. И. Ханчук, Ф. П. Митрофанов и многие другие.

2014 г. Пятьдесят лет геофизических исследований в Институте геологии КарНЦ РАН.

16 июня исполнилось 100 лет со дня рождения Кауко Оттовича Кратца (1914–1983), советского ученого-геолога, заслуженного деятеля науки Карельской АССР (1964), члена-корреспондента АН СССР (1968), лауреата Государственной премии СССР (1985).

2015 г. На XIV общероссийском форуме «Стратегическое планирование в регионах и городах России», состоявшемся 20 октября в Санкт-Петербурге, Институт геологии КарНЦ РАН награжден Дипломом за лучший проект приграничного сотрудничества Россия – ЕС «КА334 «Горная дорога» (Mining Road)» как ведущий партнер проекта.

С 15 по 21 февраля в Индии находилась делегация Института геологии в составе директора института В. Щипцова, зав. лабораторией А. Слабунова и ведущего переводчика Г. Соколова. Основная цель визита состояла в подписании меморандума о сотрудничестве между Институтом геологии КарНЦ РАН и Бунделкхандским университетом (Джанси, штат Мадхья-Прадеш) в области научных геологических исследований и обучения.

По приглашению генерального директора ОАО «Татнефтьхиминвест-холдинг» Р. С. Яруллина в г. Казань прибыла делегация из Карелии во главе с заместителем министра природных ресурсов и экологии РК А. Н. Павловым. В состав делегации входили директор Института геологии В. В. Щипцов и зав. лабораторией В. В. Ковалевский. Обсуждались вопросы, связанные с практическим использованием шунгитовых пород.

15–20 сентября институт принимал гостей – участников XII Всероссийского совещания «Петрография магматических и метаморфических горных пород». На совещании обсуждались актуальные вопросы петрографии магматических и метаморфических пород в связи с проблемами глубинной дифференциации и эволюции магматизма и метаморфизма в геологической истории. Были организованы геологические экскурсии и изданы материалы совещания.

18 ноября Институт геологии Карельского научного центра РАН посетил первый заместитель министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации Денис Храмов.

По результатам ежегодного рейтинга научных учреждений WRIR-2015 Институт геологии КарНЦ РАН занял почетное место в рейтинге по разделу «Науки о Земле». Руководитель организации Владимир Владимирович Щипцов

награжден дипломом WRIR-2015, ему вручены золотая медаль и удостоверение.

2016 г. 14 июня состоялась научная сессия, посвященная 55-летию с момента образования Института геологии КарНЦ РАН.

2017 г. 9–10 марта проходила научная сессия, посвященная 100-летию со дня рождения Галины Сергеевны Бискэ.

Проект института «Суперчистый кварц: Карело-Кольская кварценозная провинция России» удостоен специального приза Петербургской международной технической ярмарки и входящей в ее состав выставки «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech).

17 мая врио Главы Карелии А. О. Парфенчиков в ходе визита в Карельский научный центр РАН посетил Институт геологии. Врио директора ИГ КарНЦ РАН С. А. Светов познакомил Артура Олеговича с приборной базой аналитического центра института. Затем делегация посетила нижний зал Музея геологии докембрия.

2018 г. С 20 по 24 августа на базе Института геологии и Карельского научного центра РАН работала международная научная конференция «Lateglacial-Interglacial transition: glaciotectonic, seismoactivity, catastrophic hydrographic and landscape changes, South-Eastern Fennoscandia», проводимая под эгидой рабочей группы INQUA Peribaltic. В мероприятии приняли участие около 50 человек из России, Германии, Польши, Литвы, Латвии, Финляндии и Мексики. Почти половина гостей конференции – молодые ученые Европы.

2019 г. 23–27 июня в Петрозаводске прошла 13-я международная конференция по эклогитам (IEC-13). Конференция входит в число регулярных международных мероприятий, которые собирают ведущих специалистов, изучающих метаморфизм высоких и сверхвысоких давлений, и она впервые состоялась в России. На организацию этого важного мероприятия отводилось 2 года, и Организационный комитет IEC-13 (член-корр. РАН Е. С. Шатский (Новосибирск), председатель; проф. А. Л. Перчук (Москва) и А. И. Слабунов (Петрозаводск), заместители председателя; А. В. Пилицына (Москва), ученый секретарь) сделал за этот период все необходимое, чтобы она прошла на высоком уровне. Финансовую и организационную поддержку конференции оказали Министерство науки и высшего образования РФ, Карельский научный центр РАН, Институт геологии КарНЦ РАН, Геологический институт Кольского научного центра РАН. В IEC-13 приняли участие 117 ученых из Бразилии, Великобритании, Германии, Италии, Китая, Нидерландов, Поль-

ши, России, США, Франции, Чехии, Швеции, Японии. Рабочим языком конференции был английский. Авторами докладов конференции являются 264 исследователя из 24 стран мира. На пленарных заседаниях заслушано 55 устных докладов, среди которых 6 ключевых, сделанных признанными в мире экспертами в области изучения эклогитов. Кроме того, участники имели возможность обсудить 38 стендовых докладов. Важной частью конференции являлись научные экскурсии на север Карелии (дер. Гридино) и юг Мурманской области (р-ны Салмы, Куру-Ваара), где установлены уникальные докембрийские эклогиты. В экскурсиях приняли участие 88 ученых. Эти мероприятия были организованы и проведены учеными Института геологии КарНЦ РАН (Петрозаводск), Геологического института КНЦ РАН (Апатиты) и Геологического института РАН (Москва). По результатам форума подготовлены и изданы материалы конференции (тезисы докладов) и путеводитель научных экскурсий «Раннедокембрийские эклогиты Беломорской провинции Фенноскандинавского щита».

Заведующий лабораторией геологии и геодинамики докембрия Института геологии КарНЦ РАН, доктор геолого-минералогических наук А. И. Слабунов награжден Почетной грамотой Президента России за заслуги в развитии науки и многолетнюю плодотворную деятельность.

2020 г. Сотрудники Института геологии КарНЦ РАН С. А. Светов, А. И. Слабунов, Н. С. Нестерова и О. А. Максимов участвовали в очередном этапе полевых исследований в Бунделкхандском кратоне (Индия) в рамках проекта «Петрология и геология архейских зеленокаменных комплексов Бунделкхандского (Индийский щит) и Карельского (Фенноскандинавский щит) кратонов как основа для геодинамических реконструкций ранней Земли». Работы проводились совместно с коллегами из Бунделкхандского университета г. Джанси и профессором геологического факультета доктором Vinod K. Singh. В ходе официального визита в Бунделкхандский университет подписан меморандум о взаимном сотрудничестве в области геонаук между Бунделкхандским университетом и Институтом геологии КарНЦ РАН сроком на 5 лет.

Представленная хроника отражает далеко не все события, происходившие в жизни Института геологии в течение 60 лет напряженной плодотворной работы. Сегодня деятельность института сосредоточена на трех основных научных направлениях:

- строение, состав, условия формирования, эволюция литосферы Фенноскандинавского щита и глобальные корреляции докембрия;
- минерагения Карелии, комплексные технологии; шунгиты, промышленные минералы;
- неотектоника, сейсмичность и геоэкология Северо-Запада России.

Одновременно в настоящий момент наши усилия направлены на оптимизацию работы в сложный период, связанный с большими переменами в российской академической науке, на подъем уровня ответственности молодого ученого перед своей организацией, перед страной, наукой в целом. Институт продолжает творить историю.

УТРАТЫ

ВЯЧЕСЛАВ СТЕПАНОВИЧ КУЛИКОВ (1939–2020)

19 ноября 2020 г. на 81-м году ушел из жизни заслуженный деятель науки Республики Карелия, заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН Вячеслав Степанович Куликов.

Он родился 17 марта 1939 года в г. Торжке Калининской обл. В сборнике воспоминаний «Наше военное детство» Вячеслав Степанович пишет: «Страна жила мирной жизнью, люди верили в счастливое будущее. Но внезапное нападение фашистской Германии на нашу страну все изменило» (Куликов В. С. Последнее фронтовое письмо отца // Наше военное детство. Петрозаводск, 2020. С. 73–79). В 1942 г. на Северо-Западном фронте погиб его отец, Куликов Степан Николаевич.

В 1962 году В. С. Куликов окончил Ленинградский горный институт и начал работать в Институте геологии Карельского филиала АН СССР (затем – Карельского научного центра РАН). Обучался в очной аспирантуре института. В 1970 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Базальтовый комплекс кряжа Ветреный Пояс (геология, петрология, петрохимия)», а в 1991 г. – докторскую диссертацию на тему «Высокомагнезиальный магматизм докембрия Балтийского щита». Прошел длинный трудовой путь: старший лаборант, младший научный сотрудник, ученый секретарь института (1972–1977 гг.), зам. директора по научной работе, зав. лабораторией геохимии (1977–1987 гг.), зам. председателя Президиума КарНЦ РАН (1988–2006 гг.), главный научный сотрудник института (до выхода на пенсию в 2018 г.).



На всем протяжении своей деятельности Вячеслав Степанович активно занимался научно-организационной работой. Он стоял у истоков создания рабочей группы по научно-техническому сотрудничеству между Финляндией и СССР в области геологии и был ученым секретарем советско-финляндской рабочей

группы по НТС в области геологии (1972–1975), ученым секретарем межведомственного координационного Совета по науке и технике РК (1992–1995), членом Президиума КарНЦ РАН (1988–2006), членом Карельского комитета профсоюза ВШНУ (1990–1992). С 1969 г. был членом Ученого совета ИГ КарНЦ РАН, председателем Регионального петрографического совета по Северо-Западу России (с 1993 г.), членом НТС национального парка «Водлозерский».

Вячеслав Степанович Куликов внес большой вклад в развитие фундаментальных исследований в области стратиграфии, тектоники, петрологии, геохимии и металлогении докембрийских образований. Впервые в бывшем СССР в 1963 г. выявил высокомагнезиальные вулканические породы со структурой, в дальнейшем (в 1971 г.) получившей название «спинифекс» (коматиитовые базальты). Его научные интересы были связаны с проблемами геологии, стратиграфии, тектоники, петрологии и геохимии докембрия. Он стал признанным ученым в России и за рубежом.

В. С. Куликов – автор и соавтор более 300 научных работ и геологических карт, в т. ч. монографий «Геохимическая эволюция базит-ультрабазитового магматизма протерозоя (юго-восток Балтийского щита)» (Л.: Наука, 1973. 104 с.; в соавт.); «Вулканизм архейских зеленокаменных поясов Карелии» (Л.: Наука, 1982. 152 с.; в соавт.); «Геология Карелии» (Л.: Наука, 1987. 231 с.; в соавт.); первой в России обобщающей работы по высокомагнезиальным вулканитам докембрия Балтийского щита «Коматииты и высокомагнезиальные вулканиды докембрия Балтийского щита» (Л.: Наука, 1988. 192 с.; в соавт.); «Суйсарский пикрит-базальтовый комплекс палеопротерозоя Карелии (опорный разрез и петрология)» (Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 96 с.; в соавт.); «История Земли в галактических и солнечных циклах» (Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 250 с.; в соавт.), в которой применен нетрадиционный подход к периодизации истории планеты; «Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения)» (Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.; в соавт.); «Rodinia-2013: Supercontinental Cycles and Geodynamics (Early Precambrian of the Russian Karelia). Excursion Guide (Petrozavodsk-Moscow, 2013. 51 p.; в соавт.). Он также редактор и соавтор «Обзорной геологической карты Онежской структуры» масштаба 1:750000, которая была издана в 2011 году. Одна из последних работ В. С. Куликова посвящена созданию обзорной геологической карты масштаба 1:750000 на площадь более

320000 км², включающую территорию Республики Карелия и сопряженных областей Северо-Запада России и Восточной Финляндии (2015 г.). Результаты опубликованы в статье «Геологическая карта Юго-Восточной Фенноскандии масштаба 1:750000: новые подходы к составлению» (Труды КарНЦ РАН. 2017. № 2. С. 3–41; в соавт.).

В 1996 г. Вячеслав Степанович Куликов установил единственную в России и Европе точку тройного сочленения водосборных бассейнов Атлантического, Северного Ледовитого океанов и Каспийского моря (реликта палеоокеана Тетис). Она получила название «Атлека» (первые две буквы океанов и моря). В 2001 году организован одноименный государственный заказник. В. С. Куликов был научным руководителем проекта «Водлозерский национальный парк». В 2013 г. им выявлена природная (водная) граница Фенноскандии и Русской равнины, оформлено место пересечения с водоразделом Атлантики и Арктики и рекомендовано установить Памятный знак.

Он неоднократно выступал с докладами на совещаниях различного ранга, участвовал в работе 27-го и 33-го Международного геологического конгресса. До последних дней активно участвовал в обучении студентов ПетрГУ, читал курс лекций по дисциплине «Геология России». Будучи пенсионером, продолжал активно участвовать в научной деятельности Института геологии, был членом редколлегии журнала «Труды Карельского научного центра РАН» (серия «Геология докембрия»).

Его заслуги в разные годы получили высокую оценку: 1970 г. – медаль «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина» (одновременно этой медали были удостоены его мать и младший брат); 1974 г. – Почетная грамота Совета Министров КАССР; 1986 г. – Почетная грамота Президиума Верховного Совета КАССР; Почетные грамоты Президиума и Совета Профсоюзов АН СССР; 1994 г. – почетное звание «Заслуженный деятель науки РК»; 1997 г. – звание члена-корреспондента РАЕН; 1999 г. – орден Почета РФ, Почетная грамота Правительства РК; 2007 г. – почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ».

Светлая память о Вячеславе Степановиче Куликове сохранится в наших сердцах.

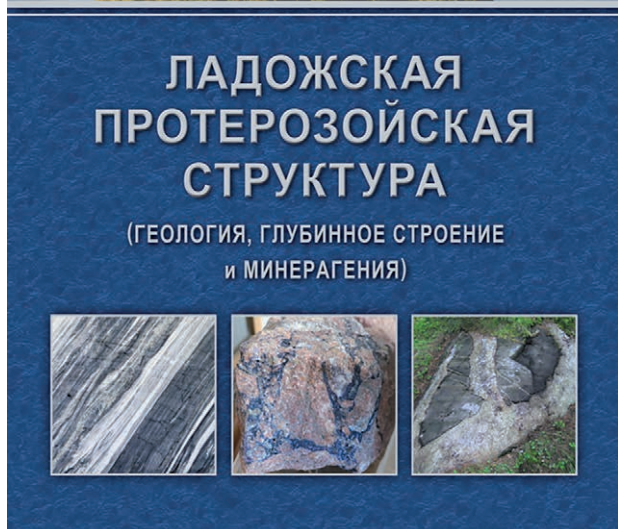
*Редакционная коллегия серии
«Геология докембрия»,
друзья и коллеги – сотрудники
Института геологии КарНЦ РАН*

РЕЦЕНЗИИ И БИБЛИОГРАФИЯ

Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Н. В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 435 с.: ил. 345, табл. 54. Библиогр. 961 назв.

Монография подготовлена и издана коллективом авторов под редакцией д. г.-м. н. Н. В. Шарова, главного научного сотрудника Института геологии КарНЦ РАН. В работе на основе анализа геолого-геофизической информации, накопленной за последние пятьдесят лет, обобщены современные представления о глубинном строении земной коры Ладожской протерозойской структуры.

Ладожская структура занимает юго-восточную часть Ладожско-Ботнического геоблока Фенноскандинавского (Балтийского) щита. Ее структурно-геологическая позиция определяется пространственной приуроченностью к обширной Свекофеннской складчатой области, прослеживающейся из Приладожья на запад через Финляндию в Швецию и на юго-восток под чехол Русской плиты. В монографии рассмотрены особенности геологического строения Ладожской структуры, систематизированы знания о магматизме и метаморфических преобразованиях архейских и палеопротерозойских комплексов, проведен анализ развития территории в плейстоцене. Значительное внимание уделено рассмотрению закономерностей размещения рудных месторождений и промышленных минералов. На основе обобщенных результатов комплексных глубинных сейсмических, сейсмологических и геоэлектрических исследований, проводившихся вдоль международного геотрансекта Евро-3 (EU-3), который пересекает крупнейшие тектонические структуры Фенноскандинавского щита и Западно-Европейской плиты, построены модели глубинного строения территории. Работа позволила выявить детали глубинного строения земной коры, уточнить ее состав, структуру и скоростной разрез, увязать геофизические



поля с особенностями вещественного состава глубоких горизонтов коры, недоступных для наблюдений в других районах. Редколлегия научного издания сочла необходимым сохранить авторские трактовки фактического материала, существующие альтернативные взгляды.

Монография явилась результатом плодотворного сотрудничества большого коллектива геологов и геофизиков из научных и производственных организаций Апатитов, Киева, Москвы, Новосибирска, Петрозаводска, Санкт-Петербурга, Турку. Подготовка и издание осуществлено при финансовой поддержке РФФИ.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(требования к работам, представляемым к публикации
в «Трудах Карельского научного центра Российской академии наук»)

«Труды Карельского научного центра Российской академии наук» (далее – Труды КарНЦ РАН) публикуют результаты завершённых оригинальных исследований в различных областях современной науки: теоретические и обзорные статьи, сообщения, материалы о научных мероприятиях (симпозиумах, конференциях и др.), персоналии (юбилеи и даты, потери науки), статьи по истории науки. Представляемые работы должны содержать новые, ранее не публиковавшиеся данные.

Статьи проходят обязательное рецензирование. Решение о публикации принимается редакционной коллегией серии или тематического выпуска Трудов КарНЦ РАН после рецензирования, с учётом научной значимости и актуальности представленных материалов. Редколлегия серий и отдельных выпусков Трудов КарНЦ РАН оставляет за собой право возвращать без регистрации рукописи, не отвечающие настоящим правилам.

При получении редакцией рукопись регистрируется (в случае выполнения авторами основных правил ее оформления) и направляется на отзыв рецензентам. Отзыв состоит из ответов на типовые вопросы анкеты и может содержать дополнительные расширенные комментарии. Кроме того, рецензент может вносить замечания и правки в текст рукописи. Авторам высылаются электронная версия анкеты и комментарии рецензентов. Доработанный экземпляр автор должен вернуть в редакцию вместе с первоначальным экземпляром и ответом на все вопросы рецензента не позднее чем через месяц после получения рецензии. Перед опубликованием авторам высылаются распечатанная версия статьи, которая вычитывается, подписывается авторами и возвращается в редакцию.

Журнал имеет полноценную электронную версию на базе Open Journal System (OJS), позволяющую перевести предоставление и редактирование рукописи, общение автора с редколлегиями серий и рецензентами в электронный формат и обеспечивающую прозрачность процесса рецензирования при сохранении анонимности рецензентов (<http://journals.krc.karelia.ru/>).

Редакционный совет журнала «Труды Карельского научного центра РАН» (Труды КарНЦ РАН) определил для себя в качестве одного из приоритетов полную открытость издания. Это означает, что пользователям на условиях свободного доступа разрешается: читать, скачивать, копировать, распространять, печатать, искать или находить полные тексты статей журнала по ссылке без предварительного разрешения от издателя и автора. Учредители журнала берут на себя все расходы по редакционно-издательской подготовке статей и их опубликованию.

Содержание номеров Трудов КарНЦ РАН, аннотации и полнотекстовые электронные варианты статей, а также другая полезная информация, включая настоящие Правила, доступны на сайтах – <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Почтовый адрес редакции: 185000, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, КарНЦ РАН, редакция Трудов КарНЦ РАН. Телефон: (8142) 762018.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ

Статьи публикуются на русском или английском языке. Рукописи должны быть тщательно выверены и отредактированы авторами.

Объём рукописи (включая таблицы, список литературы, подписи к рисункам, рисунки) не должен превышать: для обзорных статей – 30 страниц, для оригинальных – 25, для сообщений – 15, для хроники и рецензий – 5–6. Объём рисунков не должен превышать 1/4 объёма статьи. Рукописи большего объёма (в исключительных случаях) принимаются при достаточном обосновании по согласованию с ответственным редактором.

При оформлении рукописи применяется полуторный межстрочный интервал, шрифт Times New Roman, кегль 12, выравнивание по обоим краям. Размер полей страницы – 2,5 см со всех сторон. Все страницы, включая список литературы и подписи к рисункам, должны иметь сплошную нумерацию в нижнем правом углу. Страницы с рисунками не нумеруются.

Рукописи подаются в электронном виде в формате MS Word на сайте <http://journals.krc.karelia.ru> либо на e-mail: trudy@krc.karelia.ru или представляются в редакцию лично (г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, каб. 502).

ОБЩИЙ ПОРЯДОК РАСПОЛОЖЕНИЯ ЧАСТЕЙ СТАТЬИ

Элементы статьи должны располагаться в следующем порядке: *УДК* курсивом на первой странице, в левом верхнем углу; заглавие статьи на русском языке заглавными буквами полужирным шрифтом; инициалы, фамилии всех авторов на русском языке полужирным шрифтом; полное название организации – места работы каждого автора в именительном падеже на русском языке курсивом (если авторов несколько и работают они в разных учреждениях, следует отметить арабскими цифрами соответствие фамилий авторов учреждениям, в которых они работают; если все авторы статьи работают в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно); аннотация на русском языке; ключевые слова на русском языке; инициалы, фамилии всех авторов на английском языке полужирным шрифтом; название статьи на английском языке заглавными буквами полужирным шрифтом; аннотация на английском языке; ключевые слова на английском языке; текст статьи (статья экспериментального характера, как правило, должны иметь разделы: **Введение. Материалы и методы. Результаты и обсуждение. Выводы** либо **Заключение**); благодарности и указание источников финансирования выполненных исследований; списки литературы: с библиографическими описаниями на языке и алфавите оригинала (**Литература**) и транслитерированный в латиницу с переводом русскоязычных источников на английский язык (**References**); двуязычные таблицы (на русском и английском языках); рисунки; подписи к рисункам на русском и английском языках.

Сведения об авторах: фамилии, имена, отчества всех авторов полностью на русском и английском языке; полный почтовый адрес каждой организации (с указанием почтового индекса) на русском и английском языке; должности, ученые звания, ученые степени авторов; адрес электронной почты каждого автора; телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов).

ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ должно точно отражать содержание статьи* и состоять из 8–10 значимых слов.

АННОТАЦИЯ должна быть лишена вводных фраз, создавать возможно полное представление о содержании статьи и иметь объем не менее 200 слов. Рукопись с недостаточно раскрывающей содержание аннотацией может быть отклонена.

Отдельной строкой приводится перечень КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ (не менее 5). Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой, в конце фразы ставится точка. Слова, фигурирующие в заголовке статьи, ключевыми являться не могут.

Раздел «Материалы и методы» должен содержать сведения об объекте исследования с обязательным указанием латинских названий и сводок, по которым они приводятся, авторов классификаций и пр. Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания. Единицы физических величин приводятся по Международной системе СИ. Желательна статистическая обработка всех количественных данных. Необходимо возможно точнее обозначать местонахождения (в идеале – с точным указанием географических координат).

Изложение результатов должно заключаться не в пересказе содержания таблиц и графиков, а в выявлении следующих из них закономерностей. Автор должен сравнить полученную им информацию с имеющейся в литературе и показать, в чем заключается ее новизна. Следует ссылаться на табличный и иллюстративный материал так: на рисунки, фотографии и таблицы в тексте (рис. 1, рис. 2, табл. 1, табл. 2 и т. д.), фотографии, помещаемые на вкладышах (рис. I, рис. II). Обсуждение завершается формулировкой в разделе «Заключение» основного вывода, которая должна содержать конкретный ответ на вопрос, поставленный во «Введении». Ссылки на литературу в тексте даются фамилиями, например: Карху, 1990 (один автор); Раменская, Андреева, 1982 (два автора); Крутов и др., 2008 (три автора или более) либо начальным словом библиографического описания источника, приведенного в списке литературы, и заключаются в квадратные скобки. При перечислении нескольких источников работы располагаются в хронологическом порядке, например: [Иванов, Топоров, 1965; Успенский, 1982; Erwin et al., 1989; Атлас..., 1994; Longman, 2001].

ТАБЛИЦЫ нумеруются в порядке упоминания их в тексте, каждая таблица имеет свой заголовок. Заголовки таблиц, заголовки и содержание столбцов, строк, а также примечания приводятся на русском и английском языках. На полях бумажного экземпляра рукописи (слева) карандашом указываются места расположения таблиц при первом упоминании их в тексте. Диаграммы и графики не должны дублировать таблицы. Материал таблиц должен быть понятен без дополнительного обращения к тексту. Все сокращения, использованные в таблице, поясняются в Примечании, расположенном под ней. При повторении цифр в столбцах нужно их повторять, при повторении слов – в столбцах ставить кавычки. Таблицы могут быть книжной или альбомной ориентации (при соблюдении вышеуказанных параметров страницы).

РИСУНКИ при первичной подаче материала в редакцию вставляются в общий текстовый файл. При сдаче материала, принятого в печать, все рисунки должны быть представлены в виде отдельных файлов в формате TIFF (*.TIF) или JPG. Графические материалы должны быть снабжены распечатками с указанием желательного размера рисунка, пожеланий и требований к конкретным иллюстрациям. На каждый рисунок должна быть как минимум одна ссылка в тексте. Иллюстрации объектов, исследованных с помощью фотосъемки, микроскопа (оптического, элек-

* Названия видов приводятся на латинском языке КУРСИВОМ, в скобках указываются высшие таксоны (семейства), к которым относятся объекты исследования.

тронного трансмиссионного и сканирующего), должны сопровождаться масштабными линейками, причем в подрисуночных подписях надо указать длину линейки. Приводить данные о кратности увеличения необязательно, поскольку при публикации рисунков размеры изменятся. Крупномасштабные карты желательно приводить с координатной сеткой, обозначениями населенных пунктов и/или названиями физико-географических объектов и разной фактурой для воды и суши. В углу карты желательна врезка с мелкомасштабной картой, где был бы указан участок, увеличенный в крупном масштабе в виде основной карты.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ приводятся на русском и английском языках, должны содержать достаточно полную информацию, для того чтобы приводимые данные могли быть понятны без обращения к тексту (если эта информация уже не дана в другой иллюстрации). Аббревиации расшифровываются в подрисуночных подписях, детали на рисунках следует обозначать цифрами или буквами, значение которых также приводится в подписях.

ЛАТИНСКИЕ НАЗВАНИЯ. В расширенных латинских названиях таксонов не ставится запятая между фамилией авторов и годом, чтобы была понятна разница между полным названием таксона и ссылкой на публикацию в списке литературы. Названия таксонов рода и вида печатаются курсивом. Вписывать латинские названия в текст от руки недопустимо. Для флористических, фаунистических и таксономических работ при первом упоминании в тексте и таблицах приводится русское название вида (если такое название имеется) и полностью – латинское, с автором и желательно с годом, например: водяной ослик (*Asellus aquaticus* (L., 1758)). В дальнейшем можно употреблять только русское название или сокращенное латинское без фамилии автора и года опубликования, например, для брюхоногого моллюска *Margarites groenlandicis* (Gmelin, 1790) – *M. groenlandicus* или для подвида *M. g. umbilicalis*.

СОКРАЩЕНИЯ. Разрешаются лишь общепринятые сокращения – названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т. п. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных.

БЛАГОДАРНОСТИ. В этой рубрике выражается признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и фондам, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи, а также указываются источники финансирования работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ. Пристатейные ссылки и/или списки пристатейной литературы следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления (http://www.bookchamber.ru/GOST_P_7.0.5.-2008). Список работ представляется в алфавитном порядке. Все ссылки даются на языке оригинала (названия на японском, китайском и других языках, использующих нелатинский шрифт, пишутся в русской транскрипции). Сначала приводится список работ на русском языке и на языках с близким алфавитом (украинский, болгарский и др.), а затем – работы на языках с латинским алфавитом. В списке литературы между инициалами ставится пробел.

ТРАНСЛИТЕРИРОВАННЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES). Приводится отдельным списком, повторяя все позиции основного списка литературы. Библиографические описания русскоязычных работ даются в латинской транслитерации, рядом в квадратных скобках помещается их перевод на английский язык. Выходные данные приводятся на английском языке (допускается транслитерация названия издательства). При наличии переводной версии источника можно указать ее. Описания прочих работ приводятся на языке оригинала. Для составления списка рекомендуется использование бесплатных онлайн-сервисов транслитерации, вариант BSI.

Внимание! С 2015 года каждой статье, публикуемой в «Трудах Карельского научного центра РАН», редакцией присваивается уникальный идентификационный номер цифрового объекта (DOI) и статья включается в базу данных Crossref. **Обязательным условием является указание в списках литературы DOI для тех работ, у которых он есть.**

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ 1-Й СТРАНИЦЫ

УДК 631.53.027.32:635.63

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ПРЕДПОСЕВНОГО ЗАКАЛИВАНИЯ СЕМЯН НА ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА

Е. Г. Шерудило¹, М. И. Сысоева¹, Г. Н. Алексейчук², Е. Ф. Марковская¹

¹Институт биологии Карельского научного центра РАН

²Институт экспериментальной ботаники НАН Республики Беларусь им. В. Ф. Купревича

Аннотация на русском языке

Ключевые слова: *Cucumis sativus* L.; кратковременное снижение температуры; устойчивость.

E. G. Sherudilo, M. I. Sysoeva, G. N. Alekseichuk, E. F. Markovskaya. EFFECTS OF DIFFERENT REGIMES OF SEED HARDENING ON COLD RESISTANCE IN CUCUMBER PLANTS

Аннотация на английском языке

Keywords: *Cucumis sativus* L.; temperature drop; resistance.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТАБЛИЦЫ

Таблица 2. Ультраструктура клеток мезофилла листа в последствии 10-минутного охлаждения (2 °С) проростков или корней пшеницы

Table 2. Ultrastructure of leaf mesophyll cells after the exposure of wheat seedlings or roots to 10 min of chilling at 2 °C

Показатель Index	Контроль Control	Охлаждение проростков Seedling chilling	Охлаждение корней Root chilling
Площадь среза хлоропласта, мкм ² Chloroplast cross-sectional area, μm ²	10,0 ± 0,7	13,5 ± 1,1	12,7 ± 0,5
Площадь среза митохондрии, мкм ² Mitochondria cross-sectional area, μm ²	0,4 ± 0,03	0,5 ± 0,03	0,6 ± 0,04
Площадь среза пероксисомы, мкм ² Peroxisome cross-sectional area, μm ²	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Число хлоропластов на срезе клетки, шт. Number of chloroplasts in cell cross-section	9 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число митохондрий на срезе клетки, шт. Number of mitochondria in cell cross-section	8 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число пероксисом на срезе клетки, шт. Number of peroxisomes in cell cross-section	2 ± 0,3	2 ± 0,3	3 ± 0,4

Примечание. Здесь и в табл. 3: все параметры ультраструктуры измеряли через 24 ч после охлаждения.

Note. Here and in Tab. 3 all ultrastructure parameters were measured 24 h after chilling.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСИ К РИСУНКУ

Рис. 1. Северный точильщик (*Hadrobregmus confuses* Kraaz.)

Fig. 1. Woodboring beetle *Hadrobregmus confuses* Kraaz.

Рис. 5. Результаты изучения кристаллитов и демпферных зон в образце кварца из Дульдурги:

(а) – электронная микрофотография кварца; (б) – картина микродифракции, полученная для участка 1 в области кристаллитов; (в) – картина микродифракции, отвечающая участку 2 в области демпферных зон

Fig. 5. Results of the study of crystallites and damping zones in a quartz sample from Duldurga:

(а) – electron microphotograph of the quartz sample; (б) – microdiffraction image of site 1 in the crystallite area; (в) – microdiffraction image corresponding to site 2 in the damping area

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ

Ссылки на книги

Вольф Г. Н. Дисперсия оптического вращения и круговой дихроизм в органической химии / Ред. Г. Снатцке. М.: Мир, 1970. С. 348–350.

Патрушев Л. И. Экспрессия генов. М.: Наука, 2000. 830 с.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques / Eds P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

References:

Vol'f G. N. Dispersiya opticheskogo vrashheniya i krugovoj dikhroizm v organicheskoy khimii [Optical rotatory dispersion and circular dichroism in Organic Chemistry]. Ed. G. Snattske. Moscow: Mir, 1970. P. 348–350.

Patrushev L. I. Ekspressiya genov [Gene expression]. Moscow: Nauka, 2000. 830 p.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques. Eds P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

Ссылки на статьи

Викторов Г. А. Межвидовая конкуренция и сосуществование экологических гомологов у паразитических перепончатокрылых // Журн. общ. биол. 1970. Т. 31, № 2. С. 247–255.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri* // J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Noctor G., Queval G., Mhamdi A., Chaouch A., Foyer C. H. Glutathione // Arabidopsis Book. American Society of plant Biologists, Rockville, MD. 2011. doi:10.1199/tab.0142

References:

Viktorov G. A. Mezhhvidovaya konkurentsiya i sosushhestvovanie ehkologicheskikh gomologov u paraziticheskikh pereponchatokrylykh [Interspecific competition and coexistence ecological homologues in parasitic Hymenoptera]. *Zhurn. obshh. biol.* [Biol. Bull. Reviews]. 1970. Vol. 31, no. 2. P. 247–255.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri*. *J. Fish. Biol.* 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Noctor G., Queval G., Mhamdi A., Chaouch A., Foyer C. H. Glutathione. Arabidopsis Book. American Society of plant Biologists, Rockville, MD. 2011. doi: 10.1199/tab.0142

Ссылки на материалы конференций

Марьинских Д. М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11–12 сент. 2000 г.). Новосибирск, 2000. С. 125–128.

References:

Mar'inskikh D. M. Razrabotka landshaftnogo plana kak neobkhodimoe uslovie ustoichivogo razvitiya goroda (na primere Tyumeni) [Landscape planning as a necessary condition for sustainable development of a city (example of Tyumen)]. *Ekologiya landshafta i planirovanie zemlepol'zovaniya: Tezisy dokl. Vseros. konf.* (Irkutsk, 11–12 sent. 2000 g.) [Landscape ecology and land-use planning: abstracts of all-Russian conference (Irkutsk, Sept. 11–12, 2000)]. Novosibirsk, 2000. P. 125–128.

Ссылки на диссертации или авторефераты диссертаций

Шефтель Б. И. Экологические аспекты пространственно-временных межвидовых взаимоотношений землероек Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 23 с.

Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Дис. ... докт. хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.

References:

Sheftel' B. I. Ekologicheskie aspekty prostranstvenno-vremennykh mezhvidovykh vzaimootnoshenii zemlerоек Srednei Sibiri [Ecological aspects of spatio-temporal interspecies relations of shrews of Middle Siberia]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow, 1985. 23 p.

Lozovik P. A. Gidrogeokhimicheskie kriterii sostoyaniya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony i ikh ustoichivosti k antropogennomu vozdeistviyu [Hydrogeochemical criteria of the state of surface water in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact]: DSc (Dr. of Chem.) thesis. Petrozavodsk, 2006. 481 p.

Ссылки на патенты

Патент РФ № 2000130511/28.04.12.2000.

Еськов Д. Н., Серегин А. Г. Оптико-электронный аппарат // Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

References:

Patent RF № 2000130511/28. 04.12.2000 [Russian patent No. 2000130511/28. December 4, 2000].

Es'kov D. N., Seregin A. G. Optiko-elektronnyi apparat [Optoelectronic apparatus]. Patent Rossii № 2122745 [Russian patent No. 2122745]. 1998. Bulletin No. 33.

Ссылки на архивные материалы

Гребенщиков Я. П. К небольшому курсу по библиографии: материалы и заметки, 26 февр. – 10 марта 1924 г. // ОР РНБ. Ф. 41. Ед. хр. 45. Л. 1–10.

References:

Grebenshchikov Ya. P. K nebol'shomu kursu po bibliografii: materialy i zametki, 26 fevr. – 10 marta 1924 g. [Brief course on bibliography: the materials and notes, Febr. 26 – March 10, 1924]. OR RNB. F. 41. St. un. 45. L. 1–10.

Ссылки на интернет-ресурсы

Паринов С. И., Ляпунов В. М., Пузырев Р. Л. Система Соционет как платформа для разработки научных информационных ресурсов и онлайн-сервисов // Электрон. б-ки. 2003. Т. 6, вып. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (дата обращения: 25.12.2015).

Демография. Официальная статистика / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 25.12.2015).

References:

Parinov S. I., Lyapunov V. M., Puzyrev R. L. Sistema Sotsionet kak platforma dlya razrabotki nauchnykh informatsionnykh resursov i onlainovykh servisov [Socionet as a platform for development of scientific information resources and online services]. Elektron. b-ki [Digital library]. 2003. Vol. 6, iss. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (accessed: 25.11.2006).

Demografija. Oficial'naja statistika [Demography. Official statistics]. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal state statistics service]. URL: <http://www.gks.ru/> (accessed: 25.12.2015).

Ссылки на электронные ресурсы на CD-ROM

Государственная Дума, 1999–2003 [Электронный ресурс]: электронная энциклопедия / Аппарат Гос. Думы Федер. Собрания Рос. Федерации. М., 2004. 1 CD-ROM.

References:

Gosudarstvennaya Duma, 1999–2003 [State Duma, 1999–2003]. Electronic encyclopedia. The office of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. Moscow, 2004. 1 CD-ROM.

Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

No. 2, 2021

“PRECAMBRIAN GEOLOGY”

TABLE OF CONTENTS

S. I. Turchenko. METALLOGENY DURING THE PRECAMBRIAN STAGE IN GEOLOGICAL EVOLUTION OF THE EARTH	5
L. V. Kuleshevich, O. B. Lavrov. GOLD-COPPER-SULPHIDE MINERALIZATION OF QUARTZ-CARBONATE VEINS IN GABBRO-DOLERITES FROM THE CHEVZHAVAARA DEPOSIT, SOUTH KARELIA	16
G. B. Melentyev. NATURAL RADIOACTIVITY OF RARE-METAL SPECIALIZED MINERAL RAW MATERIALS AND URBANIZED AREAS IN THE KARELIAN-KOLA REGION AS A FACTOR FOR THEIR RADIO-ECOLOGICAL ASSESSMENT	27
Yu. L. Voytekhevsky, A. A. Zakharova. A STATISTICAL DESCRIPTION OF THE STRUCTURES AND TEXTURES OF KERETSKY ARCHIPELAGO (WHITE SEA) AMPHIBOLITES.	44
V. A. Shekov. KARELIAN FACING STONE DEPOSITS IN THE GLOBAL MARKET.	51
A. V. Rakhmanova. CRIMSON QUARTZITE IN THE HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE OF RUSSIA AND THE WORLD	62
CHRONICLE	
Scientific Conference Yushkin Readings – 2020 and the 13 th Russian Seminar on Technological Mineralogy (Syktyvkar, December 7–10, 2020)	74
DATES AND ANNIVERSARIES	
60 th anniversary of the Institute of Geology KarRC RAS	78
BEREAVEMENTS	
Vyacheslav S. Kulikov (1939–2020).	100
REVIEWS AND BIBLIOGRAPHY.	102
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS	103

Научный журнал

**Труды Карельского научного центра
Российской академии наук**
№ 2, 2021

ГЕОЛОГИЯ ДОКЕМБРИЯ

*Печатается по решению Ученого совета
Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр Российской академии наук»*

Выходит 12 раз в год

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Регистрационная запись ПИ № ФС 77-72429 от 28.02.2018 г.

Редактор А. И. Мокеева
Компьютерная верстка Г. О. Предтеченский

Подписано в печать 19.02.2021. Дата выхода 26.02.2021. Формат 60x84^{1/8}.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 10,6. Усл. печ. л. 12,7.
Тираж 100 экз. Заказ 643. Цена свободная

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

Оригинал-макет: Редакция научного издания «Труды КарНЦ РАН»

Типография: Редакционно-издательский отдел КарНЦ РАН
185003, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50