

УДК 553.064.32+553.493.563 (470.22)

## НОВЫЕ АСПЕКТЫ МИНЕРАЛОГИИ И МЕТАЛЛОГЕНИИ ПИТКЯРАНТСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

**В. И. Иващенко, А. И. Голубев**

*Институт геологии Карельского научного центра РАН*

Приведены оригинальные результаты прецизионных минералого-геохимических исследований скарноворудных образований Питкярантского рудного района. Охарактеризованы главные минеральные рудные ассоциации, в том числе 58 впервые обнаруженных здесь минералов (рокезит, ангелаит, павонит, цервеллеит, ялпаит, заварицкит, станноидит и др.), 27 из которых являются первыми находками на территории Карелии. Обосновано важное металлогеническое значение присутствия в питкярантских рудах рокезита ( $\text{CuInS}_2$ ), индийсодержащего (1,0 %) сфалерита, золота самородного, электрума, обширных групп минералов серебра, висмута и теллура. Это и достаточно высокие содержания в рудных скарнах In (до 0,33 %), Ag (до 0,2 %), Au (до 1,1 г/т) и платиноидов (до 0,4 г/т) свидетельствует о металлогенических перспективах данного района на эти металлы. По уровню содержаний индия (~100 г/т) и металлогеническому потенциалу (~2400 т In) Питкярантский рудный район представляется одним из наиболее промышленно перспективных на индий в России. Рассмотрены и обсуждены признаки платиноносности рифейских песчаников района. В сопоставлении с Коростеньским массивом и комплексом Роголанд проведена предварительная прогнозная оценка Салминского анортозит-рапакивигранитного массива на редкоземельное и Ti-P оруденение.

**Ключевые слова:** докембрий, Фенноскандинавский щит, Карелия, Салминский анортозит-рапакивигранитный массив, Питкярантские месторождения, скарны, апоскарновые грейзены, олово, оловоносные гранаты, золото, серебро, платиноиды, индий, рокезит, индийсодержащий сфалерит, редкоземельные элементы, титан, минералогия, металлогения.

### **V. I. Ivashchenko, A. I. Golubev. NEW METALLOGENIC ASPECTS OF SKARNS FROM THE PITKÄRANTA ORE PROVINCE**

The original results of high-precision mineralogical and geochemical studies of the skarn ore samples from the Pitkäranta Ore Province are reported. The main mineral ore assemblages, including 58 minerals revealed there for the first time (roquesite, angelait, pavonite, cervelleite, jalpaite, zavaritskite, stannoidite, etc.), are described. Twenty-seven of them have not been found in Karelia before. Evidence for metallogenic significance of roquesite ( $\text{CuInS}_2$ ), indium-bearing (1.0 %) sphalerite, native gold, electrum and large groups of silver, bismuth and tellurium minerals in Pitkäranta ores is presented. This, together with high concentrations of In (up to 0.33 %), Ag (up to 0.2 %), Au (up 1.1 g/t) and platinoids (up to 0.4 g/t) in the ore skarns, shows that the province has a high metallogenic potential. The Pitkäranta Ore Province is one of the most promising areas in Russia in terms of indium concentration (~100 g/t) and expected indium resources (2400 t). The indications of platinum in the Riphean sandstones of the area are discussed. A comparison with the Korostensky massif and

Rogoland complex is made and the Salmi anorthosite-rapakivi granite massif is preliminarily assessed for rare-earth and Ti-P mineralization.

**Key words:** Precambrian, Fennoscandian Shield, Karelia, Salmi anorthosite-rapakivi granite massif, Pitkäranta deposits, skarns, apokarn greysens, tin, tin-bearing garnets, gold, silver, platinoids, indium, roquesite, indium-bearing sphalerite, rare-earth elements, titanium, mineralogy, metallogeny.

## Введение

Первые находки медной руды в окрестностях Питкяранты относятся к концу XVIII века, а открытие собственно Питкярантского месторождения и начало его горнорудного освоения к 1810 году [Фурман, 1828]. За 200-летний предшествующий нашим исследованиям период эксплуатации и изучения скарново-рудных образований Питкярантского района было добыто: ~500 т олова, ~7000 т меди, ~60 000 т железа, ~11 т серебра, 1 пуд золота [Trüstedt, 1907; Palmunen, 1939] и установлено около 80 рудных минералов – магнетит, халькопирит, сфалерит, пирит, пирротин, касситерит, станнин, стокезит, малайяит, экерит, гюбнерит, шеелит, молибденит, висмут самородный, висмутин, галеновисмутин, висмутотеллуриды, арсенопирит, леллингит, кубанит, галенит, пентландит, марказит, мушкетовит, гематит, тетрадимит, борнит, ковеллин, куприт, тенорит, халькозин, викманит, шенфлессит, англезит, церрусит, лимонит, флюоборит, берборит, золото самородное, гельвин, гентгельвин, бертрандит, берилл, хризоберилл, людвигит, суанит, котоит, гулсит, перцевит, ссайбелиит, гамбергит, валлериит и др. [Trüstedt, 1907; Никольская, Ларин, 1972; Нефедов, 1973; Александров, Тронева, 2009 и др.], которые и определяли их металлогеническую специализацию – Sn, Cu, Zn, Fe, Be.

Скарноворудные месторождения и проявления Питкярантского рудного района размещаются в западном полого погружающемся экзоконтакте Салминского массива рапакиви (рис. 1). В целом для этих месторождений от кровли массива отмечается следующая генерализованная зональность рудоносных метасоматитов: измененные скарны – Fe-Zn-Sn-Cu; апоскарновые грейзены – Sn-Zn-Be-флюорит ( $\pm$  Cu); низкотемпературные апоскарновые метасоматиты – Sn, Pb, Zn ( $\pm$  Cu). Эта зональность в зависимости от многих факторов в ряде мест нарушается, или совсем не проявлена, но в обобщенном виде для Питкярантского руд-

ного района выдерживается [Никольская, Гордиенко, 1977; Никольская и др., 1977; Иващенко, 1987; Ларин и др., 1991 и др.].

Наиболее перспективны на олово скарны Питкярантской, Уксинской и Люпиковской купольных структур. В зависимости от степени грейзеновых преобразований скарны характеризуются олово-медно-полиметаллическим оруденением с магнетитом (Питкярантский купол – грейзенизация проявлена слабо или совсем не проявлена) и редкометалльно-флюорит-оловянным с полиметаллами и магнетитом (Люпиковский и Уксинский купола – грейзенизация проявлена сильно). Скарноворудные тела образованы по карбонатным породам питкярантской свиты в обрамлении ремобилизованных архейских гнейсогранитных куполов. Оловянное и редкометалльно-оловянное оруденение сконцентрировано преимущественно в скарнах ее нижнего карбонатного горизонта. Скарны верхнего горизонта обычно содержат магнетит-сфалеритовое оруденение и изредка бедное оловянное и редкометалльное. Рудные тела имеют неправильную линзовидную и пластообразную форму, обусловленную особенностями морфологии скарновых залежей. В связи с малой мощностью, неоднородным составом и строением исходных карбонатных пачек выдержанные рудные тела приурочены преимущественно к крутопадающим скарновым залежам. Центральные, наиболее богатые части рудных залежей, располагаются практически на одном гипсометрическом уровне для большинства месторождений района. К этой поверхности приурочены Sn- и Be-Sn-рудные столбы преимущественно субгоризонтальной ориентировки в плоскости карбонатных пластов. Это, вероятно, обусловлено особенностями рудоотложения в местах пересечения крутопадающих рудоподводящих каналов и послонных рудоконтролирующих нарушений в карбонатных горизонтах [Ларин, 2011]. К наиболее значительным оловорудным объектам относятся месторождения – Кителя, Уксинское и Хопунваара [Хазов, 1982; Минерально-сырьевая..., 2005].

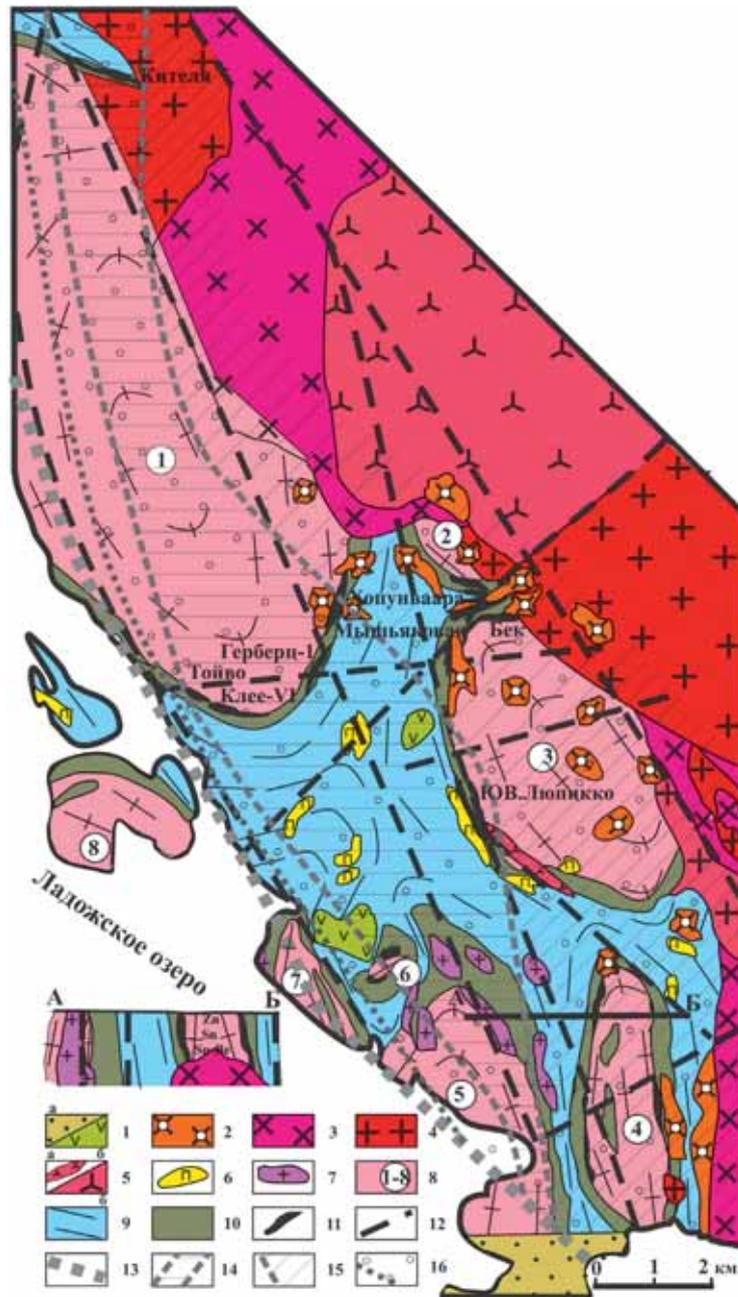


Рис. 1. Схема геологического строения Питкярантского рудного района, по: [Trüstedt, 1907; Никольская и др., 1977; Ларин и др., 1991] с дополнениями:

1 – салминская свита: **а** – песчаники, гравелиты, **б** – базальты, долериты; 2 – лейкограниты и литий-фтористые граниты, в различной степени альбитизированные и грейзенизированные; 3 – мелкозернистые рапакиви-граниты третьей фазы; 4 – среднезернистые, порфировидные биотитовые рапакиви-граниты второй фазы; 5а – гранит-порфиры (дайковая фация гранитов первой фазы), 5б – порфировидные амфибол-биотитовые рапакиви-граниты первой фазы; 6 – керамические пегматиты; 7 – синорогенные плагиограниты, гранодиориты; 8 – ремобилизованные архейские гнейсогранитные купола (1 – Питкярантский, 2 – Винбергский, 3 – Люпиковский, 4 – Уксинский, 5 – Ристиниевский, 6 – Хепосельский, 7 – Юляринский, 8 – Пусунсаарский); 9 – ладожская серия: биотит-кварцевые, кварц-полевошпато-биотитовые, местами амфибол- и графитсодержащие сланцы с прослоями роговиков и скарноидов; 10 – питкярантская свита: амфиболиты, амфиболовые, графитистые и графитсодержащие сланцы, доломитовые и аподоломитовые кальцитовые мраморы и скарны по ним; 11 – скарны, грейзенизированные скарны и низкотемпературные метасоматиты по ним с железо-медь-цинк-оловянным оруденением и редкометалльной минерализацией; 12 – тектонические нарушения; 13 – проекция на современную эрозионную поверхность границы резкого перегиба кровли Салминского массива, с изменением пологого ее погружения на вертикальное (она же оконтуривает зону распространения скарнов с железо-цинк-оловянным оруденением); 14–16 – рудная зональность: 14 – зона амфиболсодержащих метасоматитов (пропилитов) с преимущественно оловянным оруденением, 15 – зона грейзенов (в т. ч. и апоскарновых) с оловянно-редкометалльным и флюоритовым оруденением, 16 – зона кварц-карбонатных, карбонатных, хлоритовых метасоматитов с олово-медно-цинковым оруденением

## Новые данные по минералогии и оруденению скарнов Питкярантского рудного района

Проведенные нами на современном научном оборудовании (SEM VEGA II LSN с микроанализатором INCA Energy 350, ИГ КарНЦ РАН; SEM HITACHI S-3660N, у-т г. Турку, Финляндия; Perkin Elmer-SCIEX ELAN 6000, ICP-MS, ALA Canada; ICP-MS, ИГЕМ РАН) минералого-геохимические исследования рудоносных скарнов Питкярантской группы месторождений позволили установить наличие ряда новых для них редких рудных минералов (табл. 1) и повышенных содержаний редких и благородных металлов (табл. 2) [Иващенко и др., 2011], в совокупности раскрывающих новые металлогенические перспективы всего скарноворудного района. Общее число рудных минералов, выявленных в рассматриваемых месторождениях, составило 140, из них 58 было идентифицировано здесь впервые (см. табл. 1).

Минералы золота и серебра насчитывают 17 видов (12 установлены в скарнах Питкяранты впервые). Золото самородное встречается преимущественно в слюдисто-флюоритовых апоскарновых грейзенах и более низкотемпературных флюоритсодержащих метасоматитах. Золотины находятся в ассоциации с никель- и кобальтсодержащим леллингитом и минералами висмута. Встречаются также по спайности в биотите, что впервые было отмечено Е. И. Нефедовым [1973], и в высокожелезистом хлорите (рис. 2, D).

Электрум ( $Au_{0,37-0,54}Ag_{0,46-0,63}$ ) распространен более широко, чем золото самородное. Его микроразмерные (1–70 мкм) выделения установлены в апоскарновых метасоматитах месторождений Кителя, Тойво и Люпикко. Электрум отмечается в виде включений в висмуте самородном, либо в сростаниях с ним, ассоциируя с гесситом (см. рис. 2, A) и алтаитом (см. рис. 2, B, C). Соотношение с последним указывает на их близко одновременное образование, или немного более раннее для электрума.

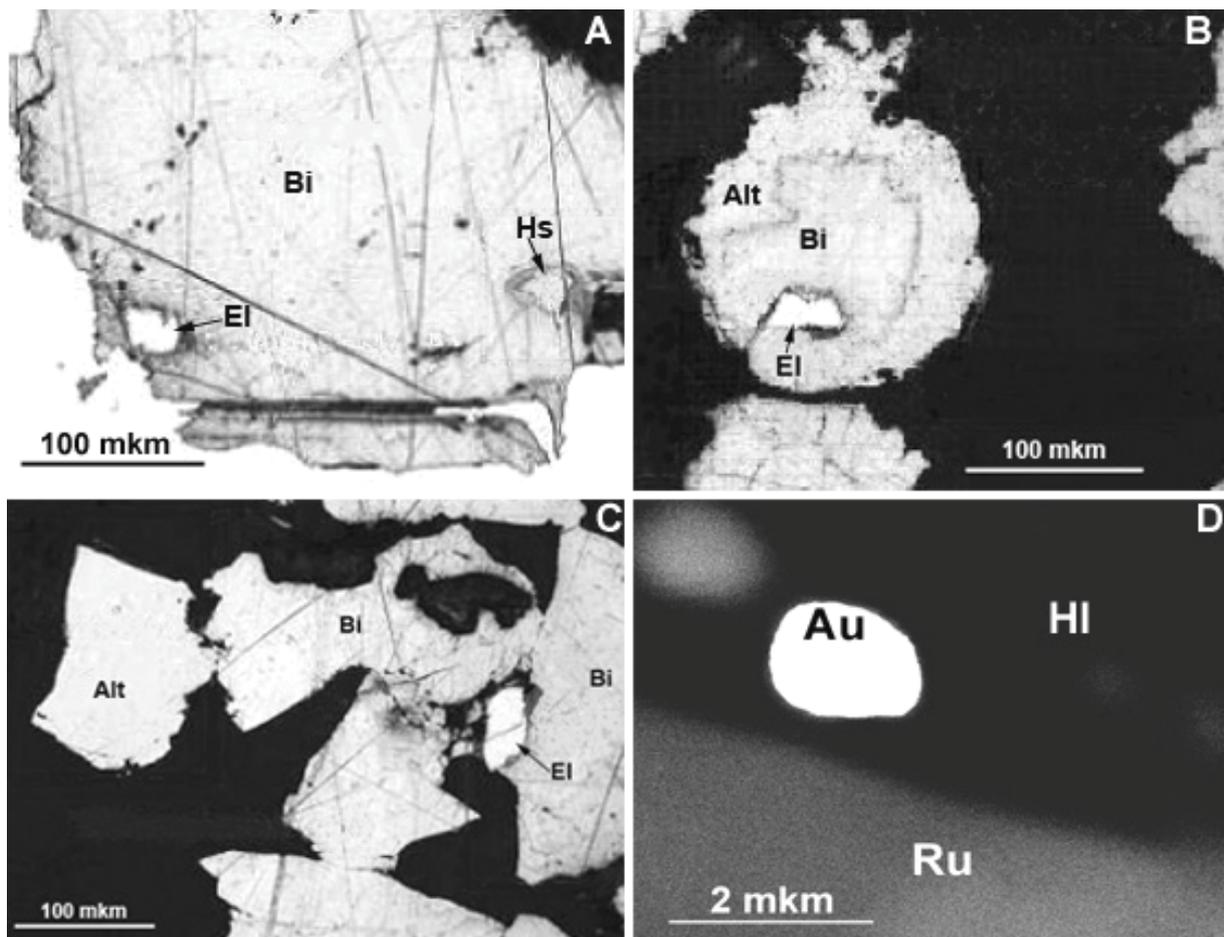


Рис. 2. Благороднометалльная минерализация в рудах Люпикко:

A, B, C – фото в отраженном свете [Герасимова, 2009]; D – фото в отраженных электронах: Au – золото самородное, Alt – алтаит, Bi – висмут самородный, El – электрум, Hs – гессит, Hl – хлорит, Ru – рутил

Таблица 1. Рудные минералы Питкярантской группы месторождений

Самородные металлы и минералы Au, Ag	Минералы Bi, Te	Минералы Cu, Fe, Zn, Pb, Ni	Минералы Sn, W, Mo, Be, Nb	Минералы REE, U, Th	Гипергенные минералы
Золото сам. <sup>1,6</sup> Au Серебро сам. <sup>1,2,5,6,7</sup> Ag Висмут сам.* Vi	Алексит <sup>5</sup> <i>PbBi<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>S<sub>2</sub></i> Алтаит* <sup>6</sup> <i>PbTe</i> Жозеит-B <sup>2</sup> <i>Bi<sub>4</sub>TeS</i>	Борнит* <i>Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub></i> <u>Виллемит</u> <i>Zn<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]</i> Галенит <i>PbS</i>	Бавенит <sup>6</sup> <i>Ca<sub>4</sub>[Be<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>26</sub>](OH)<sub>2</sub></i> Берилл* <sup>6</sup> <i>Al<sub>2</sub>[Be<sub>3</sub>(Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>)]</i> Берtrandит* <sup>4,6</sup> <i>Be<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(OH)<sub>2</sub></i> Бетафит <sup>6</sup> <i>(Ca,U)<sub>2</sub>(Ti,Nb,Ta)<sub>2</sub>(O,OH)<sub>7</sub></i> Бехоит <sup>6</sup> <i>Be(OH)<sub>2</sub></i> Биттеит <sup>6</sup> <i>LiCaAl<sub>4</sub>(AlBeSi<sub>2</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub></i> Бромеллит <sup>6</sup> <i>BeO</i>	Ксенотим* <sup>6</sup> <i>YPO<sub>4</sub></i> Масюйит <sup>4</sup> <i>Pb(UO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>O<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub>*3H<sub>2</sub>O</i> Монацит* <sup>6</sup> <i>(Ce,La)PO<sub>4</sub></i> Ортит* <sup>6</sup> <i>(Ca,Ce,La,Y)<sub>2</sub>(Al,Fe)<sub>3</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH)</i> Паризит* <sup>6</sup> <i>Ca(Ce,La)<sub>4</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F<sub>2</sub></i> Рабдофанит <sup>6</sup> <i>(Ce,La)PO<sub>4</sub>*H<sub>2</sub>O</i> Резерфорддин <sup>3</sup> <i>UO<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Ричетит <sup>4</sup> <i>(PbU<sub>4</sub>O<sub>13</sub>*3H<sub>2</sub>O</i> Синчезит* <sup>6</sup> <i>CaCe(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F</i> Торианит <sup>6</sup> <i>ThO<sub>2</sub></i> Уранинит* <i>UO<sub>3</sub></i>	Азурит <sup>4</sup> <i>Cu<sub>3</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)</i> Англезит* <i>PbSO<sub>4</sub></i> Англезит-халькоцианит <i>(PbSO<sub>4</sub>-CuSO<sub>4</sub>)</i> АшOVERИТ <sup>4</sup> <i>Zn(OH)<sub>2</sub></i> Барит <i>BaSO<sub>4</sub></i> Бисмит* <sup>4</sup> <i>Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i> Бисмутит* <sup>4</sup> <i>(BiO)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Гетит <i>FeO(OH)</i> Гидрогетит* <i>aFeOОН*nH<sub>2</sub>O</i> Гидроокисел As, Fe Гидросульфат Fe Гидросульфат Pb, Cu Гидроцинкит <sup>4</sup> <i>Zn<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub></i> Каннонит <sup>6</sup> <i>Bi<sub>2</sub>O(OH)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i> Карибибит <sup>5</sup> <i>Fe<sub>2</sub>As<sub>4</sub>(O,OH)<sub>9</sub></i> Куприт* <sup>1</sup> <i>Cu<sub>2</sub>O</i> Линдквистит <sup>1</sup> <i>Pb<sub>2</sub>Fe<sub>9</sub>O<sub>28</sub></i> Малахит <i>Cu<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub></i> Платнерит <sup>1,2</sup> <i>PbO<sub>2</sub></i> Розазит <sup>4</sup> <i>(Cu,Zn)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub></i> Скородит* <sup>3,5</sup> <i>FeAsO<sub>4</sub>*2H<sub>2</sub>O</i> Смитсонит <sup>5</sup> <i>ZnCO<sub>3</sub></i> Тенорит* <sup>2</sup> <i>CuO</i> Ченевихит <sup>5</sup> <i>Cu<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O</i> Шнейдерхонит <sup>5</sup> <i>Fe<sup>+2</sup>Fe<sup>+3</sup>As<sup>+3</sup>O<sub>13</sub></i> Церуссит* <i>PbCO<sub>3</sub></i> Экерит <sup>1</sup> <i>Ca<sub>2</sub>SnAl<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>(OH)<sub>2</sub>*2H<sub>2</sub>O</i>
Медь сам. <sup>6</sup> Cu	Виттихенит* <sup>4,5,6</sup> <i>Cu<sub>3</sub>BiS<sub>3</sub></i>	Гардистонит <i>Ca<sub>2</sub>ZnSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub></i>	Бетафит <sup>6</sup> <i>(Ca,U)<sub>2</sub>(Ti,Nb,Ta)<sub>2</sub>(O,OH)<sub>7</sub></i> Бехоит <sup>6</sup> <i>Be(OH)<sub>2</sub></i> Биттеит <sup>6</sup> <i>LiCaAl<sub>4</sub>(AlBeSi<sub>2</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub></i> Бромеллит <sup>6</sup> <i>BeO</i>	Ортит* <sup>6</sup> <i>(Ca,Ce,La,Y)<sub>2</sub>(Al,Fe)<sub>3</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH)</i> Паризит* <sup>6</sup> <i>Ca(Ce,La)<sub>4</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F<sub>2</sub></i> Рабдофанит <sup>6</sup> <i>(Ce,La)PO<sub>4</sub>*H<sub>2</sub>O</i> Резерфорддин <sup>3</sup> <i>UO<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Ричетит <sup>4</sup> <i>(PbU<sub>4</sub>O<sub>13</sub>*3H<sub>2</sub>O</i> Синчезит* <sup>6</sup> <i>CaCe(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F</i> Торианит <sup>6</sup> <i>ThO<sub>2</sub></i> Уранинит* <i>UO<sub>3</sub></i>	АшOVERИТ <sup>4</sup> <i>Zn(OH)<sub>2</sub></i> Барит <i>BaSO<sub>4</sub></i> Бисмит* <sup>4</sup> <i>Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>
Свинец сам. <sup>6</sup> Pb	Висмутин* <sup>4,5</sup> <i>Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub></i>	Гематит <i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	Бехоит <sup>6</sup> <i>Be(OH)<sub>2</sub></i> Биттеит <sup>6</sup> <i>LiCaAl<sub>4</sub>(AlBeSi<sub>2</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub></i> Бромеллит <sup>6</sup> <i>BeO</i>	Паризит* <sup>6</sup> <i>Ca(Ce,La)<sub>4</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F<sub>2</sub></i> Рабдофанит <sup>6</sup> <i>(Ce,La)PO<sub>4</sub>*H<sub>2</sub>O</i> Резерфорддин <sup>3</sup> <i>UO<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Ричетит <sup>4</sup> <i>(PbU<sub>4</sub>O<sub>13</sub>*3H<sub>2</sub>O</i> Синчезит* <sup>6</sup> <i>CaCe(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F</i> Торианит <sup>6</sup> <i>ThO<sub>2</sub></i> Уранинит* <i>UO<sub>3</sub></i>	Барит <i>BaSO<sub>4</sub></i> Бисмит* <sup>4</sup> <i>Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>
Электрум <sup>1,2,6</sup> AuAg	Галеновисмутин <sup>2</sup> <i>PbBi<sub>2</sub>S<sub>4</sub></i>	Дигенит <sup>4</sup> <i>Cu<sub>9</sub>S<sub>5</sub></i>	Биттеит <sup>6</sup> <i>LiCaAl<sub>4</sub>(AlBeSi<sub>2</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub></i> Бромеллит <sup>6</sup> <i>BeO</i>	Рабдофанит <sup>6</sup> <i>(Ce,La)PO<sub>4</sub>*H<sub>2</sub>O</i> Резерфорддин <sup>3</sup> <i>UO<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Ричетит <sup>4</sup> <i>(PbU<sub>4</sub>O<sub>13</sub>*3H<sub>2</sub>O</i> Синчезит* <sup>6</sup> <i>CaCe(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F</i> Торианит <sup>6</sup> <i>ThO<sub>2</sub></i> Уранинит* <i>UO<sub>3</sub></i>	Бисмит* <sup>4</sup> <i>Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>
Акантит* <sup>2,7</sup> Ag <sub>2</sub> S	Заварицкит <sup>4,6</sup> <i>(BiO)F</i> Икнолит <sup>3</sup> <i>Bi<sub>4</sub>(S,Se)<sub>3</sub></i> Паркерит <sup>6</sup> <i>Bi<sub>2</sub>Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub></i>	Идаит <sup>5</sup> <i>Cu<sub>3</sub>FeS<sub>4</sub></i> Ильменил <sup>6</sup> <i>FeTiO<sub>3</sub></i> МАГНЕТИТ <i>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i>	Бромеллит <sup>6</sup> <i>BeO</i> Викманит* <sup>5</sup> <i>MnSn(OH)<sub>6</sub></i> Вольфрамит <sup>6</sup> <i>FeWO<sub>4</sub></i> Гельвин* <sup>6</sup> <i>Mn<sub>4</sub>(Be<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>12</sub>)S</i> Гюбнерит <sup>6</sup> <i>MnWO<sub>4</sub></i>	Резерфорддин <sup>3</sup> <i>UO<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Ричетит <sup>4</sup> <i>(PbU<sub>4</sub>O<sub>13</sub>*3H<sub>2</sub>O</i> Синчезит* <sup>6</sup> <i>CaCe(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F</i> Торианит <sup>6</sup> <i>ThO<sub>2</sub></i> Уранинит* <i>UO<sub>3</sub></i>	Бисмутит* <sup>4</sup> <i>(BiO)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Гетит <i>FeO(OH)</i> Гидрогетит* <i>aFeOОН*nH<sub>2</sub>O</i> Гидроокисел As, Fe Гидросульфат Fe
Ангелаит <sup>5</sup> <i>Cu<sub>2</sub>AgPbBiS<sub>4</sub></i> Аргентовиттит <sup>6</sup> <i>Pb,Ag,Bi<sub>4</sub>(S,Se)<sub>27</sub></i> Аркубисит <sup>1</sup> <i>Ag<sub>6</sub>CuBiS<sub>2</sub></i> Волынскит <sup>6</sup> <i>AgBiTe<sub>2</sub></i>	Пеккоит <sup>5</sup> <i>PbCuBi<sub>18</sub>S<sub>18</sub></i> Пильзенит <sup>6</sup> <i>Bi<sub>4</sub>Te<sub>3</sub></i>	Манганильменит <i>(Fe,Mn)TiO<sub>3</sub></i> Мушкетовит <i>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></i> Ковеллин* <i>CuS</i> Кубанит* <i>CuFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub></i> Пентландит <i>(Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub></i> ПИРИТ <i>FeS<sub>2</sub></i> Пирит-марказит* <i>FeS<sub>2</sub></i> ПИРРОТИН <i>FeS</i> Рутил* <i>TiO<sub>2</sub></i> СФАЛЕРИТ <i>ZnS</i> Титаномагнетит <sup>6</sup> <i>(Fe,Ti)<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i> Халькозин* <i>Cu<sub>2</sub>S</i> ХАЛЬКОПИРИТ <i>CuFeS<sub>2</sub></i>	Гельвин* <sup>6</sup> <i>Mn<sub>4</sub>(Be<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>12</sub>)S</i> Гюбнерит <sup>6</sup> <i>MnWO<sub>4</sub></i> Даналит* <sup>6</sup> <i>Fe<sub>2</sub>Be<sub>3</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>S</i> Ильменорутит <sup>6</sup> <i>(Ti,Nb,Fe<sup>+3</sup>)O<sub>2</sub></i> Иттропироклор <i>(Y,Na,Ca,U)<sub>1,2</sub>(Nb,Ta,Ti)<sub>2</sub>(O,OH)<sub>7</sub></i> КАССИТЕРИТ <i>SnO<sub>2</sub></i> Колумбит* <sup>6</sup> <i>Fe<sup>2+</sup>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub></i> Малайяит* <sup>1</sup> <i>CaSnSiO<sub>5</sub></i> Молибденит* <sup>6</sup> <i>MoS<sub>2</sub></i> Пироклор <sup>6</sup> <i>(NaCa)<sub>2</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>8</sub>(OH,F)</i> Станнин* <sup>5</sup> <i>Cu<sub>2</sub>FeSnS<sub>4</sub></i> Станноидит <sup>4,5</sup> <i>Cu<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>12</sub></i> Стокезит* <sup>1</sup> <i>CaSnSi<sub>2</sub>O<sub>9</sub>*2H<sub>2</sub>O</i> Тааффеит <sup>6</sup> <i>Mg<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>BeO<sub>16</sub></i> Фенакит <sup>6</sup> <i>Be<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub></i> Хризоберилл* <sup>6</sup> <i>BeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub></i> Шеелит* <sup>3,4,5</sup> <i>CaWO<sub>4</sub></i> Шёнфлисцит* <sup>5</sup> <i>MgSn(OH)<sub>6</sub></i> Эвксенит <sup>6</sup> <i>Y(Nb,Ti,Ta)<sub>4</sub>(O,OH)<sub>6</sub></i>	Резерфорддин <sup>3</sup> <i>UO<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Ричетит <sup>4</sup> <i>(PbU<sub>4</sub>O<sub>13</sub>*3H<sub>2</sub>O</i> Синчезит* <sup>6</sup> <i>CaCe(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F</i> Торианит <sup>6</sup> <i>ThO<sub>2</sub></i> Уранинит* <i>UO<sub>3</sub></i>	Бисмутит* <sup>4</sup> <i>(BiO)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Гетит <i>FeO(OH)</i> Гидрогетит* <i>aFeOОН*nH<sub>2</sub>O</i> Гидроокисел As, Fe Гидросульфат Fe Гидросульфат Pb, Cu Гидроцинкит <sup>4</sup> <i>Zn<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub></i> Каннонит <sup>6</sup> <i>Bi<sub>2</sub>O(OH)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i> Карибибит <sup>5</sup> <i>Fe<sub>2</sub>As<sub>4</sub>(O,OH)<sub>9</sub></i> Куприт* <sup>1</sup> <i>Cu<sub>2</sub>O</i> Линдквистит <sup>1</sup> <i>Pb<sub>2</sub>Fe<sub>9</sub>O<sub>28</sub></i> Малахит <i>Cu<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub></i> Платнерит <sup>1,2</sup> <i>PbO<sub>2</sub></i> Розазит <sup>4</sup> <i>(Cu,Zn)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub></i> Скородит* <sup>3,5</sup> <i>FeAsO<sub>4</sub>*2H<sub>2</sub>O</i> Смитсонит <sup>5</sup> <i>ZnCO<sub>3</sub></i> Тенорит* <sup>2</sup> <i>CuO</i> Ченевихит <sup>5</sup> <i>Cu<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O</i> Шнейдерхонит <sup>5</sup> <i>Fe<sup>+2</sup>Fe<sup>+3</sup>As<sup>+3</sup>O<sub>13</sub></i> Церуссит* <i>PbCO<sub>3</sub></i> Экерит <sup>1</sup> <i>Ca<sub>2</sub>SnAl<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>(OH)<sub>2</sub>*2H<sub>2</sub>O</i>
Гессит* <sup>1,2,4,5,6</sup> <i>Ag<sub>2</sub>Te</i> Курилит <sup>6</sup> <i>(Ag,Au)<sub>2</sub>(Te,Se,S)</i> Маковиски <sup>5</sup> <i>Ag<sub>1,3</sub>Bi<sub>5,5</sub>S<sub>9</sub></i> Матильдит <sup>2</sup> <i>AgBiS<sub>2</sub></i> Науманнит <sup>5</sup> <i>Ag<sub>2</sub>Se</i> Павонит <sup>2,4</sup> <i>AgBi<sub>3</sub>S<sub>5</sub></i> Штютцит <sup>6</sup> <i>Ag<sub>5</sub>Te<sub>3</sub></i> Цервеллеит <sup>1</sup> <i>Ag<sub>4</sub>TeS</i> Ялпаит <sup>2,6</sup> <i>Ag<sub>3</sub>CuS<sub>2</sub></i> <i>AgCuFeS<sub>3</sub></i> <sup>2</sup> <i>Cu<sub>4</sub>Ag<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>S<sub>7</sub></i> <sup>5</sup> <i>Cu<sub>3</sub>AgFeS<sub>4</sub></i> <sup>5</sup> <i>Ag<sub>2</sub>Pb(Te,S,Se)<sub>3</sub></i> <sup>1</sup> <i>Ag<sub>3</sub>Te<sub>2</sub>Bi<sup>6</sup></i>	Раклиджит <sup>6</sup> <i>(Pb,Bi)<sub>3</sub>Te<sub>4</sub></i> Тетрадимит <sup>2</sup> <i>Bi<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>S</i> Хедлейит <sup>6</sup> <i>Bi<sub>7</sub>Te<sub>3</sub></i> Эмплектит <sup>4</sup> <i>CuBiS<sub>2</sub></i> <i>Bi<sub>2</sub>PbTe</i> <i>CuBiS<sub>2</sub></i> <b>Минералы As, In</b> Арсенопирит <sup>5</sup> <i>FeAsS</i> Герсдорфит <sup>6</sup> <i>NiAsS</i> Глаукодит <sup>3,6</sup> <i>(Fe,Co)AsS</i> Кобальтин* <sup>6</sup> <i>CoAsS</i> Лёллингит* <sup>3,5</sup> <i>FeAs<sub>2</sub></i> Маухерит <sup>6</sup> <i>Ni<sub>17</sub>As<sub>8</sub></i> Никелин <sup>6</sup> <i>NiAs</i> Саффорит <sup>3</sup> <i>(Co,Fe)As<sub>2</sub></i> Рокезит <sup>5</sup> <i>CuInS<sub>2</sub></i>	Манганильменит <i>(Fe,Mn)TiO<sub>3</sub></i> Мушкетовит <i>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></i> Ковеллин* <i>CuS</i> Кубанит* <i>CuFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub></i> Пентландит <i>(Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub></i> ПИРИТ <i>FeS<sub>2</sub></i> Пирит-марказит* <i>FeS<sub>2</sub></i> ПИРРОТИН <i>FeS</i> Рутил* <i>TiO<sub>2</sub></i> СФАЛЕРИТ <i>ZnS</i> Титаномагнетит <sup>6</sup> <i>(Fe,Ti)<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i> Халькозин* <i>Cu<sub>2</sub>S</i> ХАЛЬКОПИРИТ <i>CuFeS<sub>2</sub></i>	Гельвин* <sup>6</sup> <i>Mn<sub>4</sub>(Be<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>12</sub>)S</i> Гюбнерит <sup>6</sup> <i>MnWO<sub>4</sub></i> Даналит* <sup>6</sup> <i>Fe<sub>2</sub>Be<sub>3</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>S</i> Ильменорутит <sup>6</sup> <i>(Ti,Nb,Fe<sup>+3</sup>)O<sub>2</sub></i> Иттропироклор <i>(Y,Na,Ca,U)<sub>1,2</sub>(Nb,Ta,Ti)<sub>2</sub>(O,OH)<sub>7</sub></i> КАССИТЕРИТ <i>SnO<sub>2</sub></i> Колумбит* <sup>6</sup> <i>Fe<sup>2+</sup>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub></i> Малайяит* <sup>1</sup> <i>CaSnSiO<sub>5</sub></i> Молибденит* <sup>6</sup> <i>MoS<sub>2</sub></i> Пироклор <sup>6</sup> <i>(NaCa)<sub>2</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>8</sub>(OH,F)</i> Станнин* <sup>5</sup> <i>Cu<sub>2</sub>FeSnS<sub>4</sub></i> Станноидит <sup>4,5</sup> <i>Cu<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>12</sub></i> Стокезит* <sup>1</sup> <i>CaSnSi<sub>2</sub>O<sub>9</sub>*2H<sub>2</sub>O</i> Тааффеит <sup>6</sup> <i>Mg<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>BeO<sub>16</sub></i> Фенакит <sup>6</sup> <i>Be<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub></i> Хризоберилл* <sup>6</sup> <i>BeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub></i> Шеелит* <sup>3,4,5</sup> <i>CaWO<sub>4</sub></i> Шёнфлисцит* <sup>5</sup> <i>MgSn(OH)<sub>6</sub></i> Эвксенит <sup>6</sup> <i>Y(Nb,Ti,Ta)<sub>4</sub>(O,OH)<sub>6</sub></i>	Резерфорддин <sup>3</sup> <i>UO<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Ричетит <sup>4</sup> <i>(PbU<sub>4</sub>O<sub>13</sub>*3H<sub>2</sub>O</i> Синчезит* <sup>6</sup> <i>CaCe(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F</i> Торианит <sup>6</sup> <i>ThO<sub>2</sub></i> Уранинит* <i>UO<sub>3</sub></i> <b>Минералы В</b> Берборит <sup>4,6</sup> <i>Be<sub>2</sub>(OH,F) BO<sub>3</sub>*H<sub>2</sub>O</i> Гамбергит* <sup>4,6</sup> <i>Be<sub>2</sub>(OH,F) BO<sub>3</sub></i> Гулсит <sup>4,6</sup> <i>Fe<sub>2</sub>Mg[BO<sub>3</sub>JO<sub>2</sub></i> Котоит <sup>4,6</sup> <i>Mg<sub>4</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></i> Людвигит <sup>4,6*</sup> <i>Mg<sub>2</sub>Fe[BO<sub>3</sub>JO<sub>2</sub></i> Перцевит <sup>4,6</sup> <i>Mg<sub>2</sub>{[BO<sub>3</sub>](F,OH)}<sub>1-2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>x</sub></i> Ссайбелеит <sup>4,6</sup> <i>MgBO<sub>3</sub>(OH)</i> Суанит* <i>Mg<sub>2</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></i> Флюоборит* <sup>3</sup> <i>Mg<sub>3</sub>[BO<sub>3</sub>](F,OH)<sub>3</sub></i>	Бисмутит* <sup>4</sup> <i>(BiO)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i> Гетит <i>FeO(OH)</i> Гидрогетит* <i>aFeOОН*nH<sub>2</sub>O</i> Гидроокисел As, Fe Гидросульфат Fe Гидросульфат Pb, Cu Гидроцинкит <sup>4</sup> <i>Zn<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub></i> Каннонит <sup>6</sup> <i>Bi<sub>2</sub>O(OH)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i> Карибибит <sup>5</sup> <i>Fe<sub>2</sub>As<sub>4</sub>(O,OH)<sub>9</sub></i> Куприт* <sup>1</sup> <i>Cu<sub>2</sub>O</i> Линдквистит <sup>1</sup> <i>Pb<sub>2</sub>Fe<sub>9</sub>O<sub>28</sub></i> Малахит <i>Cu<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub></i> Платнерит <sup>1,2</sup> <i>PbO<sub>2</sub></i> Розазит <sup>4</sup> <i>(Cu,Zn)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub></i> Скородит* <sup>3,5</sup> <i>FeAsO<sub>4</sub>*2H<sub>2</sub>O</i> Смитсонит <sup>5</sup> <i>ZnCO<sub>3</sub></i> Тенорит* <sup>2</sup> <i>CuO</i> Ченевихит <sup>5</sup> <i>Cu<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O</i> Шнейдерхонит <sup>5</sup> <i>Fe<sup>+2</sup>Fe<sup>+3</sup>As<sup>+3</sup>O<sub>13</sub></i> Церуссит* <i>PbCO<sub>3</sub></i> Экерит <sup>1</sup> <i>Ca<sub>2</sub>SnAl<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>(OH)<sub>2</sub>*2H<sub>2</sub>O</i>

Примечание. Минералы, набранные прописными буквами – главные; жирным шрифтом – второстепенные; со звездочкой \* – редкие; без звездочки – очень редкие; цифра сверху – место нахождения минерала (1 – Кителя, 2 – Тойво, Клее 6, 3 – Герберц, 4 – Хопунваара, 5 – Мышьяковская Шахта, 6 – Люпикко, 7 – Омелянов); подчеркнутые – выявленные в Питкярантском рудном районе впервые; формулы без названия минерала – неидентифицированные минеральные фазы; всего рудных минералов – 140, впервые выявленных в скарноворудных образованиях Питкярантской группы месторождений – 58; неидентифицированных минеральных фаз – 7. В таблице использовались также данные [Saksela, 1951; Нефедов, 1973; Никольская, Гордиенко, 1977; Иващенко, 1987; Александров, Торнева, 2009; Герасимова, 2009; Valkama, 2009; Иващенко, Голубев, 2011; Иващенко и др., 2011; Ларин, 2011 и др.]

Таблица 2. Средние содержания (г/т) рудных элементов в продуктивных скарнах Питкярантской группы месторождений

Элементы	Кителя	Люпикко	Клее VI	Герберц	Мышьяковая	Хопунваара
In	11	84	10	77	270	181
Ag	47	88	49	1	447	22
Cu	23603	52825	18580	173	34975	296
As	66	311	39	1202	1609	22
Bi	3	55	50	14	628	355
Te	1	2	5	0,3	12	5
Sn	1040	346	595	825	648	83
Zn	20702	117625	51900	158320	169314	136800
Cd	102	846	259	731	852	2418
Au, ppb	54	63	193	2	115	15
Rh, ppb	12	5	1	1	5	1
Pd, ppb	168	20	74	16	58	42
Ir, ppb	4,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pt, ppb	45	19	15	22	16	19

Примечание. По данным [Palmunen, 1939] содержания золота и серебра в питкярантских рудах соответственно равны (г/т): шахта Клее-5 (0,2, 20), Клее-6 (0,2, 36), Мария (0,4, 108). Число анализов: Кителя – 3, Люпикко – 4, Клее VI – 2, Герберц – 2, Мышьяковая – 7, Хопунваара – 3. Максимальные содержания серебра и индия в рудах шахты Мышьяковой достигают соответственно 0,2 и 0,3 %.

Минералы серебра представлены как простыми (серебро самородное, гессит, штюцит, акантит, науманнит), так и сложными многокомпонентными соединениями (см. табл. 1, рис. 3). Серебро самородное отмечается в рудах Кителей, Мышьяковой Шахты и Люпикко. Его ксеноморфные зерна размером до 5–10 мкм установлены в пирротине в ассоциации с висмутом самородным, гесситом, пиритом; в алтаите, обрастающем висмут самородный (см. рис. 3), и висмутине (Люпикко).

Гессит наиболее характерен для месторождения Люпикко, где встречается в виде ксеноморфных зерен размером до 50 мкм и микронных пленок на пирротине (см. рис. 3, А), сфалерите (см. рис. 3, В), халькопирите (см. рис. 3, С) и алтаите в хондродите, флюорите, хлорите, ассоциируя с висмутом самородным, галенитом, леллингитом. В виде микровключений он, а местами и штюцит, отмечаются в калишпате, геденбергите, серпентине, халькопирите. Более редки субгексагональные выделения (30–40 мкм) гессита в сфалерите и его мелкие зерна по границе сфалерита и халькопирита в ассоциации со станноидитом и борнитом, а также микропрожилковидные обособления (до 40 мкм длиной) во флюорите в ассоциации с галенитом, халькопиритом, ковеллином и совместные сростания с флюоритом в сфалерите (Мышьяковая Шахта). На месторождении Кителя гессит часто встречается совместно с касситеритом, халькопиритом, пиритом и стокезитом (см. рис. 3, С). По составу он варьирует от чистых разновидностей до селенсодержащих и промежуточных фаз изоморфного ряда гессит-науманнит (табл. 3), хотя сам науманнит встречается исключительно редко (Мышьяковая Шахта). Он образует ксеноморфные микронные выделения

в ковеллине в апоскарновых грейзенах с флюоритом и магнетитом (см. рис. 3, I).

Акантит установлен в медно-полиметаллических рудах месторождения Тойво, образуя сростания с борнитом в сфалерите со структурами распада халькопирита. Он также встречается в виде самостоятельных микрокристаллических агрегатов (до 200 мкм) в окварцованных гранатовых скарнах (гранат оловоносен до 3 %) с халькопиритом, борнитом, галенитом (см. рис. 3, G, J).

Ялпаит ( $Ag_3CuS_2$ ) встречается в рудах месторождений Тойво и Люпикко. Для него характерны агрегаты микросрастаний с халькопиритом (до 200 мкм) по границе последнего с галенитом (см. рис. 3, E, F), что обуславливает невыдержанность его химического состава (рис. 4). В халькопирите отмечаются эксклюзионные выделения сфалерита. Здесь же присутствуют касситерит и церуссит.

Ангелаит ( $Cu_2AgPbBiS_4$ ) диагностирован только в леллингит-полиметаллических ассоциациях Мышьяковой Шахты. Он представлен прерывистыми микроаемаками (1–10 мкм) на зернах сфалерита в хондродите и серпентине в ассоциации с ковеллином и висмутом самородным (см. рис. 3, H). Его состав отличается от стехиометрического практически полным отсутствием свинца (см. табл. 3; рис. 4). Здесь же в единичных случаях отмечаются микровыделения минерала, близкого к курилиту  $[(Ag,Au)_2(Te,Se,S)]$  (см. табл. 3).

В рудах месторождений Кителя, Тойво, Мышьяковая Шахта и Люпикко установлено также 5 недиагностированных минеральных фаз серебра (см. табл. 1), одна из которых ( $AgCuFeS_3$ ) (см. рис. 3, D) включена в международные минералогические базы данных как неназванный минерал, впервые обнаруженный в Китае [Bingcheng et al., 2004].

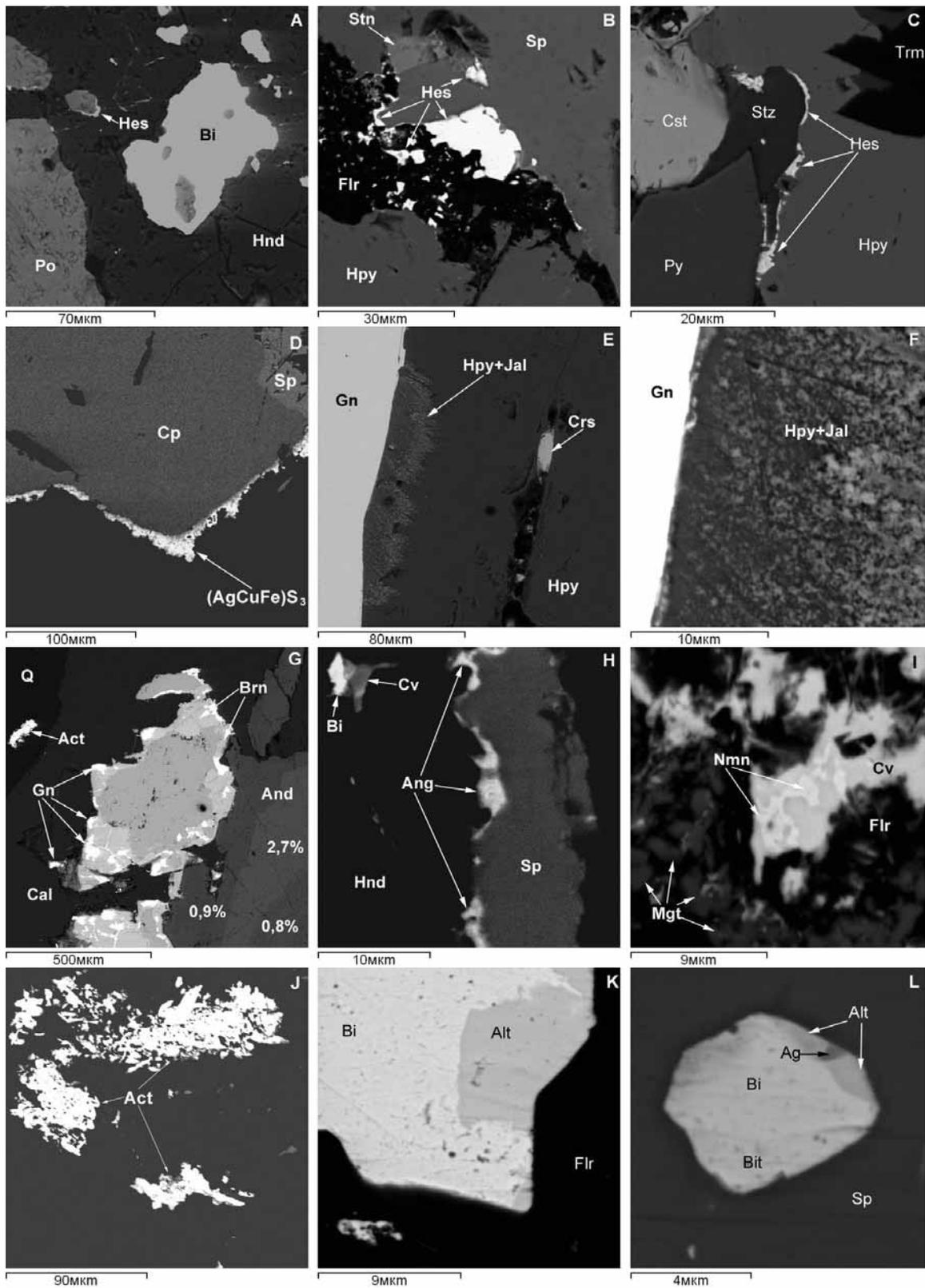


Рис. 3. Минералы серебра и серебряносодержащие минералы в рудах Питкярантских месторождений:

А, К, L – Люпикко; В, Н, I – Мышьяковая Шахта; С – Кителя; D, E, F, G, I – Тойво; Act – акантит, Ag – серебро самородное, Alt – алтаит, And – андрадит, Ang – ангелаит, Bi – висмут самородный, Bit – бисмути́н, Brn – борнит, Cal – кальцит, Cv – ковеллин, Crs – церуссит, Cst – касситерит, Flr – флюорит, Gn – галенит, Hes – гессит, Hnd – хондродит, Hpy – халькопирит, Jal – яллаит, Mgt – магнетит, Nmn – науманнит, Q – кварц, Po – пирротин, Sp – сфалерит, Stn – станнин, Stz – стокезит, Trm – тремолит на рис. G – 2,7% и др. – содержание Sn в андрадите. Остальные пояснения в тексте

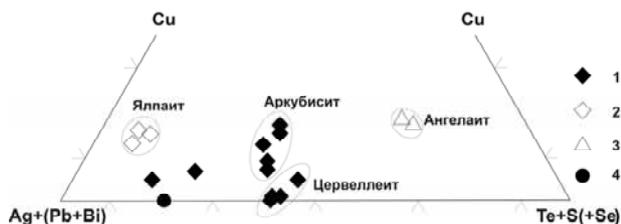


Рис. 4. Состав минералов системы  $Ag + (Pb + Bi) - Cu - Te + S(+Se)$  из руд Питкярантской группы месторождений:

1 – Кителя; 2 – Тойво; 3 – Хопунваара; 4 – Люпикко. 1, 4 – по: [Valkama, 2009]

В большинстве случаев на рудниках Герберц, Хопунваара, Мышьяковая Шахта, Люпикко, Тойво многие рудные минералы, ассоциирующиеся с минералами серебра, характеризуются аномально повышенными содержаниями последнего. В икунолите и висмуте самородном, замещаемом алтаитом (см. рис. 3, К), концентрации серебра достигают 1 %, борните – 1,8 %, бисмите – 7 %, висмутине – 8 %, халькопирите – 9 %, ковеллине – 10 %, идаите – 16 %. По данным [Saksela, 1951] серебро в повышенных количествах отмечается в тетрадимите и галеновисмутине (0,01–1 %) шахты Клее.

Группа минералов висмута и теллура в рудах Питкярантских месторождений насчитывает 15 наименований, из них 8 обнаружены здесь впервые (см. табл. 1, 4). Наиболее распространенными являются висмут самородный и виттихенит.

Висмут самородный отмечается в виде микровключений в леллингите (Мышьяковая Шахта, Люпикко), сфалерите (см. рис. 3, 5, В), со-

вместных сростаний с висмутином, икунолитом (см. рис. 5, С) в сфалерите (Герберц), с бисмитом, сфалеритом, флюоритом в хондродите (Люпикко). Для него характерно также выделение на фронте замещения леллингита арсениопиритом (см. рис. 5, F).

Виттихенит образует микропрожилки совместно с флюоритом в серпентине; обрастает сфалерит, ассоциируя с леллингитом, висмутом самородным, развивается по борниту, слагает сростки с самородным висмутом во флюорите (Мышьяковая Шахта). В сфалерите часто встречается в виде изометричных выделений (см. рис. 5, В) совместно с флюоритом, гетитом, бисмитом и гесситом (Хопунваара). Состав виттихенита близок к стехиометрическому (см. табл. 4), иногда отклоняясь от него за счет примесей цинка.

Паркерит ( $Bi_2Ni_3S_2$ ) обнаружен только в частично хлоритизированных геденбергитовых скарнах Люпикко, где он образует изометричные включения (до 30 мкм) в халькопирите (см. рис. 5, А) и характеризуется почти идеальным химическим составом (см. табл. 4).

Другие Bi-Te-Se минералы (лайтакарит, раклиджит, волинскит) встречаются крайне редко и только в микроразмерных выделениях, ввиду чего определить их корректный химический состав представляется исключительно затруднительным (см. табл. 4).

Арсениды в рудах Питкярантской группы месторождений представлены 8 минералами (см. табл. 1), 6 из которых выявлены здесь впервые. Наиболее распространены ранее известные здесь арсениопирит и леллингит.

Таблица 3. Химические составы (мас.%) минералов серебра из скарнов Питкярантского рудного района

Элементы	ЛюZn6-1	XAS1b/14-1	Лю38-3	Кит6-1	ЛjuT/6-1	ЛjuT/7-1	XAS1b/17-1	XAS1a/23-2	TOI/4-1	Ива-4
Ag	56,74	62,28	61,84	59,90	65,85	63,98	73,17	24,41	67,92	60,86
Au										11,59
Te	43,26	37,72	38,16	34,38	23,03	28,46				24,15
Se				2,18	11,12	6,69	26,83			
Cu								20,02	10,44	
Fe									1,83	
Bi								35,09		
S						0,87		20,68	19,80	3,40
Σ	100,00	100,00	100,00	96,46	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00
Формульные коэффициенты										
Ag	5,29	1,98	1,97	1,95	1,97	1,92	2,00	1,49	2,61	1,84
Au										0,19
Te	2,71	1,02	1,03	0,95	0,58	0,72				0,62
Se				0,10	0,45	0,27	1,00			
Cu								2,10	0,68	
Fe									0,14	
Bi								1,12		
S						0,09		4,29	2,57	0,35

Примечание. ЛюZn6-1 – штюцит ( $Ag_{5x}Te_3$ ); XAS1b/14-1, Лю38-3, Кит6-1 – гессит ( $Ag_2Te$ ); ЛjuT/6-1, ЛjuT/7-1 – промежуточные фазы гессит-науманнит; XAS1b/17-1 – науманнит ( $Ag_2Se$ ); XAS1a/23-2 – ангелайт [ $Cu_2(AgPb)_2BiS_4$ ]; TOI/4-1 – яллаит ( $Ag_3CuS_2$ ); Ива-4 – курилит [ $(Ag,Au)_2(Te,Se,S)$ ].

Таблица 4. Химические составы (мас.%) минералов Bi, Te и Se из скарнов Питкярантского рудного района

	Гер8-1	Гер8-2	ЛјуТ/24-1	ЛюZ12-1	ЛјуТ/6-2	XCuZ7-2	XCuZ8-1	ХопА8-1	XAS1a/ 15-1	XAS1b/ 18-2	ЛюZn/ 14-2	LU1/9-3	LU1/ 15-3
Bi	73,57	80,77	62,18	34,89		40,39	40,45	41,21	35,36	40,93	78,40	82,04	23,72
Te				45,91							21,60	17,96	43,59
Pb	9,18	3,03		19,20	72,65								
Zn							1,62						
Cu						39,33	37,53	38,10	40,18	38,18			
Ni			28,13										
Ag		0,85			5,59								32,69
Te		1,57			3,53								
Se		12,82			13,31								
S	17,25	3,99	9,69		4,92	20,28	20,39	20,69	19,73	20,89			
Σ	100,0	100,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	95,27	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты													
Bi	1,88	3,90	1,93	1,89		0,94	0,94	0,96	0,84	0,95	0,69	0,74	0,61
Te				4,06							0,31	0,26	1,80
Pb	0,23	0,15		1,05	0,93								
Zn							0,12						
Cu						2,99	2,86	2,92	3,12	2,90			
Ni			3,10										
Ag		0,08			0,14								1,59
Te		0,12			0,07								
Se		1,64			0,45								
S	2,88	1,26	1,96		0,41	3,07	3,08	3,12	3,04	3,15			

Примечание. Гер8-1 – висмутин ( $\text{Bi}_2\text{S}_3$ ); Гер8-2 – лайтакарит [ $\text{Bi}_4(\text{Se},\text{S})_3$ ]; ЛјуТ/24-1 – паркерит ( $\text{Bi}_2\text{NiS}_2$ ); ЛюZ12-1 – раклид-жит [ $(\text{Bi},\text{Pb})_3\text{Te}_2$ ]; ЛјуТ/6-2 – клаустогаленит? [ $\text{Pb}(\text{Se},\text{S})$ ]; XCuZ7-2, XCuZ8-1, ХопА8-1, XAS1a/15-1, XAS1b/18-2 – виттихенит ( $\text{Cu}_3\text{BiS}_3$ ); ЛюZn/14-2, LU1/9-3 – хедлейит ( $\text{Bi}_7\text{Te}_3$ ); LU1/15-3 – волянскит? ( $\text{AgBiTe}_2$ ).

Леллингит широко развит на рудниках Мышьяковая Шахта, Хопунваара, Герберц, Люпикко. В большинстве своем он представлен довольно крупными (до 1–2 см) субидиоморфными клиновидными кристаллами, часто замещаемыми арсенопиритом (см. рис. 5, D, F). Иногда встречаются и неоднозначные их соотношения (см. рис. 5, E). Для леллингита характерна ассоциация с магнетитом, касситеритом, сфалеритом, халькопиритом (Мышьяковая Шахта), а также висмутом самородным (Хопунваара). Во включениях в нем отмечаются шеелит, серпентин (Герберц) (см. рис. 5, D). В зонах окисления по леллингиту и арсенопириту развивается скородит и другие арсенаты (см. табл. 1). По содержаниям серы и кобальта арсенопирит и леллингит из разных месторождений существенно различаются (рис. 6, 7). Средние содержания S и Co в леллингите составляют: Герберц – 0,89, 5,42 %; Хопунваара – 1,55, 0 %; Мышьяковая Шахта – 1,56, 0,20 %, Люпикко – 0,77, 1,00 %. Аналогичная закономерность характерна и для содержаний Co в арсенопирите: Герберц – 2,81 %, Мышьяковая Шахта – 0,87 %.

Никелин встречается в виде достаточно крупных (до 150 мкм) овоидоподобных зерен в халькопирите и геденбергите (см. рис. 5, G, H, I), замещается кобальтином и герсдорфитом (см. рис. 5, H, I), обрастает каймами галенита и гессита (см. рис. 5, G, I).

Вольфраматы представлены шеелитом, вольфрамитом и гюбнеритом, встречающимися

в рудах Хопунваары, Мышьяковой Шахты, Герберц и Люпикко. Шеелит ассоциирует с оловянно-редкометалльной и оловянно-медно-полиметаллической минерализацией (рис. 8, B, C) и известен здесь еще со второй половины XIX века [Бек, Тейх, 1869]. Он встречается также в апоскарновых метасоматитах Хепосельки и Уксы. Размерность зерен шеелита часто превышает 1 мм (см. рис. 8, B) и более, а содержание трехоксида вольфрама в измененных скарнах достигает 1 %. По составу выделяется несколько разновидностей шеелита отличающихся содержаниями Fe и Mn. По предварительным данным микрозондового анализа в некоторых шеелитах установлены высокие содержания Mo (до 5 %) и Re (до 4,5 %). Однако эти результаты нуждаются в дополнительных прецизионных исследованиях.

К редким, но достаточно широко распространенным минералам олова в скарновых рудах рассматриваемого района относятся викманит, шенфлессит, станноидит, стокезит и др. Минералы ряда викманит-шенфлессит развиваются по касситериту и вблизи него в серпентин-олово-магнетитовых рудах Мышьяковой Шахты и Хопунваары (см. рис. 8, D). Станнин и станноидит встречаются преимущественно в структурах распада халькопирита (см. рис. 8, E). Стокезит в значительных количествах отмечается в касситерит-сульфидных рудах месторождения Китля (см. рис. 8, F).

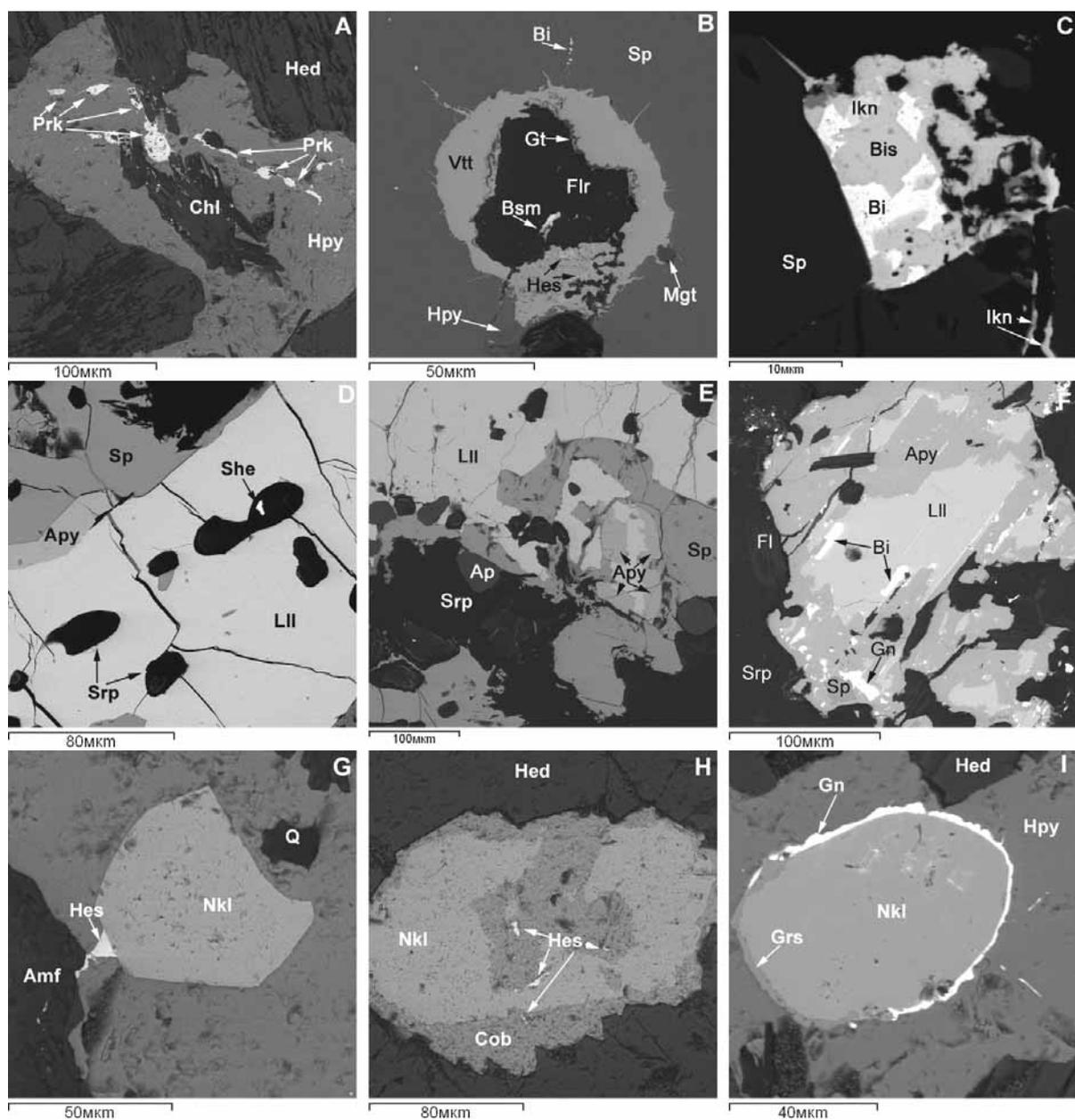


Рис. 5. Минералы висмута, никеля и мышьяка в рудах Питкяррантских месторождений: А, G, H, I – Люпикко; В, F – Хопунваара; С, D, E – Герберц:

Amf – амфибол, Ap – апатит, Apy – арсенопирит, Bi – висмут самородный, Bis – висмутин, Bsm – бисмит, Chl – хлорит, Cob – кобальтин, Fl – флогопит, Flr – флюорит, Gn – галенит, Grs – герсдорфит, Gt – гетит, Hes – гессит, Hed – геденберит, Hpy – халькопирит, Ikn – икунолит, LII – леллингит, Mgt – магнетит, Nkl – никелин, Q – кварц, Prk – паркерит, She – шеелит, Sp – сфалерит, Srp – серпентин, Vtt – виттихенит

Характерным для Питкяррантской группы месторождений является также повсеместное развитие зональных оловосодержащих гранатов (см. рис. 8, G, H, I), с которыми связана существенная часть запасов олова в районе, что отмечалось ранее многими исследователями [Хазов, 1973 и др.].

Е. И. Нефедовым [1973] и работами последних лет, главным образом, С. М. Александрова и М. Л. Троневой [2009] в скарнах района уста-

новлено наличие большой группы минералов-боратов (см. табл. 1).

В низкотемпературных апоскарновых метасоматитах отмечаются радиоактивные минералы (рис. 9), среди которых такие, как резерфордин и ричетит, выявлены здесь впервые (см. табл. 1). В примыкающих к данным метасоматитам флюорит- и топазсодержащим грейзенам широко развита молибденитовая и редкоземельная минерализация (см. табл. 1).

Главными редкоземельными минералами являются ксенотим и монацит, часто имеющие зональное строение и образующие взаимные сростания (рис. 10). Их размерность достигает 1 мм и более, а содержание до 1 %.

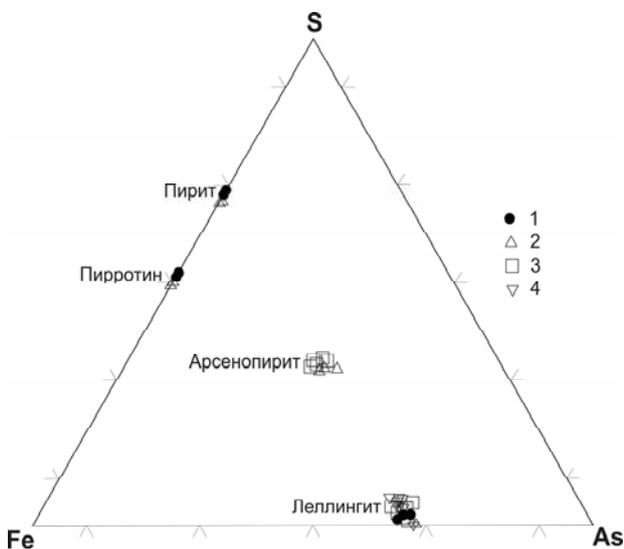


Рис. 6. Состав минералов системы Fe-As-S из руд Питкярантской группы месторождений:

1 – Люпикко; 2 – Хопунваара; 3 – Герберц; 4 – Мышьяковая Шахта

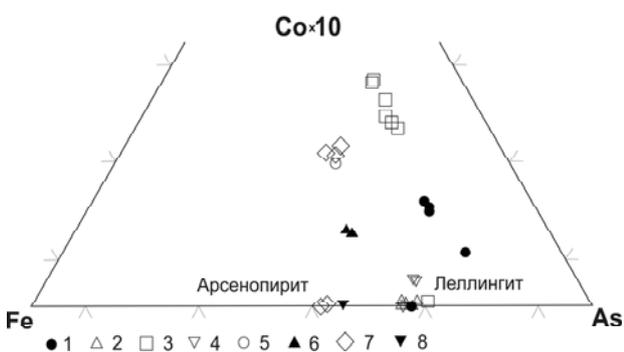


Рис. 7. Диаграмма Fe-Co\*10-As для арсенопирита и леллингита из руд Питкярантской группы месторождений:

1–4 – леллингит: 1 – Люпикко; 2 – Хопунваара; 3 – Герберц; 4 – Мышьяковая Шахта; 5–8 – арсенопирит: 5 – Клее-6; 6 – Хопунваара; 7 – Герберц; 8 – Мышьяковая Шахта

Особой новацией в результатах наших минералогических исследований рудоносных скарнов Питкярантского района является открытие здесь собственного минерала индия – рокезита ( $\text{CuInS}_2$ ). Рокезит был впервые диагностирован здесь по нашим образцам из Мышьяковой Шахты М. Валкама [Valkama, 2009; Иващенко и др., 2011]. Его микроразмерные выделения приурочены к контакту гессита и халькопирита, заключенных в сфалерите (рис. 11, А), а время его образования, вероятно, соотносится с кристалли-

зацией таких минералов как аркубисит (см. рис. 11, Б), хедлейит, заварицкит (см. рис. 11, В), жозеит-В, висмут самородный, павонит (см. рис. 11, Г), или сразу после них.

Последняя выделяемая нами группа минералов в рудах Питкярантских месторождений – гипергенные минералы, одна из самых многочисленных. Она включает 27 минералов, из которых 14 определены здесь впервые (см. табл. 1).

Таким образом, с учетом данных многолетних предшествующих исследований, начиная со времени открытия и разработки Питкярантского месторождения (1810 год), число рудных минералов в скарновых месторождениях в целом по району составляет ~140, из них 58 по результатам наших исследований обнаружены здесь впервые (см. табл. 1). Часть из этих минералов – 27 (ангелаит, аргентовиттит, куриллит, маковискит, павонит, цервеллеит, бисмутит, заварицкит, пекоит, рокезит, маухерит, станноидит, масюйит, рабдофанит, резерфордин, ричетит, виллемит, англезит-халькоцианит, ашоверит, гидроцинкит, каннонит, карибибит, линдквистит, платнерит, розазит, ченевихит, шнейдерхонит) являются первыми находками на территории Карелии, а 25 из них и на всем Карело-Кольском регионе.

## Обсуждение результатов

Из установленных 58 новых для Питкяранты рудных минералов доминируют минералы серебра (13), висмута, теллура (8) и мышьяка (6). С учетом ранее известных здесь же самородных золота, серебра, висмута, меди, свинца, а также электрума, арсенопирита, леллингита и еще целого ряда висмутидов и теллуридов (см. табл. 1) это вполне соответствует продуктивным минеральным ассоциациям многих промышленных золоторудных месторождений. Более того, с позиций универсальности эволюции гидротермальных золоторудных систем [Кременецкий, Минцер, 1995], основывающейся на том, что процесс рудоотложения, преимущественно, контролируется закономерным изменением кислотности-щелочности рудообразующих растворов и температуры, обуславливающим последовательное формирование продуктивных минеральных ассоциаций главных минеральных типов оруденения золота: золото-пирит-арсенопиритового, золото-полисульфидного, золото-теллуридного, золото-антимонитового и золото-киноварного, широкое проявление Au-Ag-Bi-Te-As минерального ансамбля в Питкярантских месторождениях указывает на их вероятные металлогенические перспективы на золото. Прямыми свидетел-

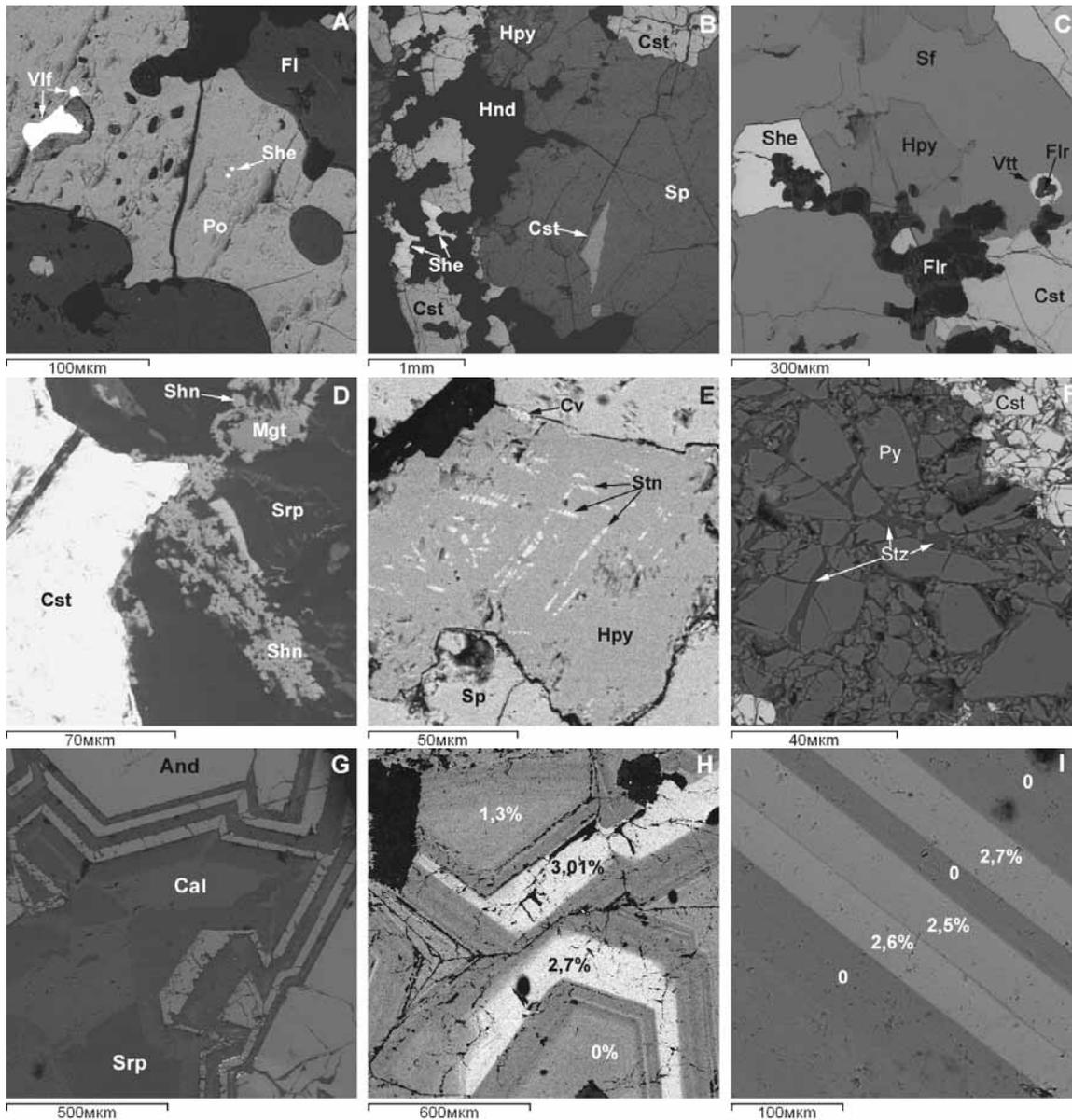


Рис. 8. Минералы олова и вольфрама в рудах Питкярантских месторождений:

А – Люпикко, В, D, E – Мышьяковая Шахта, С, G – Хопунваара, F – Кителя, H, I – Тойво. And – андрадит, Cal – кальцит, Cv – ковеллин, Cst – касситерит, Fl – флогопит, Hnd – хондродит, Hpy – халькопирит, Mgt – магнетит, Po – пирротин, Py – пирит, Shn – шенфлессит, Sp – сфалерит, Srp – серпентин, Stn – станин, Stz – стокезит, Vif – вольфрамит, Vtt – виттихенит На рис H, I – 0–3,1 % – содержание олова в андрадитовом гранате

ствами этого являются повышенные содержания благородных металлов и элементов-спутников золота в породах и рудах некоторых месторождений Питкярантского района, установленные нами (см. табл. 2) и другими исследователями (табл. 5), а также факт добычи за все годы эксплуатации данных месторождений 11 т серебра и 1 пуда золота [Trüstedt, 1907; Palmunen, 1939]. Естественно с современной точки зрения технология извлечения золота и серебра из питкярантских руд в XIX веке была крайне примитивной, и значительная доля этих благородных металлов, учитывая многообра-

зие и сложность минеральных форм их нахождения в перерабатываемых рудах, вероятно, терялась. Дополнительными признаками существования в процессе формирования рассматриваемых месторождений необходимых условий для образования благороднометалльной минерализации служат данные об эволюции рудно-метасоматических преобразований на них в область температур ниже 300 и 200 °С.

По кобальтиновому термометру (рис. 12) температура образования Co-Ni-Fe сульфоарсенидов варьирует в широких пределах: Люпикко – 420–500 °С, Хопунваара – 300–480 °С, Гер-

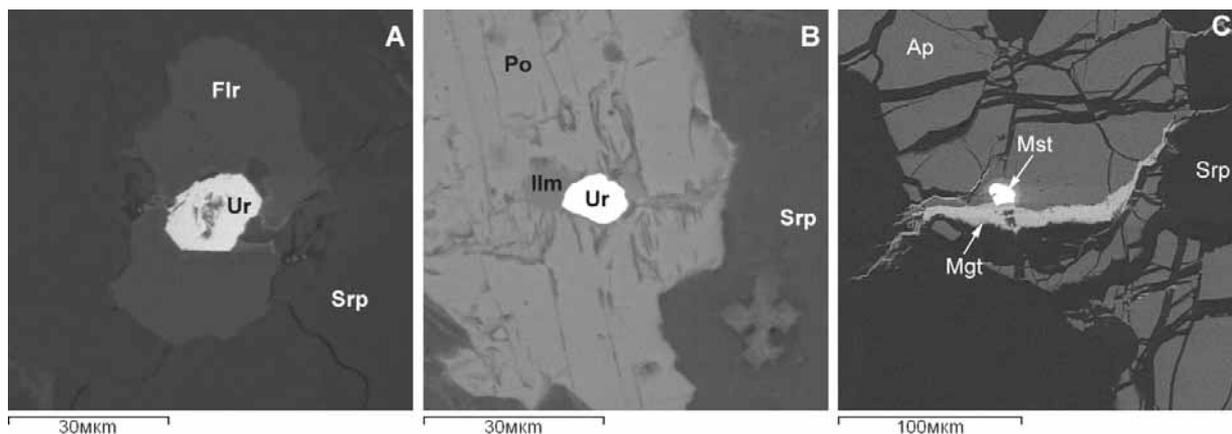


Рис. 9. Урановая минерализация в рудах Питкяртанских месторождений:

А, В – Люпикко, С – Хопунваара. Ap – апатит, Flr – флюорит, Ilm – ильменит, Mgt – магнетит, Mst – масайит, Po – пирротин, Srp – серпентин, Ur – уранинит

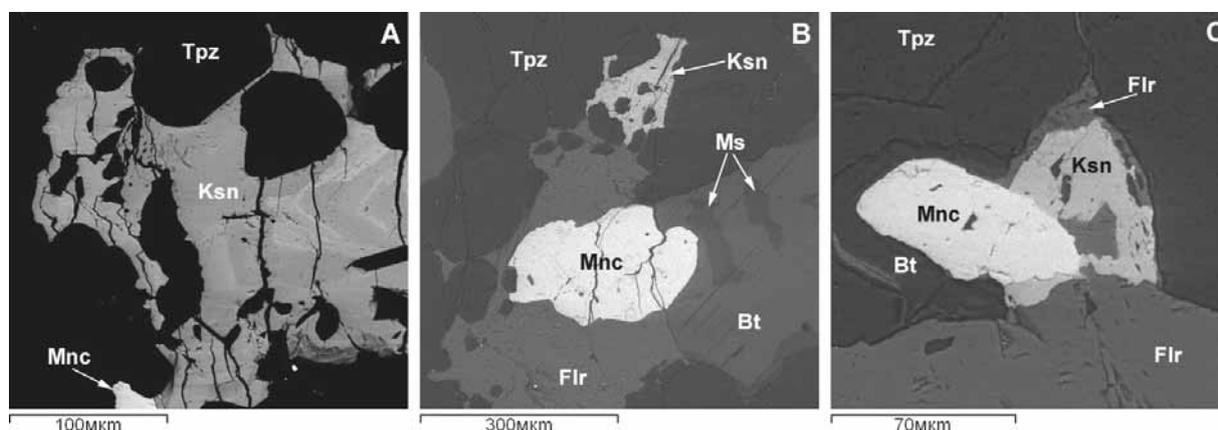


Рис. 10. Редкоземельная минерализация в грейзенах Люпикко:

А – зональный кристалл ксенотима; В – монацит в ассоциации с флюоритом, мусковитом и топазом; С – взаимосрастания монацита и ксенотима. Bt – биотит, Flr – флюорит, Ksn – ксенотим, Mnc – монацит, Ms – мусковит, Tpз – топаз

берц – ~300 °С, а по образцам А. Лайтакари – от < 300° до 500–600 °С. По арсенипиритовому термометру [Kretschmar, Scott, 1976]: Герберц – 405–430 °С, Хопунваара, Мышьяковая Шахта – 300–330 °С; по леллингитовому термометру [Васильев, 1983] для этих же месторождений температуры получаются более высокими – 300–500 °С. Необычно высокой оказалась температура для электрум-сфалеритового парагенезиса по соответствующему термометру [Shikazono, 1985] месторождения Люпикко – 350–380 °С. По хлоритовому термометру [Caritat et al., 1993] температура гидротермально-метасоматических изменений пропилитовой стадии для месторождений Питкяртанты оценивается в 230–290 °С. Причем самые низкие температуры дали высокожелезистые хлориты, близкие к тюрингиту-бавалиту (рис. 13), в ассоциации с которыми наиболее часто встречаются минералы золота и сереб-

ра. Учитывая широкое распространение в исследуемых метасоматитах Au-Ag-Bi-Te-S низкотемпературной минеральной ассоциации (32 минерала), рудообразование происходило, вероятно, и при температурах гораздо ниже, чем установлено по геотермометрам (<< 200°).

Кроме повышенных содержаний золота и серебра в некоторых рудных объектах Питкяртанты отмечаются аномальные концентрации (до 0,4 г/т) платиноидов (см. табл. 2, 5), но собственных минералов Pt и Pd при этом нами здесь выявлено не было. Однако в цементе песчаников базальных горизонтов приозерской свиты рифея, перекрывающих Салминский анортозит-рапакивигранитный комплекс, установлены повышенные содержания (г/т) Pd – до 9,5 и Pt – до 0,5 г/т (табл. 6). В соответствии с объемным содержанием цемента в песчаниках, равным 10–40 %, концентрация МПГ в них может достигать 4 г/т. Методом главных компонент факторного

Таблица 5. Содержание золота, серебра и некоторых редких элементов в рудах Питкярантских месторождений, г/т

Шахты	Au	Ag	In	Bi	Te	Sb	As	W	Be
Кителя (Келиваара)	0,5	132	24 (37)	5	1,3		150	24	107
Тойво	0,4	6	82	1	0,1		25		8
Клара-I/II			105 (0,2 %)						
Клара-III			37 (0,2 %)						
Герберц		1,5	148 (0,5 %)	15	0,6		1200	14	90
Люпикко		166	109 (1 %)	104	2,4		641	814	52
Клее-5, 6	0,3	49	45	50	5	200	200	4	3
Мария	0,4	108				200	200		
As шахта	0,4	1770	605	1440	24		7720	3760	108

Примечание. Таблица составлена с использованием данных [Erämetsä, 1938; Palmunen, 1939; Никольская, Гордиенко, 1977; Valkama, 2009]; для индия значения в скобках (0,2 %) – содержания In в сфалерите; всего 42 анализа. По данным [Левицкий, 2005]: в гранитах рапакиви (22 ан.) Au – 0,29 г/т; в мусковит-биотитовом-грейзене (3 ан.) Au – 0,14 г/т; грезен с сульфидами (1 ан.) Au – 0,97 г/т; везувиан-флюоритовые скарны (2 ан.) Au – 0,175 г/т; магнезиальные скарны с магнетитом (5 ан.) Au – 0,107 г/т, Pd – 0,388 г/т; грейзены по магнетитовым скарнам (3 ан.) Au – 0,134 г/т, Ag – 22,12 г/т, Pd – 0,368 г/т; грейзены по магнетитовым с Cu скарнам (4 ан.) Au – 1,086 г/т, Ag – 11,08 г/т.

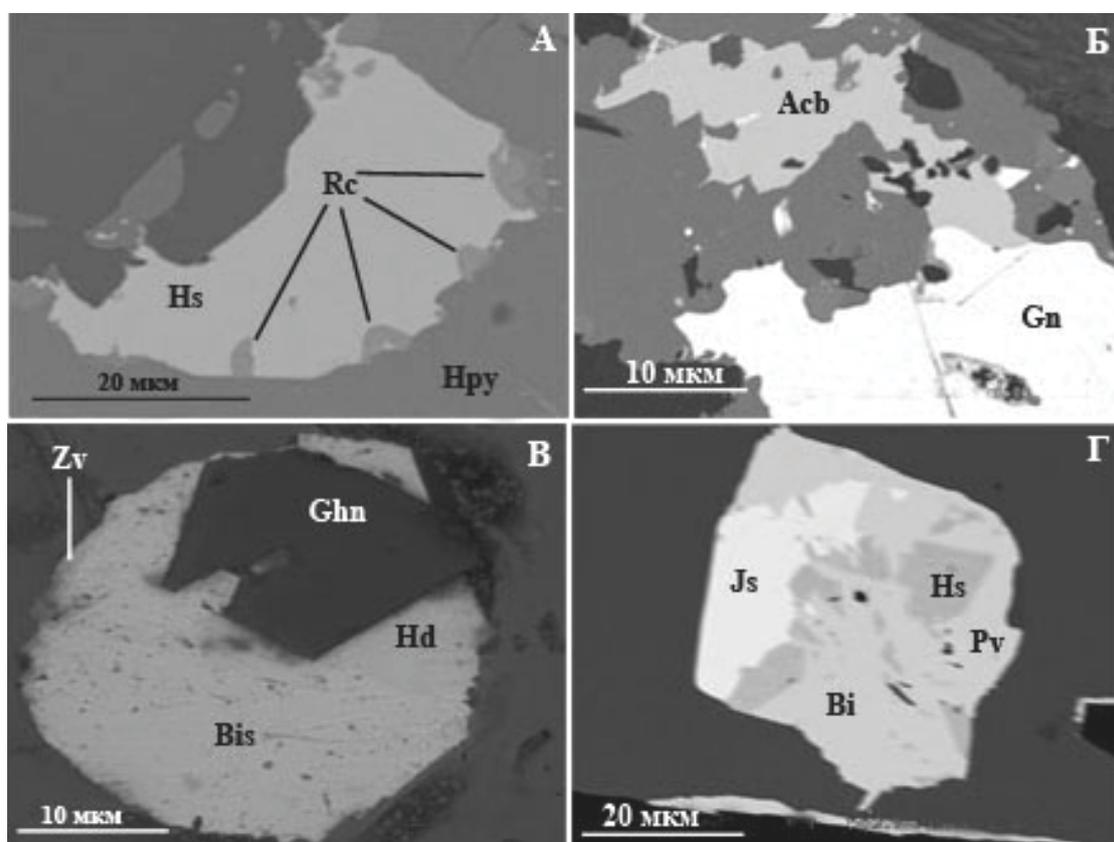


Рис. 11. Редкие рудные минералы в скарнах Питкярантской группы месторождений: А – рокезит –  $\text{CuInS}_2$  (Rc) в ассоциации с гесситом –  $\text{Ag}_2\text{Te}$  (Hs) и халькопиритом (Hpy), Хопунваара Шахта Мышьяковская; Б – аркубит –  $\text{Ag}_6\text{CuBiS}_4$  (Acb) и галенит, месторождение Кителя; В – ганит (Ghn), хедлейит (Hd) и заварицит –  $\text{BiFO}$  (Zv) в ассоциации с висмутом самородным (Bis), Хопунваара рудный карьер; Г – висмутинит (Bi), жозеит –  $\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$  (Js), гессит (Hs), павонит –  $\text{AgBi}_3\text{S}_5$  (Pv), шахта Клее-VI. А, Б, Г – по: [Valkama, 2009; Иващенко и др., 2011]

анализа установлено [Альхов, Панова, 2010], что содержания платиноидов определяются первым фактором ( $F_{1\ 0,30} = \text{Ta}_{0,93} \text{Ti}_{0,92} \text{Sn}_{0,88} \text{Th}_{0,87} \text{Zr}_{0,86} \text{Ag}_{0,85} \text{Pt}_{0,67} \text{Pd}_{0,63}$ ), характеризующим состав пород источника сноса, и это подтверждается высокими содержаниями соответствующих акцессорных минералов (рутил, циркон, ильменит) в песчаниках, типо-

морфных для рапакиви. Согласно результатам исследований А. В. Купцовой с соавторами [2011], полученным изотопным датированием 168 обломочных цирконов, главным источником сноса (на 87 %) для песчаников приозерской свиты являлся Салминский массив анортозит-рапакивигранитной формации. С учетом этого

и установленных в рудах Питкяранты повышенных содержаний палладия в данном рудном районе следует ожидать и нахождения более значительных коренных рудных объектов с платиноидной минерализацией.

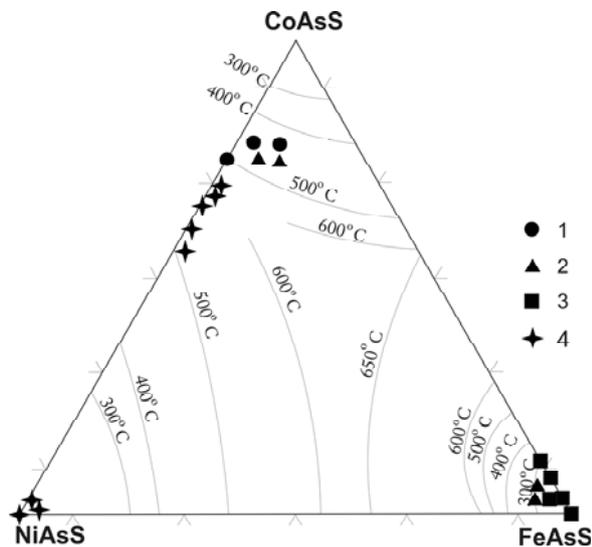


Рис. 12. Состав сульфоарсенидов кобальта, никеля и железа из руд Питкярантской группы месторождений. Температурные кривые – по: [Klemm, 1965]:

1 – Люпикко; 2 – Хопунваара; 3 – Герберц; 4 – образцы A. Laitakari по: [Valkama, 2009]

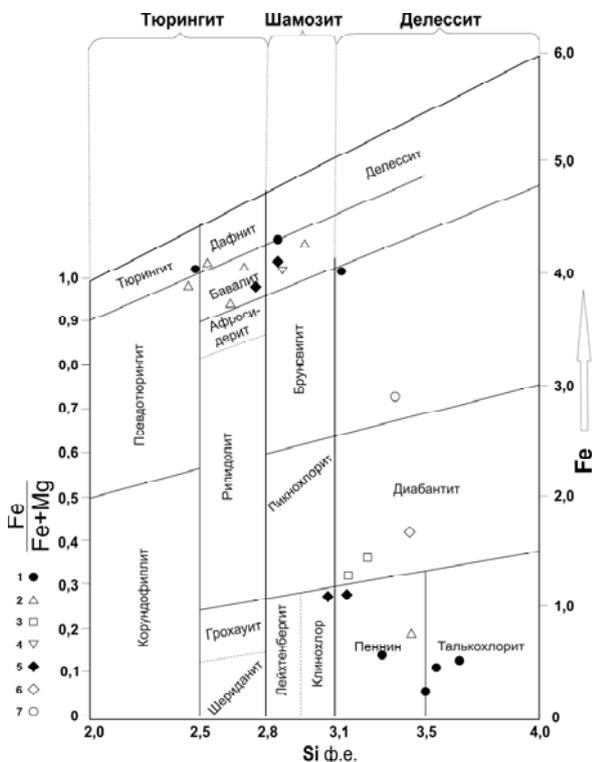


Рис. 13. Состав хлоритов из руд Питкярантской группы месторождений; основа по: [Дир и др., 1966]:

1 – Люпикко; 2 – Хопунваара; 3 – Герберц; 4 – Мышьяковая Шахта; 5 – Кителя; 6 – Тойво; 7 – Укса

Присутствие индия в Питкярантских рудах известно с начала прошлого века [Вернадский, 1910]. Впоследствии повышенное содержание данного металла в них было подтверждено и уточнено (см. табл. 1, 5) и сопровождалось нахождением здесь собственного минерала индия – рокезита ( $CuInS_2$ ) [Valkama, 2009; Sundblad et al., 2010; Иващенко и др., 2011]. В совокупности эти данные с учетом мировой конъюнктуры на индий представляются нам наиболее важным фактором при рассмотрении новых металлогенических аспектов и перспектив Питкярантского рудного района. В других регионах Фенноскандинавского щита рокезит известен только в нескольких местах – в Финляндии и Швеции [Cook et al., 2011]. На территории России собственно индиевая минерализация распространена также мало. Рокезит встречается в некоторых полиметаллических и оловорудных месторождениях Северного Кавказа, Восточной Якутии, Северных Курил и Дальнего Востока [Качаловская и др., 1973; Губанов и др., 1991; Гавриленко, Погребс, 1992; Недашковский, Никулин, 1994; Кокин и др., 2010].

В большинстве мировых In-содержащих месторождений рокезит – несущественный минерал-носитель индия. В качестве главного минерала в балансе индия в рудах он выступает только в месторождениях, где цинк отсутствует или содержится в незначительном количестве, хотя есть и редкие исключения из этого [Shimizu et al., 2008]. Главным минералом-носителем индия в месторождениях Питкяранты, как и в других регионах мира [Gaspar, 2002; Григорьев, 2011; Cook et al., 2011; Andersen et al., 2013 и др.], является сфалерит (см. табл. 5). Наиболее высокие содержания индия установлены в сфалеритах медно-полиметаллических рудных ассоциациях с признаками грейзеновых преобразований из месторождений Люпикко (1 %) и Мышьяковой Шахты (0,33 %). Между содержаниями индия и меди в данных сфалеритах отмечается положительная корреляционная зависимость (рис. 14), что, вероятно, отражает проявление гетеровалентного изоморфизма по схеме:  $(Cu^{+1} In^{+3}) \leftrightarrow (Zn^{+2}, Fe^{+2})$ , предложенной З. Йоханом [Johan, 1988]. Экспериментальные данные [Sombuthawee et al., 1978; Parasyuk et al., 2003] показывают обширную область смесимости между сфалеритом и рокезитом. Однако согласно [Cook et al., 2011], в природных условиях существование  $ZnS-CuInS_2$  твердого раствора ограничено, вероятно, самое большое несколькими мас. % In (и Cu) в сфалерите. Причем одна из фаз распада – рокезит часто содержит микронные эксклюзионные выделения сфалерита.

Таблица 6. Среднее содержание элементов-примесей в цементе песчаников приозерской свиты района месторождения Карку, г/т [Альхов, Панова, 2010]

Элементы	Породы			
	Глины Русской плиты**	Цемент песчаников приозерской свиты		
		неизмененных	слабоизмененных	сильноизмененных
Cu	30	24,89	11,35	37,48
Zn	74	78,96	18,89	93,25
Ga	23	31,76	21,87	23,27
As	12	2,02	0,92	4,04
Y	28	29,42	24,84	35,39
Zr	224	242,13	261,34	303,92
Mo	1,4	0,58	2,33	1,07
Ag*	0,072	1,15	1,30	1,74
Cd	0,09	0,16	0,13	0,47
In	0,22	0,05	0,04	0,03
Sn	1,9	7,57	6,43	8,08
Sb	1,1	0,41	0,40	0,36
Ta*	1,5	3,37	3,66	3,12
W	2,1	2,17	7,33	52,87
Tl	0,4	9,12	1,84	0,98
Pb	18	5,52	13,08	47,98
Pd	n*0,01	2,34	1,85	2,56
Pt	n*0,01	0,19	0,14	0,23
Th	11,5	15,96	37,59	36,79
U	3,8	4,71	9,40	71,11
Th/U	3,0	3,4	4,00	11,50
Количество проб		19	23	8

Примечание. \* по: [Скляр, 2001]; \*\* по: [Ронов, Мигдисов, 1996].

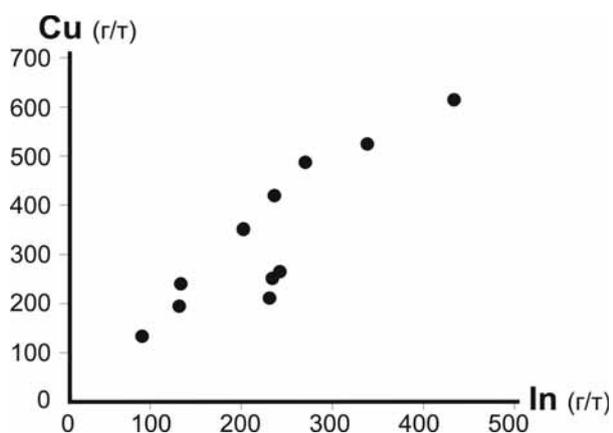


Рис. 14. Диаграмма Cu-In для сфалеритов Питкяррантских скарновых месторождений по: [Valkama, 2009]

В настоящее время в мире известно достаточно много рудных объектов различных генетических типов с повышенными содержаниями и минерализацией индия [Cook et al., 2011 и др.], однако его добыча производится исключительно как побочного продукта из полиметаллических руд VMS- и SEDEX-типа с невысокими концентрациями индия [Rodier, 1990; Alfantazi, Moskaluk, 2003]. В России индий добывается из колчеданно-полиметаллических руд месторождений Урала (Гайское, Узельгинское, Сафьяновское и др.) с содержаниями индия 10–24 г/т [Гаськов и др., 2014], где на Челябинском цинковом заводе в 2012 году получено 7 т индия

[Tolcin, 2012]. Мировое производство индия достигло к 2012 году 1408 т, из них более половины приходится на Китай. Стоимость металлического индия – 600–970 дол/кг, а сверхчистого индия 99,99999 % компании Umicore (Бельгия) – 5000 дол/кг [<http://www.cmmarket.ru/>]. Основной формой индия, используемой в промышленности, является индиево-оловянный оксид (ITO), применяемый, главным образом, для изготовления экранов жидкокристаллических мониторов и телевизоров (70 % от всего производства In) и светодиодов (25 %). Развитие фототальванических технологий и производство солнечных батарей представляет собой новый быстро растущий сектор потребления индия [Tolcin, 2012; <http://www.cmmarket.ru/>]. В настоящее время альтернативы индию нет.

Высокие содержания индия в рудах Питкяррантской группы месторождений, во много раз превышающие таковые в месторождениях России, где добывается данный металл, могут представлять промышленный интерес. Более того, при комплексной разработке месторождений здесь можно сразу получать индиево-оловянный оксид (ITO) – основное соединение индия, используемое в промышленности. Содержание индия в Питкяррантских рудах также значительно выше, чем на оловянно-сульфидных месторождениях Дальнего Востока – 55–70 г/т [Гаськов и др., 2014]. Учитывая прямую корреляционную зависимость между содержа-

ниями индия и цинка в рассматриваемых месторождениях Карелии металлогенический потенциал Питкярантского рудного района на индий при утвержденных запасах и ресурсах цинка в ~2500 тыс. т [Минерально-сырьевая..., 2005] составляют около 2400 т, что в денежном эквиваленте превышает 1 млрд \$.

Салминский массив, определяющий главные металлогенические черты Питкярантского рудного района, по современным данным [Ларин, 2011] относится к анортозит-мангерит-чарнокит-рапакивигранитной ассоциации, в мировых масштабах продуктивной, кроме вышерассмотренных полезных ископаемых, также на Ti-P-Fe и Zr-REE. Ti-Fe-апатитовые и Zr-REE месторождения известны в анортозитах и габбро-сиенитах Коростеньского массива в Украине – Стремгородское, Новомиргородское и Балка Мазурова, Азовское [Гурский и др., 2000]. В Норвегии в анортозитовом плутоне Роголанд в рудных йотунитах разрабатывается одно из крупнейших Ti-Fe месторождений мира Телнес [Sandstad et al., 2012].

Таблица 7. Средний химический состав анортозитов, габброноритов и йотунитов Салминского массива

Оксиды	Анортозиты*	Габбронориты**	Йотуниты*	Йотуниты (Роголанд, Норвегия)***
SiO <sub>2</sub>	52,55	48,47	46,43	49,12
TiO <sub>2</sub>	1,30	3,96	4,51	3,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,78	15,62	13,94	15,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,78	1,82	0,72	
FeO	5,44	11,19	14,43	13,94
MnO	0,08	0,21	0,22	0,18
MgO	0,67	4,83	3,84	4,27
CaO	9,31	9,01	8,90	6,99
Na <sub>2</sub> O	3,90	2,72	2,73	3,43
K <sub>2</sub> O	0,91	0,71	1,01	1,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,62	0,80 (1 ан)	2,36	1,11
H <sub>2</sub> O	0,12		0,18	
П.п.п.	0,88	1,50	1,78	
Mg#	0,10	0,40	0,31	0,33
Кол-во анализов	3 ан	3 ан	6 ан	4 ан

Примечание. \* по: [Ларин, 2011]; \*\* по: [Шинкарев, Анищенко, 1973; Бантова и др., 1975];

\*\*\* по: [Duchesne et al., 1988; Robins et al., 1997; Auwera et al., 1998].

В Салминском массиве анортозиты, габбронориты и монзонитоиды слагают крайнюю юго-восточную его часть, где известно Вагозерское Ti-P проявление с содержанием TiO<sub>2</sub> – 4,71 % и прогнозными ресурсами руды кат. P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub> – 120,0 млн т [Минерально-сырьевая..., 2005]. Йотуниты в массиве также известны [Ларин, 2011], и они практически идентичны аналогичным породам комплекса Роголанд в Норвегии (табл. 7). Соответственно имеющие-

ся данные по редкоземельному и Ti-P оруденению Салминского плутона в совокупности с некоторыми чертами его сходства с Коростеньским массивом и комплексом Роголанд, по аналогии с последними определяют положительные металлогенические перспективы Питкярантского рудного района на указанные типы оруденения.

## Выводы

1. Число рудных минералов в скарновых месторождениях Питкярантского рудного района составляет ~140, из них 58 обнаружены здесь впервые. Часть из этих минералов – 27 (ангеллаит, аргентовиттит, куриллит, маковискит, павонит, цервеллеит, бисмутит, заварицит, пеккоит, рокезит, маухерит, станноидит, маскюит, рабдофанит, резерфордин, ричетит, виллемит, англезит-халькоцианит, ашоверит, гидроцинкит, каннонит, карибибит, линдквистит, платнерит, розазит, ченевихит, шнейдерхонит) являются первыми находками на территории Карелии, а 25 из них и на всем Карело-Кольском регионе.

2. Наиболее важным в металлогеническом аспекте представляется присутствие в Питкярантских рудах рокезита (CuInS<sub>2</sub>), индийсодержащего (1,0 %) сфалерита, золота самородного, электрума, обширных групп минералов серебра, висмута и теллура. Это и достаточно высокие содержания в рудных скарнах индия (до 0,33 %), серебра (до 0,2 %), золота (до 1,1 г/т) и платиноидов (до 0,4 г/т) указывают на определенные металлогенические перспективы Питкярантского скарноворудного района на данные элементы и необходимость его соответствующего доизучения, а также промышленной переоценки известных месторождений.

3. Содержание (~100 г/т) и металлогенический потенциал индия (~2400 т) в месторождениях Питкярантского рудного района выводят его в разряд наиболее перспективных на индий рудных объектов России.

4. В связи с повсеместно отмечающейся на докембрийских щитах взаимосвязью урана, золота и платиноидов в рудогенных процессах особой оценки и в первую очередь заверки требуют установленные признаки платиноносности рифейских песчаников на стратиграфическом уровне формирования уранового месторождения Карку типа несогласия.

5. Согласно данным по редкоземельному и Ti-P оруденению Салминского плутона в совокупности с некоторыми чертами его сходства с Коростеньским массивом и комплексом Роголанд, по аналогии с последними металлогене-

нические перспективы Питкярантского рудного района на указанные типы оруденения представляются положительными.

## Литература

- Александров С. М., Тронева М. Л.* Состав и генезис эндогенных боратов Питкярантского рудного поля, Карелия // *Геохимия*. 2009. № 9. С. 972–987.
- Альхов А. С., Панова Е. Г.* Геохимическая характеристика цемента песчаников приозерской свиты, вмещающей урановое месторождение Карку (С. Приладожье) // *Вестник СПбГУ. Сер. 7*. 2010. Вып. 3. С. 11–17.
- Бантова М. А., Левковский Р. З., Шарков В. Е.* Геология, вещественный состав и возраст пород салминского комплекса гранитов рапакиви и габбро-анортозитов // *Сов. геология*. 1975. № 7. С. 74–86.
- Бек В., Тейх Н.* Волчек и шеелит из русских месторождений // *Горный журнал*. 1869. Кн. 8. С. 183–193.
- Васильев М. В.* К вопросу о методах расчета диаграмм состояния // *Журн. физ. химии*. 1983. Т. 57, вып. 9. С. 2141–2145.
- Вернадский В. И.* Заметки о распространении химических элементов в земной коре // *Известия Императорской Академии Наук, сер. VI*. 1910. Т. IV, № 14. С. 1129–1148.
- Гавриленко В. В., Погребс Н. А.* Индий в рудах месторождения касситерит-кварцевой формации // *Зап. ВМО*. 1992. № 2. С. 41–47.
- Гаськов И. В., Павлова Г. А., Владимиров А. Г., Гвоздев В. И.* Индий и другие элементы-примеси в рудах колчеданно-полиметаллических и оловосульфидных месторождений Сибири и Дальнего Востока // *Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием*. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2014. С. 156–162.
- Герасимова Е. И.* Минеральное разнообразие метасоматитов и поздних гидротермальных образований рудных месторождений Питкярантского района (Южная Карелия, Россия) // *Минеральное разнообразие – исследование и сохранение*. София, 2009. Вып. 4. С. 67–74.
- Григорьев Н. А.* Распределение индия в верхней части континентальной коры // *Ежегодник*. 2010. Тр. ИГГ УрО РАН. 2011. Вып. 158. С. 100–102.
- Губанов А. М., Чвилева О. Е., Ширай Г. А. и др.* Новые данные о рокезите (Средняя Азия) // *Зап. ВМО*. 1991. № 3. С. 40–55.
- Гурский Д. С., Войновский А. С., Колосовская В. А. и др.* Минералогическая специализация магматических комплексов и эпохи рудообразования Украинского щита // *Минер. журн.* 2000. Т. 22, № 2/3. С. 5–11.
- Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. Т. 3. Листовые силикаты. М.: Мир, 1966. 317 с.
- Иващенко В. И.* Скарновое оруденение олова и вольфрама южной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1987. 240 с.
- Иващенко В. И., Валкама М., Сундبلاد К., Голубев А. И., Алексеев В. Ю.* Новые данные по минералогии и металлогении скарнов Питкярантского рудного района // *Доклады РАН*. 2011. Т. 440, № 2. С. 229–233.
- Иващенко В. И., Голубев А. И.* Золото и платина Карелии: формационно-генетические типы оруденения и перспективы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 368 с.
- Качаловская В. М., Кукоев В. А., Козлова Е. В. и др.* Рокезит из борнитонных руд месторождения Уруп // *Исследования в области рудной минералогии*. М.: Наука, 1973. С. 209–212.
- Кокин А. В., Силаев В. И., Киселева Д. В., Филиппов В. Н.* Новый потенциально промышленный сульфидно-индиево-марганцевый тип оруденения // *ДАН*. 2010. Т. 430, № 3. С. 359–364.
- Кременецкий А. А., Минцер Э. Ф.* Универсальность эволюции золоторудных систем – ключевой критерий регионального прогноза промышленного оруденения // *Отечественная геология*. 1995. № 5. С. 19–27.
- Купцова А. В., Худолей А. К., Дэвис В., Рейнбирд Р. Х., Ковач В. П., Загорная Н. Ю. и др.* Возраст и источники сноса песчаников приозерской и салминской свит рифея в восточном борту Пашско-Ладожского бассейна (южная окраина Балтийского щита) // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2011. Т. 19, № 2. С. 3–19.
- Ларин А. М.* Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. СПб.: Наука, 2011. 402 с.
- Ларин А. М., Амелин Ю. В., Неймарк Л. А.* Возраст и генезис комплексных скарновых руд Питкярантского рудного района // *Геология рудных месторождений*. 1991. № 6. С. 15–33.
- Левецкий В. И.* Петрология и геохимия метасоматоза при формировании континентальной коры. Новосибирск: ГЕО, 2005. 340 с.
- Минерально-сырьевая база Республики Карелия*. Кн. 1. / Под. ред. В. П. Михайлова и В. Н. Аминова. Петрозаводск: Карелия, 2005. 278 с.
- Недашковский А. П., Никулин Н. Н.* Минералы индия в рудах Правоурмийского месторождения (Дальний Восток России) // *Геол. рудных месторождений*. 1994. Т. 36, № 3. С. 230–236.
- Нефедов Е. И.* Минералогия месторождения Питкяранта: металлоносность и минералогия скарноидов юга Карелии и запада Кольского полуострова. Л.: ВСЕГЕИ, 1973. 326 с.
- Никольская Ж. Д., Гордиенко Л. И.* Петрология и металлогения гранитоидных формаций Карелии. М.: Недра, 1977. 152 с.
- Никольская Ж. Д., Ларин А. М.* Грейзеновые образования Питкярантского рудного поля // *Записки ВМО*. 1972. Ч. 101, вып. 5. С. 290–297.
- Никольская Ж. Д., Ларин А. М., Кайряк А. И.* Оценка перспектив Питкярантского рудного района на основе метасоматической зональности // *Разведка и охрана недр*. 1977. № 9. С. 17–20.
- Ронов А. Б., Мигдисов А. А.* Количественные закономерности строения и состава осадочных толщ Восточно-Европейской платформы и Русской плиты и их место в ряду древних платформ мира // *Литология и полезные ископаемые*. 1996. № 5. С. 451–475.

- Скляров Е. В., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В. и др. Интерпретация геохимических данных. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- Фурман Г. Минералогическое описание некоторой части Старой и Новой Финляндии // Горный журнал. 1828. Кн. II. С. 3–39.
- Хазов Р. А. Геологические особенности оловянного оруденения Северного Приладожья. Л.: Наука, 1973. 87 с.
- Хазов Р. А. Металлогения Ладожско-Ботнического геоблока Балтийского щита. Л.: Наука, 1982. 190 с.
- Шинкарев Н. Ф., Анищенко О. Н. Новые данные о составе и строении Салминского комплекса рапакиви // Известия АН СССР. Сер. Геол. 1973. № 2. С. 140–145.
- Alfantazi A. M., Moskalyk R. R. Processing of indium: a review // Minerals Eng. 2003. Vol. 16. P. 687–694.
- Andersen J., Stickland R., Rollinson G., Shail R. Granite-related indium mineralisation in SW England // Mineral deposit research for a high-tech world. 12<sup>th</sup> SGA Biennial Meeting. 2013. Proceedings. Vol. 4. P. 1687–1690.
- Auwers J., Longhi J., Duchesne J. C. A liquid line of descent of the jotunite (hypersthene monzodiorite) suite // Journal of Petrology. 1998. Vol. 39. P. 439–468.
- Bingcheng Z., Peng J., Gang T. Geological characteristics of epithermal silver veins in skarn-type gold-copper deposits // Nonferrous Metals. 2004. No 56 (4). P. 19–20.
- Caritat P., Hutcheon L., Walshe J. L. Chlorite geothermometry: a review // Clays and Clay Minerals. 1993. Vol. 41, No 2. P. 219–239.
- Cook N., Sundblad K., Valkama M. et al. Indium mineralisation in A-type granites in southeastern Finland: Insights into mineralogy and partitioning between coexisting minerals // Chemical Geology. 2011. No 284. P. 62–73.
- Duchesne J. C., Hertogen J. Le magma parental du lopolithe de Bjerkreim Sokndal (Norvege meridionale) // Comptes Rendus de l'Academie des Sciences. 1988. Vol. 306. P. 45–48.
- Erämetsä O. Über die Verbreitung des Indiums in Finnischen Mineralen und über seine Trennung von anderen Metallen // Suomalaisen tiedeakatemia toimituksia, sarja A. Academie scientiarum Fennicae. 1939. No 154. 91 p.
- Eskola P. Around Pitkäranta // Suomalaisen tiedeakatemia toimituksia, sarja A. Geologica-Geographica. 1951. Vol. 27. 90 p.
- Gaspar O. C. Mineralogy and sulfide mineral chemistry of the Neves Corvo ores, Portugal: insight into their genesis // Canadian Mineralogist. 2002. No 40. P. 611–636.
- Johan Z. Indium and germanium in the structure of sphalerite: an example of coupled substitution with copper // Mineralogy and Petrology. 1988. No 39. P. 211–229.
- Klemm D. D. Synthesen und Analysen in den Dreiecks diagrammen FeAsS-CoAsS-NiAsS und FeS<sub>2</sub>-CoS<sub>2</sub>-NiS<sub>2</sub> // Neues Jahrbuch fuer Mineralogie Abhandlungen. 1965. No 103. P. 205–255.
- Kretschmar U., Scott S. D. Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application // Canad. Mineralogist. 1976. Vol. 14. P. 364–386.
- Palmunen M. K. Pitkäranta: vv. 1934–1938 suoritettujen vuoritekniillisten tutkimustenvalossa // Geologinen toimikunta. Geoteknillisiä julkaisuja. 1939. No 44. 154 p.
- Parasyuk O. V., Voronyuk S. V., Gulay L. D., Davidyuk G. Y., Halka V. O. et al. Phase diagram of the CuInS-ZnS system and some physical properties of solid solutions phases // Journal of Alloys and Compounds. 2003. Vol. 348. P. 57–64.
- Robins B., Tumor O., Tysseland M., Garmann L. B. The Bjerkreim-Sokndal Layered Intrusion, Rogaland, S.W. Norway: Evidence from marginal rocks for a jotunite parent magma // Lithos. 1997. No 39. P. 121–133.
- Rodier D. D. An overview of silver and trace metal recovery strategies in the zinc industry. Proceedings, Lead-Zinc'90 // The Minerals, Metals and Materials Soc., Warrendale PA, 1990. P. 57–85.
- Saksela M. Zur mineralogy entstehung der Pitkäranta-erze // Bulletin de la Commission géologique de Finlande. 1951. No 154. P. 182–230.
- Sandstad J. S., Bjerkgerd T., Boyd R. et al. Metallogenic areas in Norway // Geological Survey of Finland, Special Paper. 2012. No 53. P. 35–138.
- Shikazono N. A comparison of temperatures estimated from the electrum-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid implications from epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan // Econ. Geol. 1985. Vol. 80, No 5. P. 1415–1424.
- Shimizu M., Shimizu M., Furuhashi T., Harada A., Cook N. J. Indium mineralization in epithermal Au-Ag-Cu-Mn-Te-Se-Bi-Sn-Mo vein-type deposits of the Kawazu (Rendaiji) mine, Shizuoka Prefecture, Japan / 33rd Intern. Geol. Congr., Oslo, August 6<sup>th</sup>–14<sup>th</sup> 2008, Abstract CD-ROM.
- Sombuthawee C., Bonsall S. B., Hummel F. A. Phase equilibria in the systems ZnS-MnS, ZnS-CuInS<sub>2</sub>, and MnS-CuInS<sub>2</sub> // Journal of Solid State Chemistry. 1978. No 25. P. 391–399.
- Sundblad K. L., Cook N. J., Nygård R. et al. 100 Years of Indium Discoveries in the Fennoscandian Shield / 13<sup>th</sup> Quadrennial IAGOD Symposium. Adelaide, Australia, 2010. Abstract CD-ROM.
- Tolcin A. C. Minerals Yearbook 2012. Indium (Advance Release) // U.S. Geological Survey. P. 35.1–35.8.
- Trüstedt O. Die Erzlagerstätten von Pitkäranta am Ladoga-See. Helsingfors, Frenckellska tryckeriaktiebolaget // Bulletin de la commission géologique de Finlande. 1907. No 19. 333 p.
- Valkama M. An ore petrological and geochemical study of the polymetallic skarn ores at Pitkäranta. Geology and mineralogy. Master's Graduate Thesis. University of Turku. Department of Geology. Faculty of Mathematics and Science. 2009. 85 p.

Поступила в редакцию 19.12.2014

## References

- Aleksandrov S. M., Troneva M. L. Sostav i genezis endogennykh boratov Pitkärantskogo rudnogo polya, Kareliya [Composition and genesis of endogenous borates from the Pitkäranta ore field, Karelia]. *Geokhimiya* [Geochemistry]. 2009. No 9. P. 972–987.
- Al'khov A. S., Panova E. G. Geokhimicheskaya kharakteristika tsementa peschanikov priozerskoi svity, vmeshchayushchei uranovoe mestorozhdenie Karku (S. Priladozh'e) [Geochemical characteristic of cement sandstones of Karku uranium deposit (north-eastern shores of Lake Ladoga)]. *Vestnik SPbGU. Ser. 7* [Herald of St. Petersburg State University]. 2010. Iss. 3. P. 11–17.
- Bantova M. A., Levkovskii R. Z., Sharkov V. E. Geologiya, veshchestvennyi sostav i vozrast porod salminskogo kompleksa granitov rapakivi i gabbro-anortozitov [Geology, lithology and age of rocks from the Salmi anorthosite-rapakivi granite complex]. *Sov. Geologiya* [Soviet Geology]. 1975. No 7. P. 74–86.
- Bek V., Teikh N. Volchets i sheelit iz russkikh mestorozhdenii [Thistles and scheelite from Russian deposits]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 1869. Book 8. P. 183–193.
- Vasil'ev M. V. K voprosu o metodakh rascheta diagramm sostoyaniya [On the calculation methods of constitution diagrams]. *Zhurn. fiz. Khimii* [Journal of physical chemistry]. 1983. Vol. 57, iss. 9. P. 2141–2145.
- Vernadskii V. I. Zametki o rasprostranении khimicheskikh elementov v zemnoi kore [Notes on distribution of chemical elements in the earth's crust]. *Izvestiya Imperatorskoi Akademii Nauk, ser. VI* [Proceedings of Imperial Academy of Sciences, series VI]. 1910. Vol. IV, No 14. P. 1129–1148.
- Gavrilenko V. V., Pogrebs N. A. Indii v rudakh mestorozhdeniya kassiterit-kvartsevoi formatsii [Indium in cassiterite-quartz ores]. *Zap. VMO* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]. 1992. No 2. P. 41–47.
- Gas'kov I. V., Pavlova G. A., Vladimirov A. G., Gvozdev V. I. Indii i drugie elementy-primesi v rudakh kolchedanno-polimetallicheskh i olovosul'fidnykh mestorozhdenii Sibiri i Dal'nego Vostoka [Indium and other impurity elements in ores of the VMS polymetallic and Sn-sulfide deposits of Siberia and the Far East]. *Blagorodnye, redkie i radioaktivnye elementy v rudoobrazuyushchikh sistemakh: materialy Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. Uchastiem* [Precious metals, rare and radioactive elements in the ore-forming system: proceedings of All-Russian scientific conference with international participation]. Novosibirsk: INGG SO RAN, 2014. P. 156–162.
- Gerasimova E. I. Mineral'noe raznoobrazie metasomatitov i pozdnykh gidrotermal'nykh obrazovaniy rudnykh mestorozhdenii Pitkärantskogo raiona (Yuzhnaya Kareliya, Rossiya) [Mineral diversity of the metasomatic rocks and hydrothermal formation of the ore deposits of the Pitkäranta district (South Karelia, Russia)]. *Mineral'noe raznoobrazie – issledovanie i sokhranenie* [Mineral diversity research and preservation]. Sofiya. 2009. Iss. 4. P. 67–74.
- Grigor'ev N. A. Raspredelenie indiya v verkhnei chasti kontinental'noi kory [Indium distribution in the upper continental crust]. *Ezhegodnik-2010. Tr. IGG UrO RAN* [Proceedings of Institute of Geology and Geochemistry UB RAS]. 2011. Iss. 158. P. 100–102.
- Gubanov A. M., Chvileva O. E., Shirai G. A. et al. Hovye dannye o rokezite (Srednyaya Aziya) [New data on roquesite (Central Asia)]. *Zap. VMO* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]. 1991. No 3. P. 40–55.
- Gurskii D. S., Voinovskii A. S., Kolosovskaya V. A. et al. Mineralogicheskaya spetsializatsiya magmaticheskikh kompleksov i epokhi rudoobrazovaniya Ukrainskogo shchita [Mineralogical specialization of igneous complexes and epochs of ore formation of the Ukrainian Shield]. *Miner. zhurn.* [Mineralogical Journal]. 2000. Vol. 22, No 2/3. P. 5–11.
- Dir U. A., Khaui R. A., Zusman Dzh. Rodoobrazuyushchie mineraly. T. 3. Listovye silikaty [Rock forming minerals. Vol. 3. Phyllosilicates]. Moscow: Mir, 1966. 317 p.
- Ivashchenko V. I. Skarnovoe orudnenie olova i vol'frama yuzhnoi chasti Baltiiskogo shchita [Skarn mineralization of tin and wolfram in the southern part of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1987. 240 p.
- Ivashchenko V. I., Valkama M., Sundblad K., Golubev A. I., Alekseev V. Yu. Novye dannye po mineralogii i metallogenii skarnov Pitkärantskogo rudnogo raiona [New data on the mineralogy and metallogeny of the Pitkäranta skarn ore province]. *Doklady RAN* [Proceedings of RAS]. 2011. Vol. 440, No 2. P. 229–233.
- Ivashchenko V. I., Golubev A. I. Zoloto i platina Karelii: formatsionno-geneticheskie tipy orudneniya i perspektivy [Gold and platinum of Karelia: genetic types of mineralization and prospects]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2011. 368 p.
- Kachalovskaya V. M., Kukoev V. A., Kozlova E. V. et al. Rokezit iz bornitonykh rud mestorozhdeniya Urup [Roquesite in bornite ores of the Urup deposit]. *Issledovaniya v oblasti rudnoi mineralogii* [Studies of ore mineralogy]. Moscow: Nauka, 1973. P. 209–212.
- Kokin A. V., Silaev V. I., Kiseleva D. V., Filippov V. N. Novyi potentsial'no promyshlennyi sul'fidno-indievo-margantsevyi tip orudneniya [New potentially industrial sulfide-indium-manganese ore type]. *DAN* [Proceedings of Academy of Sciences]. 2010. Vol. 430, No 3. P. 359–364.
- Kremenetskii A. A., Mintser E. F. Universal'nost' evolyutsii zolotorudnykh sistem - klyuchevoi kriterii regional'nogo prognoza promyshlennogo orudneniya [Universality of gold systems – a key criterion to the regional forecast of industrial mineralization]. *Otechestvennaya geologiya* [National Geology]. 1995. No 5. P. 19–27.
- Kuptsova A. V., Khudolei A. K., Devis V., Reinbird R. X., Kovach V. P., Zagornaya N. Yu. Vozrast i istochniki snosa peschanikov priozerskoi i salminskoi svit rifleya v vostochnom bortu Pashsko-Ladozhskogo basseina (yuzhnaya okraina Baltiiskogo shchita) [Age and provenances of sandstones from the Riphean Priozersk and Salmi formations in the eastern Pasha-Ladoga basin (southern margin of the Baltic Shield)]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya* [Stratigraphy. Geological correlation]. 2011. Vol. 19, No 2. P. 3–19.

Larin A. M. Granity rapakivi i assotsiiruyushchie porody [Rapakivi granites and related rocks]. St. Petersburg.: Nauka, 2011. 402 p.

Larin A. M., Amelin Yu. V., Neimark L. A. Vozrast i genezis kompleksnykh skarnovykh rud Pitkyarantskogo rudnogo raiona [Age and origin of complex skarn ores of the Pitkäranta ore district]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of ore deposits]. 1991. No 6. P. 15–33.

Levitskii V. I. Petrologiya i geokhimiya metasomatoza pri formirovanii kontinental'noi kory [Petrology and geochemistry of metasomatism in continental crust formation]. Novosibirsk: GEO, 2005. 340 p.

Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya [Mineral raw materials base of the Republic of Karelia]. Book 1. Eds. V. P. Mikhailov, V. N. Aminov. Petrozavodsk: Kareliya, 2005. 278 p.

Nedashkovskii A. P., Nikulin N. N. Mineraly indiya v rudakh Pravourmiiskogo mestorozhdeniya (Dal'nii Vostok Rossii) [Indium minerals in ores of the Pravourmiiskoe deposit (Russian Far East)]. *Geol. rudnykh mestorozhdenii* [Geology of ore deposits]. 1994. Vol. 36, No 3. P. 230–236.

Nefedov E. I. Mineralogiya mestorozhdeniya Pitkyaranta: metallonosnost' i mineralogiya skarnoidov yuga Karelii i zapada Kol'skogo poluoostrova [Mineralogy of Pitkäranta deposit: metal content and mineralogy of skarnoids in the southern Karelia and on the western Kola Peninsula]. Leningrad: VSEGEI, 1973. 326 p.

Nikol'skaya Zh. D., Gordienko L. I. Petrologiya i metallogeniya granitoidnykh formatsii Karelii [Petrology and metallogeny of granitoid formations of Karelia]. Moscow: Nedra, 1977. 152 p.

Nikol'skaya Zh. D., Larin A. M. Greizenovye obrazovaniya Pitkyarantskogo rudnogo polya [Greisen formations of the Pitkäranta ore field]. *Zapiski VMO* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]. 1972. Part 101, iss. 5. P. 290–297.

Nikol'skaya Zh. D., Larin A. M., Kairyak A. I. Otsenka perspektiv Pitkyarantskogo rudnogo raiona na osnove metasomaticheskoi zonal'nosti [Metasomatic zoning of Pitkäranta ore district: assessment of the prospects]. *Razvedka i okhrana nedr* [Mineral resources exploration and conservation]. 1977. No 9. P. 17–20.

Furman G. Mineralogicheskoe opisaniye nekotoroj chasti Staroi i Novoi Finlyandii [Mineralogical description of a part of old and new Finland]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 1828. Book II. P. 3–39.

Khazov R. A. Geologicheskie osobennosti olovyannogo orudneniya Severnogo Priladozh'ya [Geological features of tin-mineralization in the Northern Ladoga district]. Leningrad: Nauka, 1973. 87 p.

Khazov R. A. Metallogeniya Ladozhsko-Botnicheskogo geobloka Baltiiskogo shchita [Metallogeny of the Ladoga-Bothnian geoblock of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1982. 190 p.

Shinkarev N. F., Anishchenkova O. N. Novye dannye o sostave i stroenii Salminskogo kompleksa rapakivi [New data on composition and structure of the Salmi rapakivi complex]. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geol.* [Proceedings of the USSR Academy of Science. Geology Series]. 1973. No 2. P. 140–145.

Alfantazi A. M., Moskalyk R. R. Processing of indium: a review. *Minerals Eng.* 2003. 16. P. 687–694.

Andersen J., Stickland R., Rollinson G., Shail R. Granite-related indium mineralisation in SW England. *Mineral deposit research for a high-tech world. 12th SGA Biennial Meeting. 2013. Proceedings.* Vol. 4. P. 1687–1690.

Auwera J., Longhi J., Duchesne J. C. A liquid line of descent of the jotunite (hypersthene monzodiorite) suite. *Journal of Petrology.* 1998. 39. P. 439–468.

Bingcheng Z., Peng J., Gang T. Geological characteristics of epithermal silver veins in skarn-type gold-copper deposits. *Nonferrous Metals.* 2004. No 56 (4). P. 19–20.

Caritat P., Hutcheon L., Walshe J. L. Chlorite geothermometry: a review. *Clays and Clay Minerals.* 1993. Vol. 41, No 2. P. 219–239.

Cook N., Sundblad K., Valkama M., Nygård R., Ciobanu C. L., Danyushevsky L. Indium mineralisation in A-type granites in southeastern Finland: Insights into mineralogy and partitioning between coexisting minerals. *Chemical Geology.* 2011. No 284. P. 62–73.

Duchesne J. C., Hertogen J. Le magma parental du lopolithe de Bjerkreim Sokndal (Norvege meridionale). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences.* 1988. 306. P. 45–48.

Erämetsä O. Über die Verbreitung des Indiums in Finnischen Mineralen und über seine Trennung von anderen Metallen. *Suomalaisen tiedeakatemia toimituksia*, sarja A. Academie scientiarum Fennicae. 1939. No 154. 91 s.

Eskola P. Around Pitkäranta. *Suomalaisen tiedeakatemia toimituksia*, sarja A. Geologica-Geographica. 1951. 27. 90 s.

Gaspar O. C. Mineralogy and sulfide mineral chemistry of the Neves Corvo ores, Portugal: insight into their genesis. *Canadian Mineralogist.* 2002. No 40. P. 611–636.

Johan Z. Indium and germanium in the structure of sphalerite: an example of coupled substitution with copper. *Mineralogy and Petrology.* 1988. No 39. P. 211–229.

Klemm D. D. Synthesen und Analysen in den Dreiecks diagrammen FeAsS-CoAsS-NiAsS und FeS<sub>2</sub>-CoS<sub>2</sub>-NiS<sub>2</sub>. *Neues Jahrbuch fuer Mineralogie Abhandlungen.* 1965. No 103. S. 205–255.

Kretschmar U., Scott S. D. Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Canad. Mineralogist.* 1976. Vol. 14. P. 364–386.

Palmunen M. K. Pitkäranta: vv. 1934–1938 suoritetujen vuoriteknillisten tutkimustenvälössa. *Geologinen toimikunta. Geoteknillisiä julkaisuja.* 1939. No 44. 154 p.

Parasyuk O. V., Voronyuk S. V., Gulay L. D., Davidiyuk G. Y., Halka V. O. Phase diagram of the CuInS-ZnS system and some physical properties of solid solutions phases. *Journal of Alloys and Compounds.* 2003. 348. P. 57–64.

Robins B., Tumyr O., Tysseland M., Garmann L. B. The Bjerkreim-Sokndal Layered Intrusion, Rogaland, S.W. Norway: Evidence from marginal rocks for a jotunite parent magma. *Lithos.* 1997. No 39. P. 121–133.

Rodier D. D. An overview of silver and trace metal recovery strategies in the zinc industry. Proceedings, Lead-Zinc'90. *The Minerals, Metals and Materials Soc.*, Warrendale PA, 1990. P. 57–85.

Saksela M. Zur mineralogy entstehung der Pitkäranta-erze. *Bulletin de la Commission géologique de Finlande*. 1951. No 154. P. 182–230.

Sandstad J. S., Bjerkgerd T., Boyd R., Ihlen P., Korneliussen A., Nilsson L. P., Often M., Eilu P., Hallberg A. Metallogenic areas in Norway. *Geological Survey of Finland, Special Paper*. 2012. No 53. P. 35–138.

Shikazono N. A comparison of temperatures estimated from the electrum-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid inclusions from epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan. *Econ. Geol.* 1985. Vol. 80, No 5. P. 1415–1424.

Shimizu M., Shimizu M., Furuhashi T., Harada A., Cook N. J. Indium mineralization in epithermal Au–Ag–Cu–Mn–Te–Se–Bi–Sn–Mo vein-type deposits of the Kawazu (Rendaiji) mine, Shizuoka Prefecture, Japan. 33rd Intern. Geol. Congr., Oslo, August 6th–14th 2008, Abstract CD-ROM.

Sombuthawee C., Bonsall S. B., Hummel F. A. Phase equilibria in the systems ZnS–MnS, ZnS–CuInS<sub>2</sub>, and MnS–CuInS<sub>2</sub>. *Journal of Solid State Chemistry*. 1978. No 25. P. 391–399.

Sundblad K. L., Cook N. J., Nygård R., Valkama M., Penttinen K., Kyyhkynen S., Ivashchenko V. 100 Years of Indium Discoveries in the Fennoscandian Shield. 13<sup>th</sup> Quadrennial IAGOD Symposium. Adelaide, Australia, 2010. Abstract CD-ROM.

Tolcin A. C. Minerals Yearbook 2012. Indium (Advance Release). *U.S. Geological Survey*. P. 35.1–35.8.

Trüstedt O. Die Erzlagerstätten von Pitkäranta am Ladoga-See. Helsingfors, Frenckellska tryckeriaktiebolaget. *Bulletin de la commission géologique de Finlande*. 1907. No 19. 333 s.

Valkama M. An ore petrological and geochemical study of the polymetallic skarn ores at Pitkäranta. Geology and mineralogy. Master's Graduate Thesis. University of Turku. Department of Geology. Faculty of Mathematics and Science. 2009. 85 p.

Received December 19, 2014

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Иващенко Василий Иванович

ведущий научный сотрудник, к. г.-м. н.  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: ivashche@krc.karelia.ru

### Голубев Анатолий Иванович

зав. лаб. магматизма, палеовулканологии и металлогении,  
к. г.-м. н.  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: golubev@krc.karelia.ru

## CONTRIBUTORS:

### Ivashchenko, Vasily

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

### Golubev, Anatoly

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

УДК 552.13:552.3

## РЕЛИКТЫ ПЕРВИЧНО МАГМАТИЧЕСКИХ АКЦЕССОРНЫХ ШПИНЕЛИДОВ В АРХЕЙСКИХ КОМАТИИТАХ ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ

**З. П. Рыбникова**

*Институт геологии Карельского научного центра РАН*

В статье приводятся результаты комплексного изучения реликтов первично-магматических шпинелидов из архейских (3,0–2,7 млрд лет) коматиитовых серий зеленокаменных структур восточной части Фенноскандинавского щита. Проанализированы акцессорные минералы из массивных и мезокумулятивных зон расслоенных лавовых потоков коматиитов (содержащих 24–30 вес. % MgO). В коматиитах установлено сосуществование нескольких генераций шпинелидов, в том числе реликтов первично-магматического хромит-алюмохромита ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  44,64–51,80,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  9,39–13,74, #Cr 68,97–78,52, #Mg 3,98–12,14, #Fe < 12), являющегося равновесной минеральной фазой в коматиитовых расплавах и кристаллизующегося в интервале температур 1340–1370 °C после выделения оливины. Выявленная геохимическая зональность в первичных шпинелидах является результатом равновесной кристаллизации коматиитового расплава с постепенным понижением температуры, приводящей к образованию твердых растворов алюмохромит-субферриалюмохромитов. Показано, что метаморфические преобразования пород при давлении  $\geq 5$  кбар и температурах  $\geq 500$  °C приводят к полной перекристаллизации первичных шпинелидов.

Ключевые слова: хромиты, коматииты, архей.

### **Z. P. Rybnikova. RELICTS OF THE PRIMARY MAGMATIC ACCESSORY SPINELS IN THE ARCHEAN KOMATIITES OF THE EASTERN FENNOSCANDIA**

The article presents the results of a complex study of the relicts of the primary magmatic spinels from the Archean (3.0–2.7 Ga) komatiitic series of the greenstone structures of the eastern Fennoscandian Shield. The accessory minerals of the massive and mesocumulate zones of differentiated komatiite flows (containing 24–30 wt. % MgO) are analyzed. The coexistence of several generations of spinels including relicts of the primary magmatic chromite-alumochromite ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  44.64–51.80,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  9.39–13.74, #Cr 68.97–78.52, #Mg 3.98–12.14, #Fe < 12), which is an equilibrium mineral phase in komatiitic melts crystallizing in the temperature range of 1340–1370 °C after the extraction of olivine, is established in the komatiites. The identified geochemical zoning in the primary spinels is the result of the equilibrium crystallization of komatiitic melt with a gradual decrease in temperature, which leads to the formation of alumochromite-subferrialumochromite solid solutions. It is shown that the metamorphic transformation of rocks at pressure  $\geq 5$  kbar and temperatures  $\geq 500$  °C leads to a complete recrystallization of the primary spinels.

Keywords: chromite, komatiites, archean.

## Введение

Основная проблема, возникающая при изучении архейских коматиитовых комплексов различных зеленокаменных структур мира – это значительная метаморфическая переработка пород, приводящая к полному замещению первичных минеральных парагенезисов [Куликов и др., 1988; Вревский, 1989; Barnes, 1998, 2000; Кожевников, 2000; Светов, 2005; Arndt et al., 2008]. В таких случаях реконструкция условий магмогенерации коматиитовых расплавов может базироваться как на изучении химического состава пород (распределение петрогенных и примесных элементов [Вревский и др., 2003; Светов, Смолькин, 2003; Светов, 2005; Arndt et al., 2008]), так и на основе изучения акцессорных минеральных фаз [Barnes, 1998].

Архейские вулканиды коматиитовой серии Восточной части Фенноскандинавского щита (следует отметить, что к коматиитам были отнесены высокомагнезиальные вулканиды (лавы), имеющие концентрации:  $MgO > 18$  вес. %,  $SiO_2 < 52$  вес. % и с суммой щелочей  $< 2$  вес. % [Arndt, 1986; Arndt et al., 2008]), также характеризуются значительными метаморфическими изменениями (в условиях от зеленосланцевой до амфиболитовой фаций), однако несмотря на значительную перекристаллизацию, существует возможность сохранения реликтов первично магматических акцессорных фаз – шпинелидов (хромитов), что было установлено ранее [Рыбникова, Светов, 2014; Рыбникова и др., 2014; Светов и др., 2014].

Хромиты – члены изоморфного ряда шпинелидов, которые классифицируются в зависимости от содержания основных окислов ( $Cr_2O_3$  18–62 вес. %,  $FeO$  0–18 вес. %,  $MgO$  6–16 вес. %,  $Al_2O_3$  0–33 вес. %,  $Fe_2O_3$  2–30 вес. %), наиболее характерными микропримесями в них выступают Ti, V, Mn, Zn, Ni, Co [Минералы, 1967].

Изучение акцессорных шпинелидов в ультраосновных вулканидах докембрийских комплексов Фенноскандинавского щита имеет длительную предисторию, так ранее шпинелиды изучались на примере вулканидов Кольской провинции (пикритов Печенгской структуры, коматиитов зеленокаменного пояса (ЗКП) Колмозеро-Воронье [Вревский, 1989; Смолькин, 1992]), коматиитов Карельского кратона (Костомукшской структуры [Puchtel et al., 1998] и Ветреного пояса [Смолькин, 1992; Куликов и др., 2011]).

В данной статье приводятся обобщающие результаты комплексного минералого-геохимического изучения реликтов акцессорных первично магматических шпинелидов, выявленных в архейских коматиитовых сериях следующих объектов восточной части Фенноскандинавского щита:

(Ведлозерско-Сегозерском ЗКП – Совдозерская, Хаутаваарская структуры; Гимолы-Костомукшском ЗКП – Костомукшская структура, ЗКП Кухмо – структура Сиивикковаара). Важно отметить, что в рассматриваемых коматиитовых сериях ранее было установлено сосуществование нескольких генераций акцессорных шпинелидов, представляющих первично магматические минеральные фазы (хромит, алюмохромит, субферриалюмохромит) и поздние метаморфические (хроммагнетит, магнетит) [Рыбникова, Светов, 2014; Рыбникова и др., 2014; Светов и др., 2014].

## Геологическая характеристика объектов исследования

Работы проводились на разрезах архейских коматиитовых серий следующих зеленокаменных поясов восточной части Фенноскандинавского щита: Ведлозерско-Сегозерском (Совдозерская, Хаутаваарская структуры – Центральная Карелия [Куликов и др., 1988; Светов, 2005]), Гимольско-Костомукшском (Костомукшская структура – Северо-Западная Карелия [Куликов и др., 1988; Puchtel et al., 1998; Володичев и др., 2002]) и Кухмо (Сиивикковаара – Восточная Финляндия [Rapunen et al., 2009]) (рис. 1). Все изучаемые коматиитовые серии имеют детальное описание в приведенных выше работах, что позволяет ограничиться их краткой характеристикой.

В изучаемых структурах коматииты входят в состав коматиит-базальтовых ассоциаций, где формируют небольшие пачки (серии лавовых потоков) мощностью от 50 до 600 м.

Минеральный состав коматиитов (с концентрацией  $MgO > 18$  вес. %) представлен вторичным метаморфическим парагенезом: серпентином, тремолитом, актинолитом, хлоритом, эпидотом, карбонатом, магнетитом. На рис. 2 показаны типичные метаморфически преобразованные структуры коматиитов – реликтовая мезокумулятивная (2, а), порфириновая (выделения оливина) с гранонематобластовым цементом (2, б), немаголепидобластовая, порфиробластовая (2, в), гранобластовая с гранонематобластовым цементом (2, г), характеризующие массивные области лавовых тел. Дополнительно следует отметить, что минеральный парагенез вулканидов имеет свои особенности, так в коматиитах Хаутаваарской структуры выявлены реликты магматических оливинов ( $> Fo_{70}$ ), в Костомукшской структуре матрикс коматиитов представлен тальк-карбонатом. Вулканиды в изучаемых структурах претерпели регионально-метаморфические преобразования в условиях от зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма в интервале давлений  $P \sim 2\text{--}8$  кбар и  $T 500\text{--}640$  °C [Володичев и др., 2002].

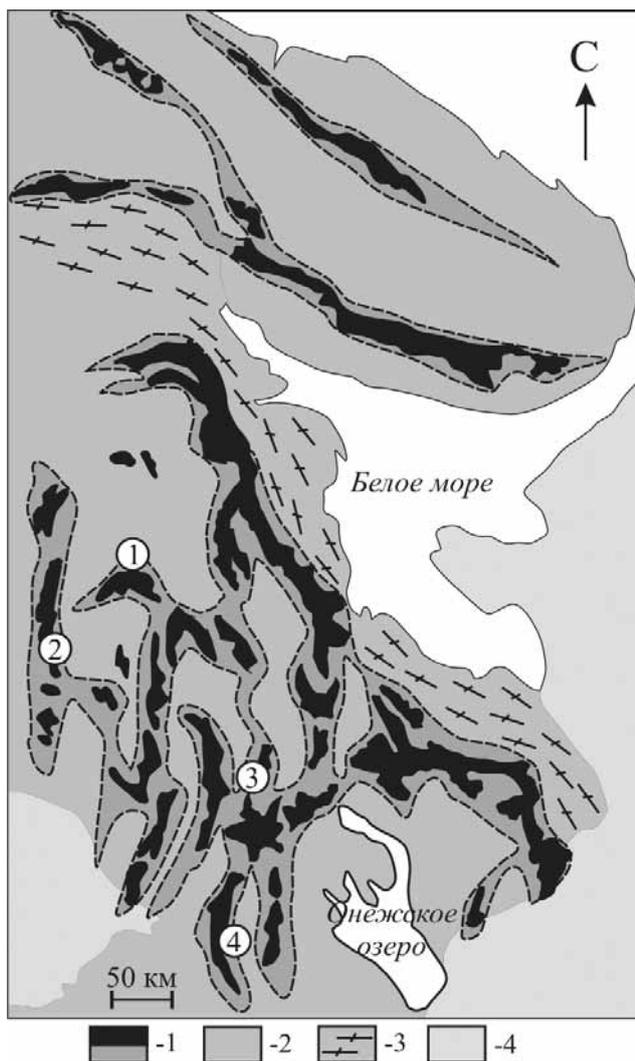


Рис. 1. Упрощенная схема геологического строения восточной части Фенноскандинавского щита с областями развития архейских комплексов (зеленокаменных поясов) (по: [Вревский, 1989]) и положением зеленокаменных структур, в разрезах которых изучались акцессорные шпинелиды в коматиитах.

Условные обозначения: 1 – архейские зеленокаменные пояса; 2 – ТТГ-гнейсы, граниты, мигматиты; 3 – комплексы Беломорского подвижного пояса; 4 – палеопротерозойские образования. Мезоархейские зеленокаменные структуры (цифры в кружочках): 1 – Костомукша, 2 – Сиивикковаара, 3 – Совдозеро, 4 – Хаутаваара

Время формирования коматиитовых серий восточной части Фенноскандинавского щита происходило в несколько временных интервалов: Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (на основе датирования секущих даек [Светов, 2005; Арестова и др., 2012] и Sm-Nd методом по породе в целом [Svetov et al., 2001]) в интервале 2,97–2,90 млрд лет; в Костомукшской структуре – 2,88–2,80 млрд лет [Puchtel et al., 1998] и в зеленокаменном поясе Кухмо – 2,8–2,7 млрд лет [Papunen et al., 2009].

### Методы исследования

Изучение акцессорных шпинелидов в коматиитовых комплексах проводилось по единой методике. Отбор проб осуществлялся в центральных массивных зонах и верхних участках мезокумулятивных областей маломощных (< 20 м) дифференцированных лавовых потоков. Предварительное изучение показало, что в прочих зонах лавовых тел (кровель-

ных и нижних кумулятивных) реликты первично магматических шпинелидов редки.

Из образцов изготавливались аншлифы (в общей сложности около 30 препаратов). Изучение морфологии и химического состава минералов проведено на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 (Oxford instruments) в аналитическом центре Института геологии КарНЦ РАН (г. Петрозаводск) при следующих параметрах: W-катод, напряжение 20 кВ, время набора спектра в точках анализа составляло 90 сек в стандартном эксперименте. Общее количество определений химического состава хромитов превысило 500 анализов.

Компьютерная обработка микрозондовых анализов минералов проводилась с помощью программ «MINAL» (автор Д. В. Доливо-Добровольский), расчет T-P параметров осуществлялся в программе Petrolog 3.1 [Danyushevsky, 2001; Danyushevsky, Plechov, 2011].

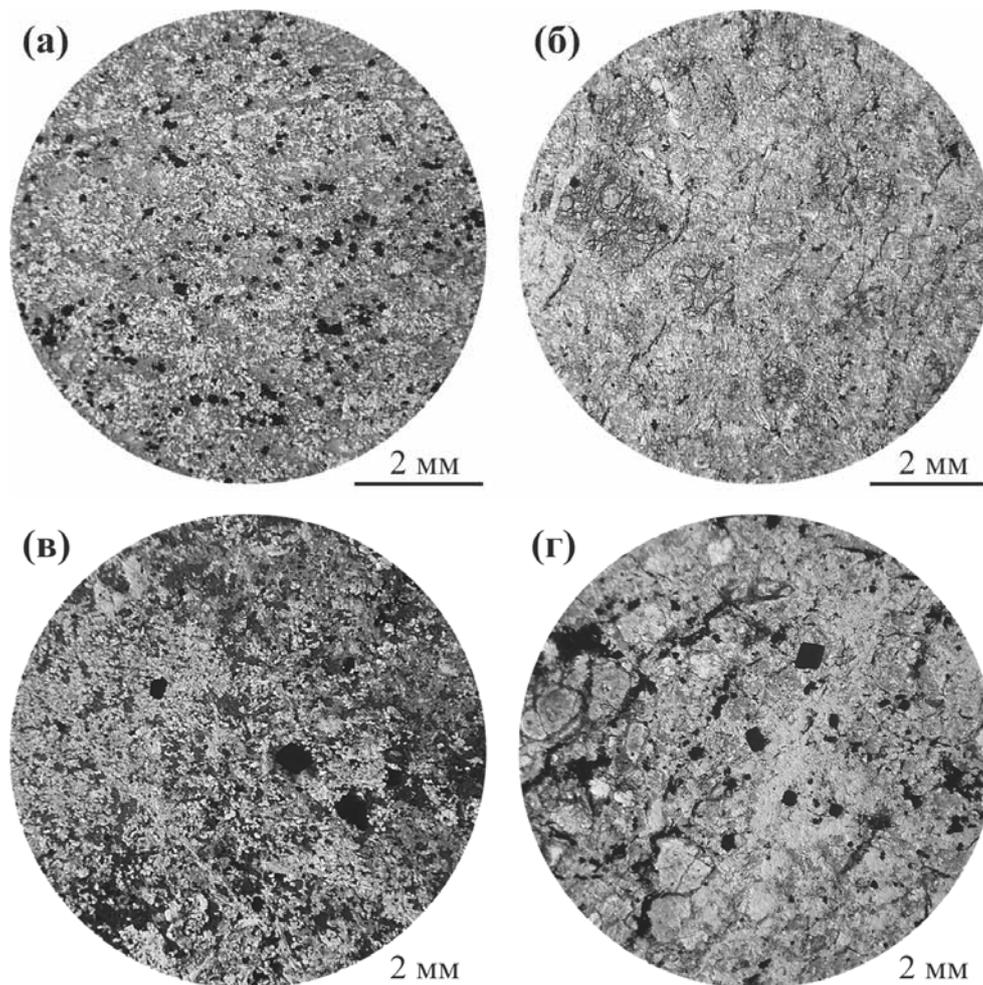


Рис. 2. Микрофотографии шлифов изучаемых коматиитов из зеленокаменных структур: а – Совдозерская, б – Хаутаваарская, в – Костомукшская, г – Сиивикковаара. Николи II

### Геохимическая характеристика коматиитов

Все изучаемые вулканиты на основе петрохимических классификационных требований [Le Bas, 2000; Arndt et al., 2008; Куликов и др., 2012] соответствуют породам коматиитовой серии, при этом в отобранных пробах из массивных зон дифференцированных лавовых потоков и областей мезокумулята содержания  $MgO$  варьируют от 24 до 30 вес. %,  $Cr$  от 1900 до 7500 ppm и  $Ni$  от 600 до 2730 ppm. Вариации петрогенетических отношений  $CaO/Al_2O_3 < 1$ ,  $15 < Al_2O_3/TiO_2 < 30$  наблюдаемых в коматиитах изучаемых структур позволяют отнести ассоциации к единому Al-недеплетированному AUDK типу «Мунро» [Arndt et al., 2008], что подтверждается нефракционированным распределением тяжелых редкоземельных элементов (уровень, близкий к примитивной мантии) и слабопроявленным обеднением легких редкоземельных элементов.

### Морфология шпинелидов

Детальные оптические и СЭМ исследования проб коматиитов изучаемых структур позволили установить, что в породах присутствует несколько генераций акцессорных шпинелидов, существенно различающихся по морфологии зерен [Рыбникова и др., 2014].

Первично магматические шпинелиды хромит-алюмохромитового типа выявлены в виде реликтовых ядер в крупных зернах магнетит-хроммагнетита. Зерна представлены гипидиоморфными кристаллами шпинели (рис. 3) размером от 0,07 до 3 мм и реже мультиагрегатными скоплениями ксеноморфных кристаллов площадью до 0,25 см<sup>2</sup>, имеющих структуру, подобную “chicken-wire” [Arndt et al., 2008]. Зерна первично магматических шпинелидов визуально четко отличаются от прочих наличием внутренней зональности (существованием ядер), при этом ядра не всегда полностью сохраняются (сохраняются фрагменты ядер), что широко

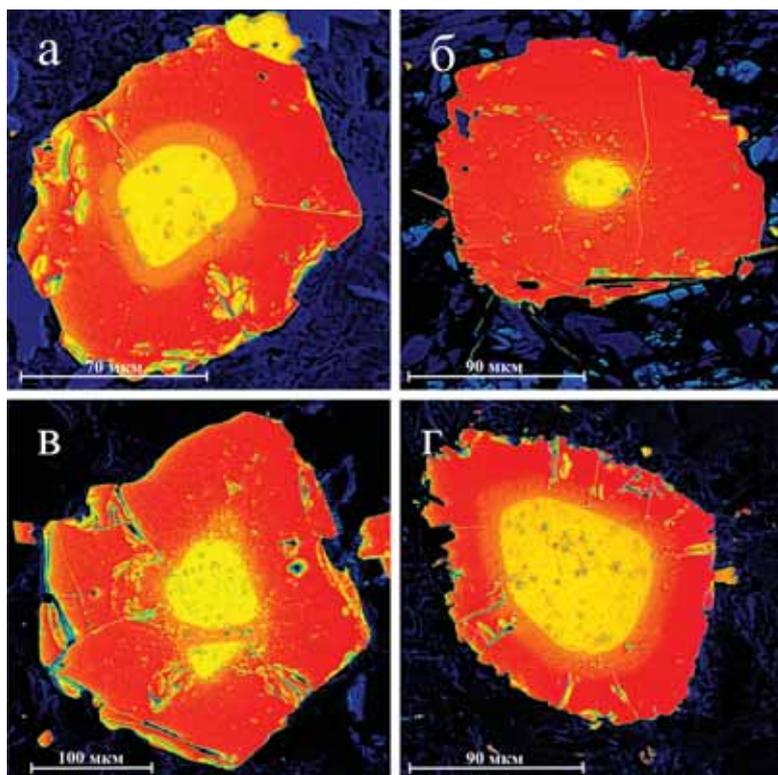


Рис. 3. Электронно-микроскопические (СЭМ) изображения первично-магматических зерен шпинелидов с реликтовыми ядрами из архейских коматиитов следующих структур:

а – Совдозерской, б – Хаутаваарской, в – Костомукшской, г – Сиивикковаара. Детектор - BSE

проявлено в коматиитах Костомукшской структуры. Кристаллы данного типа пересекаются многочисленными трещинами, по которым развивается актинолит и тремолит, имеют частично корродированные участки, как во внутренней части зерен (ядрах), так и на внешних границах, имеют многочисленные вторичные включения, что может отражать поздние реакционные процессы перекристаллизации.

Морфология аксессуарных шпинелидов, несомненно, определяется кинетикой процесса кристаллообразования, который в свою очередь зависит от температурных условий кристаллизации. Значительное переохлаждение расплава приводит к кристаллизации дендритоподобных скелетных кристаллов шпинели. В случае медленного теплообмена, в лавовых потоках формируются идиоморфные или гипидиоморфные кристаллы шпинели [Barnes 1998, 2000; Arndt et al., 2008].

В изучаемых вулканитах морфология крупных кристаллов первично-магматических шпинелидов, вероятнее всего, отражают режим ликвидусной кристаллизации. Формирование мультиагрегатных кластеров шпинелидов (с зональным строением и структурами “chicken-wire”) размером до 40 мкм более характерно кристаллизации хромитов из изолированного интеркумулятивно-расплава между кумулятивными оливиновыми агрегатами, что отмечалось ранее для кумулятивных ультраосновных пород [Godel et al., 2013].

### Геохимическая характеристика первично-магматических шпинелидов

Изучение крупных гипидиоморфных зональных кристаллов показало высокие содержания в них  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , что согласуется с их первично магматическим происхождением, вместе с тем, установлена геохимическая гетерогенность зерен. Во всех первично-магматических кристаллах шпинелидов изучаемых структур выделяются (табл.):

1) Ядра – представленные хромитом, субферрихромитом, алюмохромитом, субферриалюмохромитом, характеризующиеся высокими концентрациями хрома и алюминия, при минимальных содержаниях железа;

2) Кайма ядер выполнена субферрихромитом, субферриалюмохромитом, субалюмоферрихромитом, феррихромитом – отличающаяся от состава ядер повышенными содержаниями хрома, небольшим увеличением концентрации железа при снижении глинозема;

3) Внешняя оторочка зерен сформирована феррихромитом, хроммагнетитом, магнетитом, характеризуется пропорциональным увеличением содержания железа и уменьшением содержания хрома друг относительно друга к краевой части зерен.

Профильный (СЭМ) микроанализ в крест зональности зерен (рис. 4) позволил выделять реликтовые первично-магматические ядра кристаллов шпинели с максимальными кон-

Таблица 1. Вариации химического состава первично магматических зерен шпинелидов

Структура	Совдозерская ВСЗП	Хаутаваарская ВСЗП	Костомукшская ГКЗП	Сиивикковаара ЗПК
Проба (кол-во)	9м03-33 (35 зерен)	R14H-3 (3 зерна)	КЛ 47-06 (18 зерен)	F-22 (3 зерен)
Зона	центр / край зерна			
SiO <sub>2</sub>	<0,86 / <0,43	0,19-0,31 / <0,38	0,02-1,64 / <5,99	0,05-0,34 / 0,06-0,11
TiO <sub>2</sub>	0,08-0,60 / <0,36	0,25-0,50 / 0,51-1,65	0,10-0,42 / <0,31	0,18-0,65 / 0,06-0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,73-12,82 / <0,38	12,00-12,52 / <0,44	9,39-12,20 / <0,35	12,15-13,74 / <0,17
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45,08-51,73 / 3,73-11,07	49,09-49,33 / 7,71-17,93	48,94-51,80 / 2,45-10,56	44,64-45,51 / 8,22-10,88
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,45 / <0,60	<0,45 / <0,86	<0,34 / 0,02-0,66	0,12-0,42 / 0,12-0,22
FeO*	30,26-36,80 / 87,33-95,08	32,32-32,97 / 77,22-90,17	31,64-36,06 / 85,82-96,11	35,35-37,19 / 87,84-90,27
MnO	1,44-2,70 / <0,58	0,63-0,90 / 0,22-0,78	0,40-1,64 / <0,44	0,21-0,57 / <0,11
MgO	0,68-1,42 / <0,77	1,81-2,21 / 0,05-0,40	0,91-2,25 / <1,98	1,33-2,14 / 0,15-0,48
ZnO	1,84-4,33 / <0,50	1,96-2,39 / 0,20-0,37	1,28-2,22 / <0,53	2,09-2,62 / -
NiO	<0,56 / <0,70	<0,20 / 0,09-0,49	<0,37 / <0,76	<0,22 / <0,51
#Cr	70,22-77,38 / 93,07-100	72,48-73,29 / 96,47-100	73,32-78,52 / 87,86-100	68,97-71,14 / 97,68-100
#Mg	3,98-8,25 / <4,14	10,15-12,14 / 0,28-2,13	5,27-11,70 / <8,65	7,25-11,76 / 0,81-2,57
#Fe	3,70-11,64 / 83,64-94,50	5,36-5,70 / 71,84-88,48	3,15-9,84 / 84,39-96,01	9,68-11,38 / 84,03-88,24

Примечание. FeO\* – суммарное железо, #Cr = 100Cr/Al+Cr, #Mg = 100Mg/Fe<sup>2+</sup>+Mg, #Fe = 100Fe<sup>3+</sup>/Al+Cr+Fe<sup>3+</sup>.

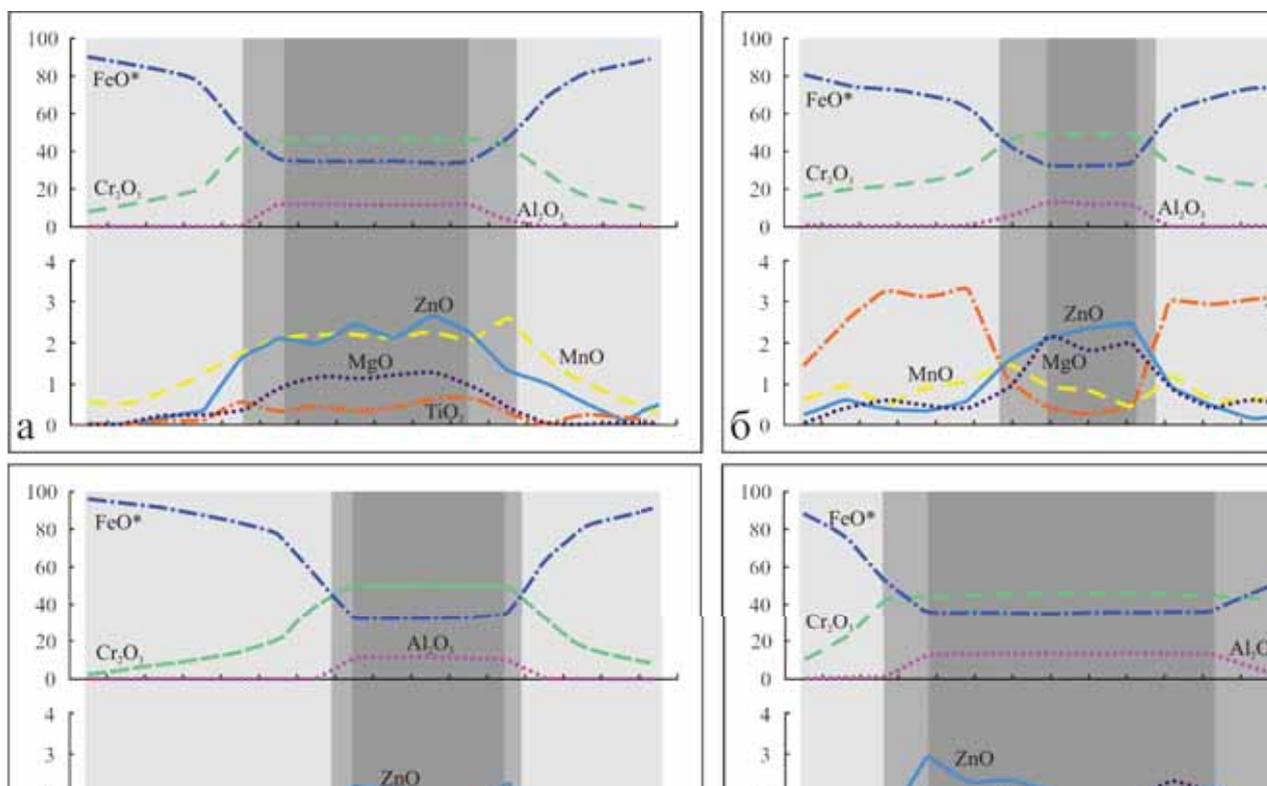


Рис. 4. Вариации химического состава по профилям через зерна первично-магматических шпинелидов из коматиитов изучаемых структур:

а – Совдозерской, б – Хаутаваарской, в – Костомукшской, г – Сиивикковаара. Области зерен отмечены цветом: темно-серая – ядро, серая – край ядра, светло-серая – внешняя оторочка зерен (диаметр зерен от 100 до 280 мкм)

центрациями Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO и MgO. Контрастный характер распределения характеризует FeO, концентрация которого происходит на внешних оторочках зерен, формирующихся на стадии метаморфической перекристаллизации. Отмечаемые стабильные концентрации основных окислов (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO) в реликтовых ядрах свидетельствует о том, что в этих участках сохранились области кристаллов,

не вовлеченных полностью в процессы метаморфической перекристаллизации, при этом небольшие вариации примесных элементов в ядрах указывают на воздействие метаморфических факторов (флюида, температуры и давления).

На классификационной диаграмме Н. В. Павлова [Павлов, 1949] (рис. 5) фигуративные точки первично магматических шпинелидов (от ядер

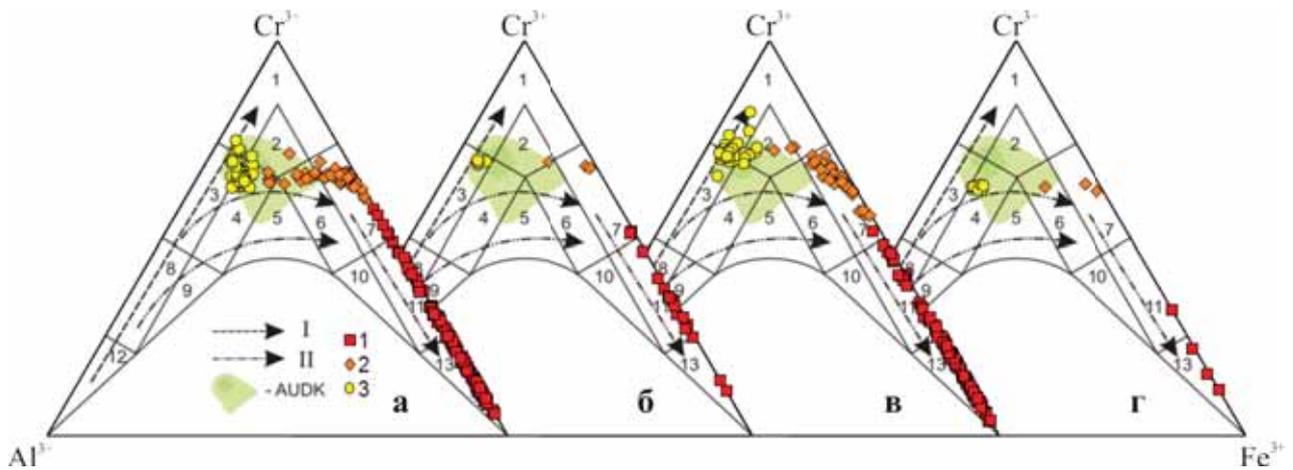


Рис. 5. Состав первично магматических шпинелидов из архейских коматитов изучаемых зеленокаменных структур на классификационной диаграмме Н. В. Павлова [Павлов, 1949]:

а – Совдозерская; б – Хаутаваарская; в – Костомукшская; г – Сиивикковаара. Подсемейства хромшпинелидов: 1 – хромит, 2 – субферрихромит, 3 – алюмохромит, 4 – субферриалюмохромит, 5 – ферриалюмохромит, 6 – субалюмоферрихромит, 7 – феррихромит, 8 – хромпикотит, 9 – субферрихромпикотит, 10 – субалюмохроммагнетит, 11 – хроммагнетит, 12 – пикотит, 13 – магнетит. Условные обозначения: 1 – внешняя оторочка, 2 – кайма ядер, 3 – реликтовые ядра. Тренды эволюции состава хромшпинели из ультрабазитов [Перевозчиков и др., 2004]: I – первичный тренд дифференциации в верхней мантии, II – вторичные тренды метаморфических преобразований в коровых условиях. AUDK – Al-недеплеированные коматиты [Arndt et al., 2008]

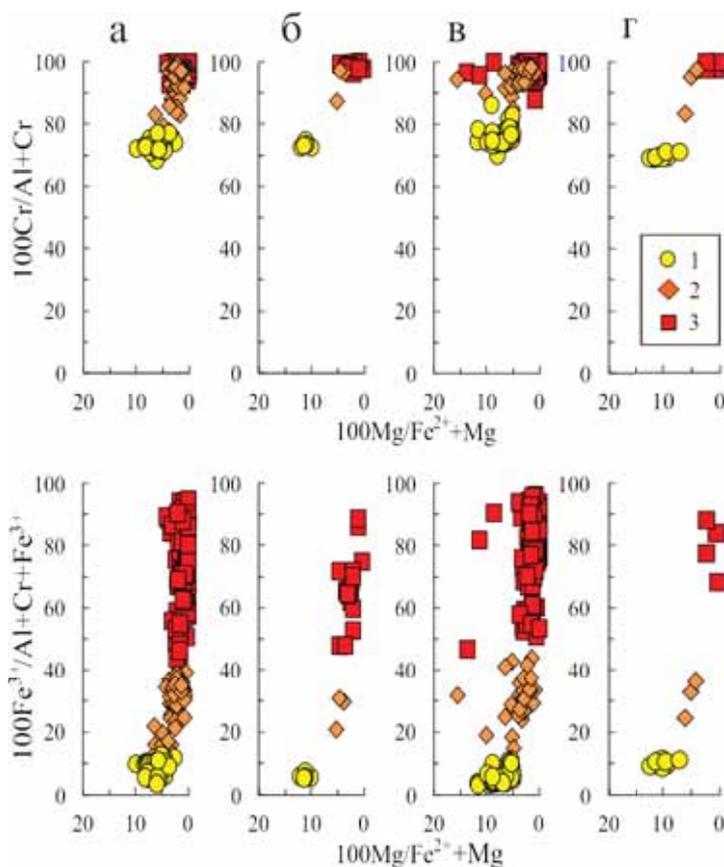


Рис. 6. Диаграммы  $100 \cdot \text{Cr}/(\text{Al} + \text{Cr}) - 100 \cdot \text{Mg}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  и  $100 \cdot \text{Fe}^{3+}/(\text{Al} + \text{Cr} + \text{Fe}^{3+}) - 100 \cdot \text{Mg}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  Ирвайна [Irvine, 1965] для первично магматических шпинелидов из коматитов изучаемых структур:

а – Совдозерская; б – Хаутаваарская; в – Костомукшская; ж – Сиивикковаара. Условные обозначения: 1 – реликтовые ядра, 2 – кайма ядер, 3 – внешняя оторочка

до краевых зон кристаллов) формируют тренд, совпадающий (для ядер) с первичным трендом магматической дифференциации шпинелей (от алюмохромитов до феррихромитов) и далее

сменяющийся (на краевых участках зерен) трендом метаморфического преобразования шпинелидов в коровых условиях – от феррихромитов до магнетитов.

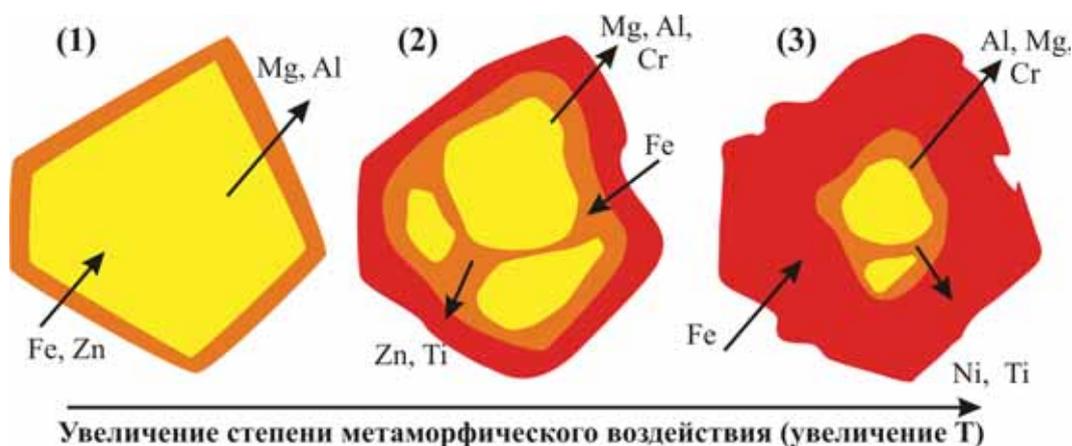


Рис. 7. Обобщенная схема химического изменения первично-магматических хромитов в ходе метаморфического преобразования архейских коматиитов изучаемых структур. Цифрами в скобках показаны этапы перекристаллизации зерен:

1 – образование хром-магнетитовой каймы, 2 – формирование гетерогенной внутренней структуры с зональными ядрами, 3 – консервация реликтовых ядер. Стрелками показаны направления выноса и привноса химических элементов. Цветами отмечены – зоны контрастных химических составов шпинели

Для изучения вариаций составов акцессорных шпинелидов в литературе широко используются диаграммы  $100 \cdot \text{Cr}/(\text{Al} + \text{Cr}) - 100 \cdot \text{Mg}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  и  $100 \cdot \text{Fe}^{3+}/(\text{Al} + \text{Cr} + \text{Fe}^{3+}) - 100 \cdot \text{Mg}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  – являющиеся гранями призмы Т. Ирвайна [Irvine, 1965] (рис. 6).

В данной системе контрастно выделяются области составов реликтовых ядер шпинелидов, кайма ядер и внешней оторочки зерен. Анализ составов шпинелидов в системе  $100 \cdot \text{Cr}/(\text{Al} + \text{Cr}) - 100 \cdot \text{Mg}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  показывает, что первично магматические ядра (хромит-алюмохромиты) имеют магнезиальность выше, чем краевые зоны кристаллов. Сопоставимые значения отношения  $100 \cdot \text{Cr}/(\text{Al} + \text{Cr})$  для первичных ядер шпинелидов изучаемых структур предположительно отражают близкие условия магмогенерации исходных расплавов, что коррелирует с принадлежностью коматиитовых комплексов к единому АУДК петрогенетическому типу.

В системе  $100 \cdot \text{Fe}^{3+}/(\text{Al} + \text{Cr} + \text{Fe}^{3+}) - 100 \cdot \text{Mg}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  дополнительно прослеживаются близкие к линейным, тренды метаморфического изменения химического состава минералов. Важно отметить, что существенные вариации отмечаются в первично магматических шпинелидах по содержанию Cr и Al, при постоянном  $\text{Mg}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  отношении, что может быть связано с низкой фугитивностью кислорода в процессе кристаллизации коматиитового расплава.

### Метаморфические преобразования шпинелидов

Проведенное изучение первично магматических шпинелидов в архейских коматиитах

АУДК-типа показало, что, несмотря на существенные метаморфические изменения пород, существует возможность обнаружения реликтов первично магматических минералов. Поиск реликтов первично магматических хромитов должен основываться, прежде всего, на изучении типоморфных особенностей акцессорных шпинелидов. Так, реликты первично магматических хромитов чаще сохраняются в крупных, идиоморфных (размером до 3 мм) кристаллах, имеющих трещиноватое строение и частично корродированные внешние каймы. Реакционные метаморфические процессы приводят к постепенному изменению химического состава минералов (при этом, как было показано выше, позволяют сохраниться реликтовым ядрам), вызывая формирование зональных структур зерен, диагностируемых СЭМ и лазерно-микроскопическими методами.

Детальное СЭМ исследование шпинелей показало, что процесс метаморфического изменения первично магматических зерен хромитов проходил с выносом Cr, Al, Mn, Zn, Mg в силикатную систему с одновременным обогащением Fe краевых частей зерен. Важно подчеркнуть, что Zn является чувствительным индикатором процессов вторичного изменения хромитов, что позволяет использовать его в качестве химического маркера сохранности реликтовых зерен.

Отмечаемые химические преобразования минеральных индивидов, вероятнее всего, не оказывали существенного влияния на изменение первичной морфологии зерен (их габитуса и размера) и это может быть охарактеризовано схемой преобразования кристаллов (рис. 7).

В ходе изучения акцессорных шпинелидов из архейских коматиитов восточной части Фенноскандинавского щита дополнительно выполнено изучение группы поздних метаморфических фаз шпинели [Рыбникова и др., 2014]. Отдельного внимания заслуживает генерация, представленная крупными однородными идиоморфными зернами (размером от 80 до 150 мкм, морфологически подобны первично магматическим), с несколько пониженным содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и отсутствием Al. Данная разновидность минералов формировалась на пике метаморфической перекристаллизации пород, представляя собой случай полной перекристаллизации первично магматической шпинели. Данный процесс, вероятнее всего, происходил до кристаллизации популяции мелких (1–30 мкм) пылевидных идиоморфных кристаллов магнетита (имеющих слабопроявленную геохимическую неоднородность, высокие концентрации FeO и низкие содержания прочих окислов) при разложении силикатных минералов (оливина, пироксена) с концентрацией по границам псевдоморфоз.

Для расчета температур метаморфического изменения шпинелидов и пород в целом проведено изучение магнетит-ильменитовых парагенезов, с целью применения термометра [Spencer, Lindsley, 1981]. На примере коматиитов Совдозерской структуры установлено, что в случае парагенеза ильменита с магнетитом из внешней оторочки первично-магматических шпинелей значения температур перекристаллизации варьируют в интервале 440–490 °С, а в парагенезе с вторичными поздними магнетитами 410–480 °С. Данные значения соответствуют температурам метаморфической проработки пород коматиитовых серий в мезо- и неоархее [Володичев и др., 2002; Светов, 2005].

Проведенные работы показали, что при метаморфических преобразованиях коматиитов в условиях зеленосланцевой – эпидот-амфиболитовой фации при давлениях < 5 кбар и температурах < 500 °С происходит перекристаллизация первично-магматических шпинелидов, сохраняющая первичные реликтовые ядра в зернах шпинелидов.

### Геохимия шпинелидов как отражение условий магмогенерации пород

Изучение акцессорных шпинелидов в мезоархейских коматиитах позволило установить не только сосуществование нескольких генераций минералов, но и выявить значительные отличия в их химическом составе [Рыбникова и др., 2014], что является следст-

ствием изменения условий кристаллизации на различных эволюционных этапах развития высокомагнезиальных комплексов. В контексте данного исследования, акцент сделан на оценке возможностей использования данных по геохимии реликтов первично-магматических шпинелидов для реконструкции термодинамических параметров кристаллизации коматиитовых расплавов.

Хромиты уже длительное время широко используются как петрологические индикаторы [Irvine, 1965] благодаря тому, что их ранняя кристаллизация позволяет коррелировать химический состав данными минеральных фаз и первичного расплава [Barnes, Roeder, 2001]. В результате экспериментального изучения шпинелидов в природных системах установлена корреляция между концентрациями  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  между хромитом и расплавом [Kamenetsky et al., 2001], что принципиально важно в случае коматиитовых магм, для которых принадлежность к Al-деплементированному (ADK) или Al-недеплементированному (AUDK) типу отражает глубину зарождения расплавов.

Для кумулятивных подформных хромитов зависимость между содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  в минерале и расплаве описывается следующими уравнениями [Kamenetsky et al., 2001]:

$$\text{Ln (wt \% Al}_2\text{O}_3 \text{ в расплаве)} = 0,412322 \times \text{Ln (wt \% Al}_2\text{O}_3 \text{ в хромите)} + 1,38529;$$

$$\text{Ln (wt \% TiO}_2 \text{ в расплаве)} = 0,82574 \times \text{Ln (wt \% TiO}_2 \text{ в хромите)} + 0,20203;$$

использование данных математических закономерностей, ранее апробированных на примере офиолитовых комплексов и базальтов срединно-океанических хребтов [Page, Barnes, 2009], позволяет оценить интервал содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  в расплавах на момент излияния. Для коматиитов изучаемых структур интерпретация химического состава хромитов с помощью данных закономерностей позволила получить следующие характеристики первичных расплавов (вес. %): Совдозерская структура –  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 11,03 \pm 0,44$ ,  $\text{TiO}_2 = 0,54 \pm 0,17$ ; Хаугтаваарская –  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 11,17 \pm 0,21$ ,  $\text{TiO}_2 = 0,57 \pm 0,11$ ; Костомукшская –  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,81 \pm 0,34$ ,  $\text{TiO}_2 = 0,40 \pm 0,14$ ; Сиивикковаара –  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 11,29 \pm 1,01$ ,  $\text{TiO}_2 = 0,45 \pm 0,22$ , что в отличие от реальных составов коматиитовых магм, существующих в изучаемых структурах. Так концентрация  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в коматиитах ( $\text{MgO} > 18$  вес. %) варьирует 4,59 до 8,79 вес. %, но при этом реальные расплавы характеризуются более низкими содержаниями  $\text{TiO}_2$ , ниже 0,4 вес. %, что может объясняться различными математическими зависимостями между составами кумулятивных

подформных и аксессуарных хромитов и расплавом или возможной отсадкой из расплава пироксена, в решетку которого входит Al и Ti.

На наш взгляд, правомернее рассматривать необходимость корректировки математических зависимостей в распределении  $Al_2O_3$  и  $TiO_2$  в аксессуарных хромитах и коматиитовом расплаве AUDK-типа. Анализ валовых концентраций коматиитов (из которых опробовались хромиты (около 40 анализов)) с составами хромитов (200 СЭМ анализов) позволяет предложить вариант модифицированной зависимости:

$Ln$  (wt %  $Al_2O_3$  в коматиитовом расплаве) =  $0,41 \times Ln$  (wt %  $Al_2O_3$  в хромите) + 0,94;

$Ln$  (wt %  $TiO_2$  в коматиитовом расплаве) =  $0,98 \times Ln$  (wt %  $TiO_2$  в хромите);

Применение модифицированных уравнений позволило получить максимально близкие к изучаемым породам характеристики (вес. %): Совдозерская структура –  $Al_2O_3 = 6,96 \pm 0,58$ ,  $TiO_2 = 0,37 \pm 0,12$ ; Хаугаваарская –  $Al_2O_3 = 7,10 \pm 0,13$ ,  $TiO_2 = 0,40 \pm 0,09$ ; Костомукшская –  $Al_2O_3 = 6,97 \pm 0,21$ ,  $TiO_2 = 0,32 \pm 0,11$ ; Сиивикковаара –  $Al_2O_3 = 7,17 \pm 0,68$ ,  $TiO_2 = 0,31 \pm 0,18$ .

Анализ вариаций содержаний  $Al_2O_3$  в первично-магматических хромитах из коматиитов Al-недеплеированного типа (AUDK) рассматриваемых структур Фенноскандинавского щита показал, что концентраций глинозема в хромитах AUDK-типа всегда существенно выше наблюдаемых в коматиитах Al-деплеированного типа (ADK) из зеленокаменных поясов Барбертон (ЮАР), Форрестаниа (З. Австралия), что, несомненно, отражает специфику состава первичных расплавов коматиитов AUDK и ADK типов [Arndt et al., 2008].

Важным аспектом изучения первично магматических аксессуарных хромитов является определение концентрации в них примесных компонентов, в том числе элементов платиновой группы (ЭПГ). В ходе исследования использовался СЭМ VEGA II LSH с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350, не позволяющий качественно определять микроконцентрации данных фаз. Однако проведение измерений в режиме увеличенного времени набора спектра в точках анализа до 300 секунд показало, что в ядрах первично магматических хромитов, из коматиитов Совдозерской и Костомукшской структур, диагностируются высокие содержания ЭИПГ (Os, Ir, Ru до 100 ppb) и ЭППГ (Pt и Pd до 200 ppb). Данное наблюдение согласуется с высокими значениями коэффициентов разделения хромит-расплав для ЭПГ:  $Kd_{(Os, Ir)}$  (хромит-расплав) > 8 и  $Kd_{(Ru)}$  (хромит-расплав) > 79 [Page et al., 2012].

Отдельного внимания заслуживает распределение никеля в шпинелидах. В ядрах первично-магматических зерен хромит-субферрихромит-алюмохромита содержание NiO значительно варьирует, не превышая 0,47 вес. % (3700 ppm). Учитывая  $Kd_{(Ni)}$  (хромит-расплав) = 53 [Некрасов, Горбачев, 1979], можно предполагать максимальную концентрацию Ni в расплаве на уровне 60–70 ppm, в то время как коматииты, в которых изучались аксессуарные фазы, содержат Ni – от 600 до 2730 ppm. Данное наблюдение может отражать эффект кристаллизации хромита из обедненного Ni расплава (за счет кристаллизации оливина, в решетку которого входит Ni). Вместе с тем, важно отметить, что вторичные хроммагнетит-магнетитовые зерна также характеризуются повышенными концентрациями NiO, что уже является результатом серпентинизации Ni-обогащенных оливинов и перераспределения никеля между силикатными (оливины и пироксены) и магнетитовыми фазами в ходе метаморфических реакций [Barnes, Kunilov, 2000].

Отмеченные аномально высокие содержания Ni и ЭПГ в первично магматических хромитах, несомненно, требуют дальнейшего изучения и проведения прецизионного локального геохимического опробования шпинелидов методом LA-ICP-MS, что и запланировано на следующем этапе исследований.

Геохимический состав шпинелидов широко используется для оценки возможных геодинамических режимов формирования породных комплексов. Сопоставление составов первично магматических шпинелидов из коматиитов восточной части Фенноскандинавского щита по  $\#Cr = 100 \times Cr / (Al + Cr)$  дает хорошую сходимость с аксессуарными хромитами из коматиитов (AUDK-типа) архейских зеленокаменных поясов мира [Arndt et al., 2008] и близко вулканикам офиолитовых ассоциаций [Cameron, Nisbet, 1982], однако при этом первые характеризуются более низким коэффициентом  $\#Mg$  [Arndt et al., 2008].

По соотношению  $6 < Al_2O_3 < 13$ ,  $2 < Fe^{2+}/Fe^{3+} < 11$  и  $TiO_2 < 0,8$  первично магматические хромиты из коматиитов изучаемых структур подобны аксессуарным шпинелидам коматиитов AUDK-типа (коматииты зеленокаменных поясов Абитиби и Йилгарн), а также попадают в область составов шпинелидов из перидотитов супрасубдукционных зон (PSSZ) и островных дуг (ARC) (рис. 8) по: [Kamenetsky et al., 2001].

Важно отметить, что проведенный ранее [Светов, 2005, 2009] анализ геологического строения, геохимии и петрологии зеленокаменных комплексов центральной части Карельского кратона (Ведлозерско-Сегозерского

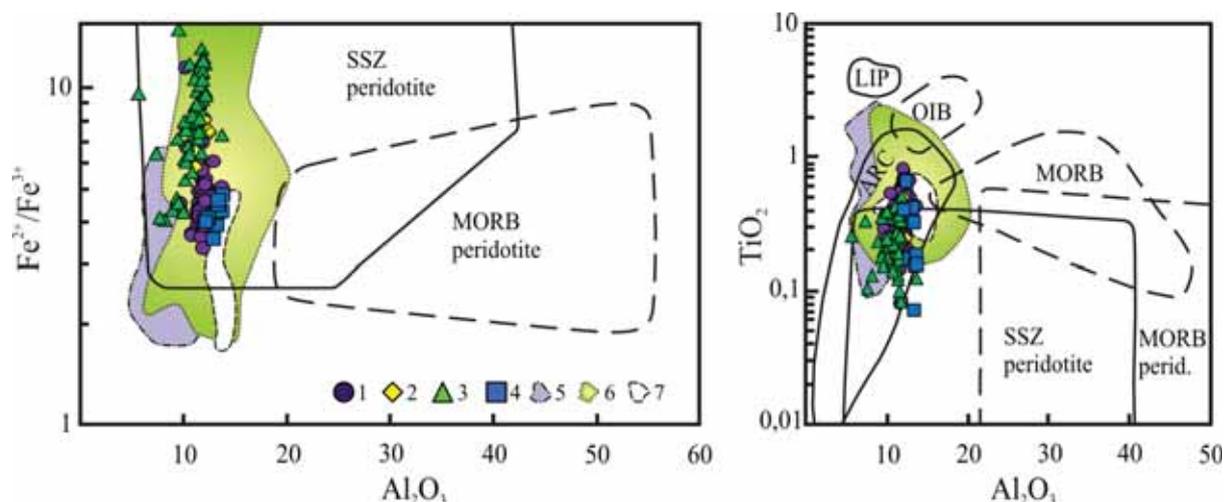


Рис. 8. Составы реликтовых ядер хромшпинелидов из коматиитов изучаемых структур на диаграммах  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$  с вынесенными полями вулканитов различных геодинамических обстановок [Kamenetsky et al., 2001]. Зеленокаменные структуры:

1 – Совдозерская, 2 – Хаутаваарская, 3 – Костомукшская, 4 – Сиивиковаара; Поля хромитов их коматиитов зеленокаменных поясов: 6 – Барбертон, 7 – Йилгарн, 8 – Абитиб (база данных «GEOROC - Geochemistry of Rocks of the Oceans and Continents»). ARC – поле островодужных вулканитов: SSZ – перидотиты супра-субдукционной зоны, OIB – базальты океанических островов, MORB – базальты и перидотиты срединно-океанических хребтов, LIP – крупные изверженные комплексы базальтов (плато-базальты Кару, Центральной Сибири, Эмэйшань)

зеленокаменного пояса), содержащих коматиит-базальтовые серии, показал возможность формирования ассоциаций в задуговых бассейнах, приуроченных к окраинно-континентальным вулканическим дугам [Светов, 2005], что согласуется с интерпретацией химического состава шпинелидов.

Для определения температурных параметров формирования шпинелидов использовался программный комплекс Petrolog 3.1 [Danyushevsky, 2001; Danyushevsky, Plechov, 2011], в результате рассчитаны модельные температуры кристаллизации магматических хромитов в коматиитовых расплавах. Для шпинелидов Совдозерской, Костомукшской и Сиивиковаара структур получены близкие значения температур кристаллизации в интервале 1310–1470 °C, что коррелирует с проведенным ранее термическим анализом монофракций шпинели, выделенных из коматиитов Совдозерской структуры, позволивший установить, что на кривых нагревания ДСК присутствует эндотермический эффект в интервале температур 1340 – 1370 °C, что, вероятнее всего, соответствовало температуре плавления (кристаллизации) хромитов [Рыбникова и др., 2014].

Дополнительно в ходе моделирования определена последовательность кристаллизации минеральных фаз в коматиитовом расплаве. Установлено, что выделению хромита в коматиитовом расплаве AUDK-типа предшествует

кристаллизация оливина ( $\text{Fo}_{90-94}$ ), начинающаяся при температурах 1730–1560 °C, что согласуется с результатами экспериментальных работ [Zhang, Herzberg, 1994; Herzberg, 1995; Herzberg, O'Hara, 1998].

Оценка P–T параметров излияния ( $T_{\text{ли}}$ ) высокомагнезиальных расплавов, базирующаяся на интерпретации химического состава зон закалки коматиитов изучаемых структур, позволила оценить температуры ликвидуса мезоархейских коматиитов, которые варьировали от 1600 до 1500 °C [Светов, Смолькин, 2003; Светов и др., 2014].

Полученные данные свидетельствуют о том, что в ходе извержения коматиитовых расплавов длительный временной интервал (на стадии подъема магмы на дневную поверхность и излиянии) основной минеральной фазой, контролирующей эволюцию расплава, являлся оливин, и лишь после существенного охлаждения расплава (на 200–250 °C) к кристаллизации добавлялся алюмохромит +/- пироксен.

Таким образом, на примере изучения реликтов аксессуарных шпинелидов в мезоархейских коматиитовых комплексах Фенноскандинавского щита показано, что геохимия первично магматических шпинелидов является важным источником дополнительной информации о процессах магмогенеза первичных расплавов, позволяет оценить температурные режимы кристаллизации пород и оценивать первичный потенциал материнских расплавов на рудные компоненты (Ni, ЭПГ).

## Выводы

Проведенные исследования показали, что в мезоархейских коматиитах AUDK и ADK-типов (сформированных в интервале от 3,0 до 2,7 млрд лет) сохраняются акцессорные шпинелиды хромит-алюмохромитового типа в виде реликтовых ядер в крупных зернах магнетит-хроммагнетита в центральных зонах дифференцированных лавовых потоков. Однако в случае если метаморфические преобразования пород проходят в условиях выше эпидотамфиболитовой фации (в интервале давлений  $\geq 5$  кбар и температурах  $\geq 500$  °C), реликты первично магматических акцессорных хромитов полностью замещаются.

СЭМ изучение шпинелидов в коматиитах позволило установить сосуществование нескольких их генераций, характеризующихся контрастным химическим составом. При этом химическая характеристика первично-магматических и поздних метаморфических фаз шпинели в мезоархейских коматиитах различных структур Фенноскандинавского щита во многом подобна, что является следствием близких условий магмогенерации коматиитовых расплавов AUDK-типа и подобными режимами поздних региональных метаморфических преобразований.

Изученные реликтовые фрагменты зерен хромитов-субферриалюмохромитов ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  44,64–51,80 вес. %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  9,39–13,74 вес. %, #Cr 68,97–78,52, #Mg 3,98–12,14, #Fe < 12) являлись равновесными первично магматическими минеральными фазами в коматиитовых расплавах и кристаллизовались в интервале температур 1340–1370 °C. Выявленная геохимическая зональность в них является результатом равновесной кристаллизации коматиитового расплава с постепенным понижением температуры, приводящей к образованию твердых растворов алюмохромит – субферриалюмохромитов.

Химический состав реликтовых ядер первично магматических шпинелидов из изучаемых коматиитов подобен составу акцессорных шпинелидов из перидотитов супра-субдукционных зон и островных дуг, что согласуется с предположением о формировании коматиит-базальтовой ассоциации в задуговых бассейнах, приуроченных к окраинно-континентальным вулканическим дугам.

Проведенное исследование показало большой петрологический потенциал, который открывается при изучении акцессорных минеральных фаз в метаморфически измененных породах архея.

*Автор выражает благодарность д. г.-м. н. В. С. Куликову за ценные замечания и советы в ходе подготовки статьи, д. г.-м. н. С. А. Светову за всестороннюю поддержку исследований автора, коллективу лаборатории геохимии и моделирования природных и техногенных процессов ИГ КарНЦ РАН за содействие в проведении полевых и аналитических исследований, сотруднику Геологической службы Финляндии – Dr. T. Halkoaho за помощь в организации и проведении полевых исследований в пределах зеленокаменного пояса Кухмо, В. Финляндия в 2014 г.*

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 13-05-00402 и 13-05-00402 А.*

## Литература

Арестова Н. А., Чекулаев В. П., Матвеева Л. В. и др. Новые данные о возрасте архейских пород Водлозерского домена (Балтийский щит) и их значение для геодинамических реконструкций // Доклады Академии наук. 2012. Т. 442, № 1. С. 67–73.

Володичев О. И., Кулешевич Л. В., Кузенко Т. И. Эндогенные режимы метаморфизма в различных геодинамических обстановках докембрия Карелии // Рукописный науч. отчет, ИГ КарНЦ РАН. 2002. 187 с.

Вревский А. Б. Петрология и геодинамические режимы развития архейской литосферы (на примере северо-восточной части Балтийского щита). Л.: Наука, 1989. 143 с.

Вревский А. Б., Матреничев В. А., Ружьева М. С. Петрология коматиитов Балтийского щита и изотопно-геохимическая эволюция их мантийных источников // Петрология. 2003. Т. 11, № 6. С. 587–617.

Кожевников В. Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 223 с.

Куликов В. С., Куликова В. В. и др. Коматииты и высокомагнезиальные базальты раннего докембрия Балтийского щита. Л.: Наука, 1988. 192 с.

Куликов В. С., Куликова В. В., Бычкова Я. В. Ветреный пояс: тектоно- и петротип палеопротерозоя юго-восточной Фенноскандии // Геология Карелии от архея до наших дней. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 91–103.

Куликов В. С., Куликова В. В., Бычкова Я. В. О классификации ультраосновных-основных высокомагнезиальных вулканических пород нормальной и низкой щелочности (новый взгляд на примере Фенноскандии) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. № 15. С. 38–44.

Минералы. Справочник. Том 2. Вып. 3. Сложные окислы, титанаты, ниобаты, танталаты, антимонаты, гидроокислы / Под. ред. Ф. В. Чухрова. М.: Наука, 1967. 676 с.

Некрасов И. Я., Горбачев И. С. К вопросу о генезисе базитовых рудно-силикатных магм // Проблемы физико-химической петрологии (состояние флюида и растворов, метасоматоз, рудообразование). М.: Наука, 1979. Т. 2. С. 258–272.

- Павлов Н. В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Тр. Ин-та геол. наук. Сер. Руд. месторожд. 1949. Вып. 103, № 3. 88 с.
- Перевозчиков Б. В., Плотников А. В., Макиев Т. Т. Природа вариаций состава рудной и акцессорной хромшпинели ультрабазитового массива Сьюм-Кеу (Полярный Урал) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: науч. чтения памяти П. Н. Чирвинского. Вып. 6. Пермь: Перм. ун-т, 2004. С. 170–180.
- Рыбникова З. П., Светов С. А. Геохимия акцессорных хромитов из мезоархейских коматиитов Центральной Карелии (на примере Совдозерской структуры) // Труды Карельского научного центра РАН. Серия Геология докембрия. 2014. № 1. С. 158–166.
- Рыбникова З. П., Светов С. А., Вревский А. Б. и др. Акцессорные хромшпинелиды из мезоархейских коматиитов Фенноскандинавского щита // Литосфера. 2014. № 6. С. 22–44.
- Светов С. А. Древнейшие адакиты Фенноскандинавского щита. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. 115 с.
- Светов С. А. Магматические системы зоны перехода океан–континент в архее восточной части Фенноскандинавского щита. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 230 с.
- Светов С. А., Рыбникова З. П., Вревский А. Б. Реконструкция Р–Т параметров генерации и излияния мезоархейских коматиитовых расплавов по данным изучения акцессорных шпинелидов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. 2014. № 4. С. 19–36.
- Светов С. А., Смолькин В. Ф. Модельные РТ-условия генерации высокомагнезиальных магм докембрия Фенноскандинавского щита // Геохимия. 2003. Т. 41, № 8. С. 879–892.
- Смолькин В. Ф. Коматиитовый и пикритовый магматизм раннего докембрия Балтийского щита. СПб.: Наука, 1992. 272 с.
- Arndt N. T. Komatiites: a dirty window to the Archean mantle // Terra Cognita. 1986. Vol. 6. P. 59–66.
- Arndt N. T., Leshner C. M., Barnes S. J. Komatiite. Cambridge: Cambridge University Press., 2008. 467 p.
- Barnes S. J. Chromite in komatiites, I. Magmatic controls on crystallization and composition. // Journal of Petrology. 1998. Vol. 39. P. 1689–1720.
- Barnes S. J. Chromite in komatiites, II. Modification during greenschist to mid-amphibolite facies metamorphism // Journal of Petrology. 2000. Vol. 41. P. 387–409.
- Barnes S. J., Kuniyov V. Y. Spinels and Mg-ilmenites from the Noril'sk 1 and Talnakh intrusions and other mafic rocks of the Siberian flood basalt province; Econ. Geol. 2000. Vol. 95. P. 1701–1717.
- Barnes S. J., Roeder P. L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // J. Petrol. 2001. Vol. 42. P. 2279–2302.
- Cameron W. E., Nisbet E. G. Phanerozoic analogues of komatiitic basalts. In: Komatiites (eds. N. T. Arndt, E. G. Nisbet). George Allen & Unwin, London. 1982. P. 29–49.
- Danyushevsky L. V. The effect of small amounts of H<sub>2</sub>O on crystallization of mid-ocean ridge and backarc basin magmas // J. Volcan. Geoth. Res. 2001. Vol. 110, No 3–4. P. 265–280.
- Danyushevsky L. V., Plechov P. Yu. Petrolog 3: Integrated software for modeling crystallization processes // Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 29 July 2011. 2011. Vol. 12. N 7. Q07021, doi: 10.1029/2011GC003516.
- Godel B. M., Barnes S. J. Deposition mechanisms of magmatic sulphide liquids: evidence from high-resolution x-ray computed tomography and trace element chemistry of komatiite-hosted disseminated sulphides // Journal of Petrology. 2013. Vol. 54, No 7. P. 1454–1481.
- Herzberg C. Generation of plume magmas through time: an experimental perspective // Chemical Geology. 1995. Vol. 126. P. 1–16.
- Herzberg C., O'Hara M. J. Phase equilibrium constraints on the origin of basalts, picrites and komatiites // Earth-Science Reviews. 1998. Vol. 44. P. 39–79.
- Irvine T. N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. part I. theory. Canadian Journal of Earth Sciences. 1965. Vol. 2. P. 648–672.
- Kamenetsky V. S., Crawford A. J., Meffre S. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: An empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks // J. Petrol. 2001. Vol. 4. P. 655–671.
- Le Bas M. J. IUGS Reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks // J. Petrol. 2000. Vol. 41. P. 1467–1470.
- Page P., Barnes S. J., Bedard J. H., Zientek M. L. In situ determination of Os, Ir, and Ru in chromites formed from komatiite, tholeiite and boninite magmas: implications for chromite control of Os, Ir and Ru during partial melting and crystal fractionation // Chemical Geology. 2012. Vol. 302–303. P. 3–15.
- Pagé, P., Barnes, S. J. Using trace elements in chromites to constrain the origin of podiform chromitites in the Thetford Mines Ophiolite, Quebec, Canada // Economic Geology. 2009. Vol. 104(7). P. 997–1018.
- Papunen H., Halkoaho T., Luukkonen E. Archaean evolution of the Tipasjärvi-Kuhmo-Suomussalmi Greenstone Complex, Finland // Bulletin of the Geological Survey of Finland 2009. Vol. 403. 68 p.
- Puchtel L. S., Hofmann A. W., Mezger K. et al. Oceanic plateau model continental crustal growth in the Archaean: A case study from Kostomuksha greenstone belt, NW Baltic Shield // Earth Planet. Sci. Lett. 1998. Vol. 155. P. 57–74.
- Spencer K. J., Lindsley D. H. A solution model for coexisting iron-titanium oxides. American Mineralogist. 1981. Vol. 66. P. 1190–1201.
- Svetov S. A., Svetova A. I., Huhma H. Geochemistry of the komatiite-tholeiite rock association in the Vedlozero-Segozero archaean greenstone belt, Central Karelia // Geochemistry International. 2001. Vol. 39. Suppl. 1. P. 24–38.
- Zhang J., Herzberg C. Melting experiments on anhydrous peridotite KLB-1 from 5.0 to 22.5 Gpa // J. Geophysical Res. 1994. Vol. 99. P. 1729–1774.

Поступила в редакцию 11.02.2015

## References

- Arestova N. A., Chekulaev V. P., Matveeva L. V., Kucherovskii G. A., Lepekhina E. N., Sergeev S. A. Novye dannye o vozraste arkheiskikh porod Vodlozerskogo domena (Baltiiskii shchit) i ikh znachenie dlya geodinamicheskikh rekonstruktsii [New age data on the Archean rocks of the Vodlozero domain (Baltic Shield) and their significance for geodynamic reconstructions]. *Doklady Akademii nauk [Proceedings of the Academy of Sciences]*. 2012. Vol. 442, No 1. P. 67–73.
- Volodichev O. I., Kuleshevich L. V., Kuzenko T. I. Endogennyye rezhimy metamorfizma v razlichnykh geodinamicheskikh obstanovkakh dokembriya Karelii [Endogenous regimes of metamorphic transformations in various geodynamic settings in the Precambrian of Karelia]. *Rukopisnyi nauch. otchet, IG KarNTS RAN*. 2002. 187 p.
- Vrevskii A. B. Petrologiya i geodinamicheskie rezhimy razvitiya arkheiskoi litosfery (na primere severo-vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita) [Petrology and geodynamic regimes of the Archean lithosphere development (example of the northeastern part of the Baltic Shield)]. Leningrad: Nauka, 1989. 143 p.
- Vrevskii A. B., Matrenichev V. A., Ruzh'eva M. S. Petrologiya komatiitov Baltiiskogo shchita i izotopno-geokhimicheskaya evolyutsiya ikh mantiinykh istochnikov [Petrology of komatiites from the Baltic Shield and isotope geochemical evolution of their mantel sources]. *Petrologiya*. 2003. Vol. 11, No 6. P. 587–617.
- Kozhevnikov V. N. Arkheiskie zelenokamennyye poyasa Karel'skogo kratona kak akkretsiionnye orogeny [Archean greenstone belts of the Karelian Craton as accretionary orogens]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2000. 223 p.
- Kulikov V. S., Kulikova V. V. i dr. Komatiity i vysokomagnezial'nye bazal'ty rannego dokembriya Baltiiskogo shchita [Komatiites and high-magnesium basalts of the early Precambrian from the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1988. 192 p.
- Kulikov V. S., Kulikova V. V., Bychkova Ya. V. Vetrynyy poyas: tektono- i petrotip paleoproterozoya yugo-vostochnoi Fennoskandii [Windy belt: early proterozoic tectonic and petrologic type of the southeastern Fennoscandia]. *Geologiya Karelii ot arkheya do nashikh dnei [Geology of Karelia from the Archean to the present]*. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2011. P. 91–103.
- Kulikov V. S., Kulikova V. V., Bychkova Ya. V. O klassifikatsii ul'traosnovnykh-osnovnykh vysokomagnezial'nykh vulkanitov normal'noi i nizkoi shchelochnosti (novyi vzglyad na primere Fennoskandii) [On the classification of the ultrabasic-basic high-magnesium volcanic rocks of normal and low alkalinity (a new look on the example of Fennoscandia)]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii [Geology and mineral resources of Karelia]*. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2012. No 15. P. 38–44.
- Mineraly. Slozhnye okisly, titanaty, niobaty, tantalaty, antimonaty, gidrookisly [Minerals. Complex oxides, titanates, niobates, tantalates, antimonates, hydroxides]. Spravochnik. Ed. F. V. Chukhrova. Moscow: Nauka, 1967. Vol. 2, iss. 3. 676 p.
- Nekrasov I. Ya., Gorbachev I. S. K voprosu o genezise bazitovykh rudno-silikatnykh magm [On the question of the basic ore and silicate magma genesis]. *Problemy fiziko-khimicheskoi petrologii (sostoyanie flyuida i rastvorov, metasomatoz, rudoobrazovanie) [Problems of physiochemical Petrology (condition of fluids and solutions, metasomatism, ore formation)]*. Moscow: Nauka, 1979. Vol. 2. P. 258–272.
- Pavlov N. V. Khimicheskii sostav khromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ul'traosnovnykh intruzivov [Chemical composition of chrome-spinels in view of the petrographic composition of the rocks of the ultrabasic intrusion]. *Tr. In-ta geol. nauk. Ser. Rud. mestorozhd. [Proceedings of the Institute of Geological Sciences. Ore deposits series]*. 1949. Iss. 103, No 3. 88 p.
- Perevozchikov B. V., Plotnikov A. V., Makiev T. T. Priroda variatsii sostava rudnoi i aktsessornoi khromshpineli ul'trabazitovogo massiva Syum-Keu (Polyarnyi Ural) [Nature of variations in the composition of the ore and accessory chrome-spinels from Syum-Keu ultrabasic massif (Polar Urals)]. *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii: nauch. chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo*. Iss. 6. Perm': Perm. un-t, 2004. P. 170–180.
- Rybnikova Z. P., Svetov S. A. Geokhimiya aktsessornykh khromitov iz mezoarkheiskikh komatiitov Tsentral'noi Karelii (na primere Sovdozerskoi struktury) [Geochemistry of accessory chromites in mesoarchean komatiites from Central Karelia (Sovdozero structure)]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya Geologiya dokembriya [Proceedings of the Karelian research centre RAS. Precambrian geology series]*. 2014. No 1. P. 158–166.
- Rybnikova Z. P., Svetov S. A., Vrevskii A. B., Klimovskaya E. A., Chazhengina S. Yu. Aktsessornye khromshpinelidy iz mezoarkheiskikh komatiitov Fennoskandinavskogo shchita [Accessory chrome-spinels in Mesoarchean komatiites of the Fennoscandian Shield]. *Litosfera*. 2014. No 6. P. 22–44.
- Svetov S. A. Drevneishie adakity Fennoskandinavskogo shchita [The oldest adakites of the Fennoscandian Shield]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2009. 115 p.
- Svetov S. A. Magmatische sistemy zony perekhoda okean-kontinent v arkhee vostochnoi chasti Fennoskandinavskogo shchita [Magmatic systems in the ocean-continent transition zone in the Archean of the eastern Fennoscandian Shield]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2005. 230 p.
- Svetov S. A., Rybnikova Z. P., Vrevskii A. B. Rekonstruktsiya P–T parametrov generatsii i izliyaniya mezoarkheiskikh komatiitovykh rasplavov po dannym izucheniya aktsessornykh shpinelidov [Reconstruction of P–T parameters of generation and extrusion of Mesoarchean komatiitic melts according to the study of accessory spinels]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta [Herald of St. Petersburg University]*. Ser. 7. 2014. No 4. P. 19–36.

Svetov S. A., Smol'kin V. F. Model'nye PT-usloviya generatsii vysokomagnezial'nykh magm dokembriya Fennoskandinavskogo shchita [Model PT-conditions of high-magnesia magma generation in the Precambrian of the Fennoscandian Shield]. *Geokhimiya*. 2003. Vol. 41, No 8. P. 879–892.

Smol'kin V. F. Komatiitovyi i pikritovyi magmatizm rannego dokembriya Baltiiskogo shchita [Early Precambrian komatiitic and picritic magmatism of the Baltic Shield]. St. Petersburg: Nauka, 1992. 272 p.

Arndt N. T. Komatiites: a dirty window to the Archean mantle. *Terra Cognita*. 1986. Vol. 6. P. 59–66.

Arndt N. T., Lesher C. M., Barnes S. J. Komatiite. Cambridge: Cambridge University Press. 2008. 467 p.

Barnes S. J. Chromite in komatiites, I. Magmatic controls on crystallization and composition. *Journal of Petrology*. 1998. Vol. 39. P. 1689–1720.

Barnes S. J. Chromite in komatiites, II. Modification during greenschist to mid-amphibolite facies metamorphism. *Journal of Petrology*. 2000. Vol. 41. P. 387–409.

Barnes S. J., Kunilov V. Y. Spinels and Mg-ilmenites from the Noril'sk 1 and Talnakh intrusions and other mafic rocks of the Siberian flood basalt province. *Econ. Geol.* 2000. Vol. 95. P. 1701–1717.

Barnes S. J., Roeder P. L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *J. Petrol.* 2001. Vol. 42. P. 2279–2302.

Cameron W. E., Nisbet E. G. 1982. Phanerozoic analogues of komatiitic basalts. In: *Komatiites* (eds. N. T. Arndt, E. G. Nisbet). George Allen & Unwin, London, 1982. P. 29–49.

Danyushevsky L. V. The effect of small amounts of H<sub>2</sub>O on crystallization of mid-ocean ridge and backarc basin magmas. *J. Volcan. Geoth. Res.* 2001. Vol. 110, No 3–4. P. 265–280.

Danyushevsky L. V., Plechov P. Yu. Petrolog 3: Integrated software for modeling crystallization processes. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 29 July 2011. 2011. Vol. 12. No 7. Q07021, doi: 10.1029/2011GC003516.

Godel B. M., Barnes S. J., Barnes S. J. Deposition mechanisms of magmatic sulphide liquids: evidence from high-resolution x-ray computed tomography and trace element chemistry of komatiite-hosted disseminated sulphides. *Journal of Petrology*. 2013. Vol. 54, No 7. P. 1454–1481.

Herzberg C. Generation of plume magmas through time: an experimental perspective. *Chemical Geology*. 1995. 126. P. 1–16.

Herzberg C., O'Hara M. J. Phase equilibrium constraints on the origin of basalts, picrites and komatiites. *Earth-Science Reviews*. 1998. Vol. 44. P. 39–79.

Irvine T. N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. part I. theory. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 1965. Vol. 2. P. 648–672.

Kamenetsky V. S., Crawford A. J., Meffre S. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: An empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *J. Petrol.* 2001. Vol. 4. P. 655–671.

Le Bas M. J. IUGS Reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. *J. Petrol.* 2000. Vol. 41. P. 1467–1470.

Page P., Barnes S. J., Bedard J. H., Zientek M. L. In situ determination of Os, Ir, and Ru in chromites formed from komatiite, tholeiite and boninite magmas: implications for chromite control of Os, Ir and Ru during partial melting and crystal fractionation. *Chemical Geology*. 2012. Vol. 302–303. P. 3–15.

Pagé P., Barnes S. J. Using trace elements in chromites to constrain the origin of podiform chromitites in the Thetford Mines Ophiolite, Quebec, Canada. *Economic Geology*. 2009. Vol. 104 (7). P. 997–1018.

Papunen H., Halkoaho T., Luukkonen E. Archaeal evolution of the Tipasjärvi-Kuhmo-Suomussalmi Greenstone Complex, Finland. *Bulletin of the Geological Survey of Finland* 2009. Vol. 403. 68 p.

Puchtel L. S., Hofmann A. W., Mezger K. et al. Oceanic plateau model continental crustal growth in the Archean: A case study from Kostomuksha greenstone belt, NW Baltic Shield. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1998. Vol. 155. P. 57–74.

Spencer K. J., Lindsley D. H. A solution model for coexisting iron-titanium oxides. *American Mineralogist*. 1981. Vol. 66. P. 1190–1201.

Svetov S. A., Svetova A. I., Huhma H. Geochemistry of the komatiite-tholeiite rock association in the Vedlozero-Segozero archean greenstone belt, Central Karelia. *Geochemistry International*. 2001. Vol. 39. Suppl. 1. P. 24–38.

Zhang J., Herzberg C. Melting experiments on anhydrous peridotite KLB-1 from 5.0 to 22.5 Gpa. *J. Geophysical Res.* 1994. Vol. 99. P. 1729–1774.

Received February 11, 2015

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

### Рыбникова Зоя Павловна

аспирант

Институт геологии Карельского научного центра РАН,  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910

эл. почта: zoya\_rybnikova@mail.ru

тел.: +79637400336

## CONTRIBUTORS:

### Rybnikova, Zoya

Institute of Geology, Karelian Research Centre

Russian Academy of Sciences

11 Pushkinskaya St., 182910 Petrozavodsk, Karelia, Russia,

e-mail: zoya\_rybnikova@mail.ru

tel.: +79637400336

УДК 549.5+553.(470.22)

## **КВАРЦЕВОЕ СЫРЬЕ КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО РЕГИОНА: О ПРИРОДЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКОМ ЗНАЧЕНИИ СУБМИКРОСКОПИЧЕСКИХ СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В КВАРЦЕ**

**Л. Т. Раков<sup>1</sup>, В. В. Щипцов<sup>2</sup>, В. Т. Дубинчук<sup>3</sup>, Л. С. Скамницкая<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

<sup>2</sup> Институт геологии КарНЦ РАН

<sup>3</sup> Всероссийский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского (ВИМС)

На примере кварца из месторождений и проявлений Карело-Кольского региона: Кюрьяла, Фенькина-Лампи, Меломайс, Перчатка и Майское исследованы структурные неоднородности в кварце. Показано, что природа их образования связана с многостадийным процессом очищения кварца от избыточных примесей. Области с наиболее совершенной кристаллической структурой (кристаллиты) характеризуются минимальными содержаниями примесей, а дефектные области (демпферные зоны) – максимальными. Обработка в HF вызывает растворение демпферных зон и оставляет нетронутыми кристаллиты, формирующиеся на отдельных стадиях очистки природного кремнезема. По картине их распределения в образцах исследованного кварца проведена предварительная оценка условий минералообразования. Полученные выводы не противоречат известным представлениям о геологической истории указанных месторождений, что свидетельствует о генетической информативности распределения кристаллитов в кварце. Изучение особенностей перехода нераскристаллизованного кремнезема в кварц показывает, что перед появлением новых кристаллитов кремнезем проходит особую стадию, характеризующуюся низким пределом текучести.

**К л ю ч е в ы е с л о в а :** кварц Карело-Кольского региона, структурные неоднородности, электронная микроскопия, кристаллиты, генетическая информативность, минералого-технологические исследования.

### **L. T. Rakov, V. V. Schiptsov, V. T. Dubinchuk, L. S. Skamnitskaya QUARTZ OF THE KARELIA-KOLA REGION AS A RAW MATERIAL: ON THE ORIGINS AND GENETIC IMPLICATIONS OF SUBMICROSCOPIC STRUCTURAL HETEROGENEITIES IN QUARTZ**

Quartz from deposits and occurrences in the Karelia-Kola region, such as Kyrjala, Fenkina-Lampi, Melomais, Perchatka and Maiskoye, was taken as an example to study the structural heterogeneity of quartz. The study has shown that it is associated with a multi-stage removal of excessive impurities from quartz. Regions that display the most perfect crystalline structure (crystallites) contain the lowest concentrations of impurities, whereas defective regions (damper zones) feature the highest concentrations. HF-treatment dissolves damper zones, while crystallites, formed at specific stages of natural silica purification, remain intact. Their distribution in the quartz samples analyzed was studied to preliminarily assess the environment in which the minerals had formed. The conclusions

drawn are consistent with our knowledge of the geological evolution of the deposits, proving that crystallite distribution in quartz is genetically informative. The study of non-crystalline silica to quartz transition shows that before new crystallites are formed silica passes a special stage characterized by a low fluidity limit.

**Key words:** quartz of the Karelia-Kola region, structural heterogeneities, electron microscopy, crystallites, genetic informational value, mineralogical and technological studies.

## Введение

Кварц – широко распространенный сквозной минерал и часто используется для решения генетических задач, связанных с изучением месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых [Юргенсон, 1984; Горячев, 1992; Гетманская, Раков, 1998; Надежина и др., 2001; Лютоев, Силаев, 2008; Раков и др., 2013]. Роль носителя геологической информации играют неоднородности его кристаллической структуры, определяемые инструментальными методами. Структурные неоднородности кварца проявляются на различных уровнях и на каждом из них несут определенные сведения о геологической предыстории минерала. Хорошо изучена связь с условиями минералообразования протяженных дефектов – газовой-жидких и минеральных включений, регистрируемых методами оптической микроскопии. Микродефекты, как индикаторы условий образования, нашли широкое применение при изучении месторождений полезных ископаемых [Юргенсон, 1984; Горячев, 1992].

Большой интерес у исследователей вызывают структурные дефекты атомного уровня. Изучение их методом электронного парамагнитного резонанса позволило установить, что распределение многих точечных дефектов в кварце несет важную генетическую информацию [Гетманская, Раков, 1998; Лютоев, Силаев, 2008; Раков и др., 2013].

В настоящей статье рассматриваются дефекты кристаллической структуры кварца субмикроскопического уровня. По своим размерам они занимают промежуточное положение между структурными неоднородностями, отмеченными выше. Если неоднородности микроскопического уровня имеют размеры порядка нескольких десятков *нм*, а дефекты атомного уровня – первых *нм*, то неоднородности субмикроскопического уровня охватывают дефектные образования в диапазоне от сотен до нескольких тысяч *нм* и более. Неоднородности этого класса представляют собой зоны кристаллической структуры различной степени де-

фектности. Они могут иметь общую границу, но существенно различаются по степени совершенства кристаллической решетки.

Существование в кварце зон разной степени упорядоченности – это давно известный факт. Оно обуславливает разную степень кристалличности образцов кварца, выявляемую методами инфракрасной спектроскопии и электронного парамагнитного резонанса [Надежина и др., 2001; Лютоев и др., 2007; Коровкин и др., 2012]. Методом просвечивающей электронной микроскопии было установлено, что по уровню дефектности области кристаллической структуры кварца могут разительно отличаться друг от друга. Встречаются как практически бездефектные области, так и полностью аморфные. В работе [Раков, Дубинчук, 2009] предполагается, что их появление связано с перераспределением в кварце структурных примесей. Показано, что неоднородности субмикроскопического уровня в кварце имеют генетическое значение. В частности, их присутствие в минерале может служить индикатором золотого оруденения [Надежина и др., 2001; Портнов и др., 2010]. В то же время структурные неоднородности снижают качество кварцевого сырья. Дефектные зоны концентрируют в себе атомы примесей, от которых трудно освободиться при обогащении кварца [Раков и др., 1993].

В связи с вышеизложенным, изучение природы образования и генетического значения неоднородностей субмикроскопического уровня в кварце представляется актуальной задачей.

Карело-Кольский регион выбран неслучайно, так как анализ состояния изученности и результаты предшествующих исследований показали, что по многим геологическим факторам данная территория относится к новой кварценозной провинции России с высоким потенциалом [Данилевская и др., 2004; Кузнецов и др., 2012; Shchiptsov et al., 2014]. Исследовались месторождения и проявления различных генетических типов кварцевого сырья неорархейских и палеопротерозойских тектони-

ческих структур Карело-Кольской кварценозной провинции, детально описанные в работах [Данилевская, Гаранжа, 2003; Данилевская, Скамницкая, 2007; Данилевская, Щипцов, 2010 и др.]. Значительную роль в формировании месторождений сыграла коллизионная свекофеннская активизация, в результате которой сформированы различные промышленно-генетические типы разномасштабных кварцевых проявлений: месторождение жильного катаклазированного кварца «Фенькина-Лампи», рекристаллизованный кварц гигантской кварценозной зоны на участке Меломайс, месторождение гранулированного кварца «Перчатка», молочно-белый кварц золоторудного месторождения жильного типа «Майское», гранитных пегматитов месторождения «Кюрьяла». Именно из этих участков были отобраны пробы кварца для исследований.

### Материал для исследований

*Молочно-белый пегматитовый кварц месторождения Кюрьяла.* На обособленном тектоническими разломами Улялегском пегматитовом поле данное пегматитовое тело является наиболее крупным. К основным вмещающим породам относятся амфибол-биотитовые и амфиболовые сланцы, рассланцованные амфиболиты.

Все структурные разновидности пегматита подвергнуты катаклазированию. Отмечено развитие апографических и петельчатых структур, обусловленных влиянием интенсивного кварцевого и натрового метасоматоза.

*Жильный молочно-белый кварц месторождения Фенькина-Лампи* расположен на правом берегу р. Кумсы. Вмещающими породами служат полевошпат-кварцевые песчаники и карбонатизированные песчано-глинистые сланцы. Месторождение представлено двумя разобщенными кварцевыми телами, по своим структурно-морфологическим особенностям относятся к группе трубообразных залежей и карманов. Кварц в основной массе непрозрачный из-за большого количества газово-жидких включений. Наличие нескольких генераций этих включений и структурные особенности кварца свидетельствуют, что его формирование протекало в условиях изменяющихся термодинамических обстановок [Данилевская, Гаранжа, 2003].

*Гранулированный кварц месторождения Перчатка.* Месторождение приурочено к тектонической зоне. Формирование кварцевожильной зоны обусловлено региональным метаморфизмом в условиях амфиболитовой и

эпидот-амфиболитовой фаций при высоком давлении и температуре. Вмещающими породами служат биотитовые, двуслюдяные, амфиболсодержащие, гранат-биотитовые и дистен-гранатовые гнейсы. Кристаллизация жильного кварца происходила медленно в спокойной обстановке, в гидродинамически относительно замкнутой системе, а его грануляция протекала при активизации тектонической деятельности [Данилевская, Скамницкая, 2010]. Данные условия способствовали образованию высокотемпературного прозрачного гигантозернистого кварца, часто встречающегося на месторождении.

*Жильный кварц проявления Меломайс.* Проявление представлено крупной кварцевой жиллой, локализованной в тектонически активной зоне сочленения гнейсо-гранитов основания Вокнаволоцкого блока и вулканогенно-осадочного комплекса пород Костомукшской структуры на территории Карельского кратона. Жила подвергнута интенсивному позднему рассланцеванию, приводящему к чередованию прослоев мелкозернистого кварца и эпидот-слюдисто-полевошпатового материала [Данилевская, Щипцов, 2007].

*Жильный кварц золоторудного месторождения Майское.* Месторождение располагается недалеко от восточного обрамления Куолаярвинской активизированной впадины. Золотое оруденение приурочено к кварцевым жилам, сложенным кварцем двух генераций. Первая – ранняя, безрудная, средне-крупнозернистая. Вторая (поздняя) – обогащена сульфидами и золотом, мелкозернистая. Поздний кварц локально развит, затронут процессами грануляции. Золото отлагалось в две стадии [Порицкий и др., 1993; Сафонов и др., 2003] с одновременным сульфидообразованием (пирит, халькопирит и др.).

Приведенный обзор показывает, что условия образования кварца на этих объектах существенно различались.

### Методы исследований

Для распознавания зон с упорядоченной кристаллической структурой использовалось травление кварца в плавиковой кислоте. Оно позволяло растворять наиболее дефектные области кварца и практически не затрагивает зоны с совершенной структурой.

Предшествующими исследователями отмечалось, что скорость травления кристаллов кварца вдоль оси  $L_3$  на несколько порядков выше, чем в перпендикулярных к ней направлениях. Согласно предложенной в работе

[Ernsberger, 1960] модели, процесс образования зародышей травления на поверхности  $L_3$ -среза кварца состоит из нескольких стадий. Первой из них является разрыв связи атома Si с двумя атомами кислорода, находящимися на поверхности травления. Вместо них атом кремния захватывает два иона фтора. В дальнейшем подобный атом кремния из кристаллической структуры кварца переходит в раствор с образованием молекулы  $\text{SiF}_4$ .

В рамках указанной модели в работе [Сорока и др., 1977] было получено выражение для относительной скорости травления  $V$  кварца, содержащего дефекты типа разорванных Si-O-связей, вдоль оси  $L_3$ :

$$V=(n/c)^{m/2}P, \quad (1)$$

где  $n$  – концентрация дефектов типа разорванных Si-O-связей в кварце;  $c$  – концентрация ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{F}^+$  в растворе;  $P$  – вероятность образования Si-F-связи вместо разорванной Si-O-связи;  $m=1,33$  для кристаллического кварца и  $m=1,76$  для аморфизованного кварца.

Из рассмотрения уравнения (1) ясно, что дефектные зоны в кварце под воздействием HF будут растворяться в первую очередь, что создает условия для обнаружения зон с наиболее совершенной кристаллической структурой.

Эффективность данного подхода к выявлению зон с разной степенью дефектности обусловлена характером их расположения в объеме кварца. Ранее было показано, что зоны с упорядоченной кристаллической структурой (кристаллиты) и дефектные (демпферные) зоны чередуются между собой, создавая слоистую конструкцию [Раков, Дубинчук, 2009]. Содержание рассеянных примесей Al, Ti, Ga, Fe, Ge и других элементов в них, по данным ПЭМ, различно. Наиболее загрязнены ими демпферные зоны, куда примеси сбрасываются кремнеземом в процессе формирования кристаллитов. Обнаружено, что поверхности указанных зон образуют малые углы с кристаллографической осью третьего порядка  $L_3$ . Можно предположить, что воздействие HF приведет к прецизионному удалению демпферных зон из послойного минерального образования, которым является реальная кристаллическая структура кварца. В результате, кварц после обработки в HF должен представлять собой остов исходной кристаллической структуры, состоящий исключительно из кристаллитов. По расположению пустот в этом остове можно будет судить о картине распределения демпферных зон исследуемом образце кварца.

Перспективность данного подхода к изучению субмикроскопических структурных неод-

нородностей в кварце подтверждается результатами работы [Светова и др., 2011]. В ней были получены достаточно информативные картины поверхностей кварца, обработанных в HF. В настоящей работе эксперименты по травлению кварца проводились с использованием 30-процентной плавиковой кислоты. Обработка выполнялась при комнатной температуре в течение 1 часа. Для удобства наблюдения кристаллитов, сохранившихся после травления, использовались кварцевые пластины площадью 3–5 см<sup>2</sup> и толщиной около 4 мм.

Существенное место в исследованиях занимало изучение термического воздействия на процессы раскристаллизации природного кремнезема. Для этого часть образцов перед обработкой в HF прогревалась при температуре  $T=600$  °C в течение 1 часа. Термообработка осуществлялась в муфельной печи в естественной атмосфере. После травления в HF образцы исследовались методом растровой электронной микроскопии (РЭМ), обеспечивающим получение контрастной картины распределения сохранившихся кристаллитов. С этой целью использовался микроскоп “Tesla” BS-301, укомплектованный энергодисперсионным спектрометром “Inka 2”.

## Результаты исследований

Результаты проведенных исследований подтвердили правильность предположений о характере взаимодействия плавиковой кислоты с природным кварцем. Как и ожидалось, травление минерала протекает с неодинаковой скоростью в областях с различной дефектностью. Обработка в HF приводит к растворению в кварце дефектных зон и фактически не затрагивает области совершенного кварца. На рис. 1 и 2 приведены микроснимки изображений участков кварца после воздействия HF при разных увеличениях. Они свидетельствуют о высокой избирательности процессов травления и дают представление о форме кристаллитов в кварце. Для иллюстрации выбраны наиболее типичные микроснимки, иллюстрирующие распределение неоднородностей кристаллической структуры в исследуемых образцах кварца.

### Виды кристаллитов в природном кварце.

Рассмотрение микроснимков на рис. 1 и 2 показывает, что в кварце могут существовать кристаллиты различных порядков.

*Кристаллиты 1-го порядка.* Наиболее крупные из них, которые можно отнести к 1-му порядку, присутствуют в образцах кварца нескольких месторождений.

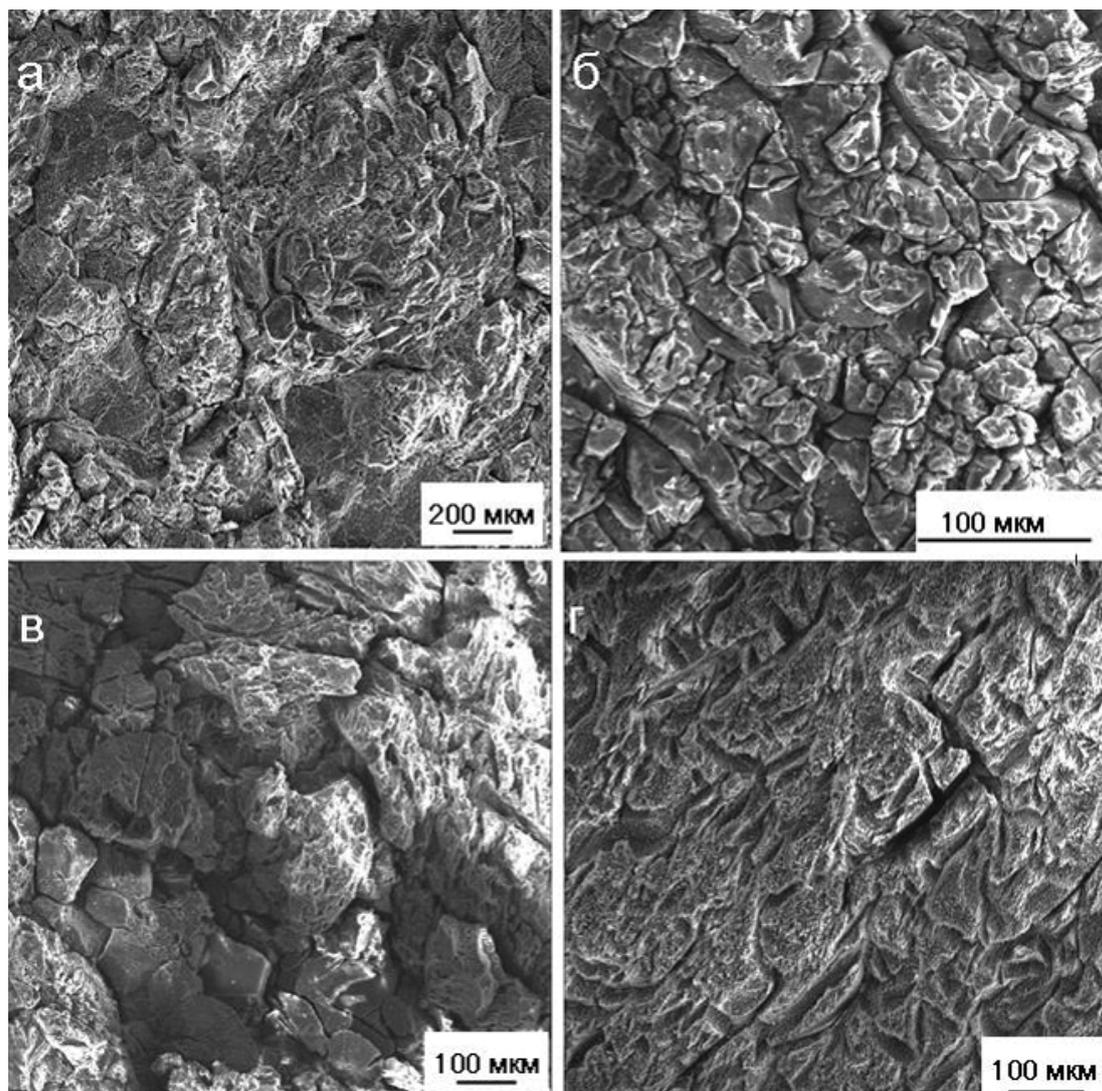


Рис. 1. Электронно-микроскопические (СЭМ) изображения кристаллитов кварца месторождений Кюрьяла (а), Фенькина-Лампи (б), Меломайс (в) и Перчатка (г)

Для месторождения Кюрьяла эти кристаллиты имеют вид первичных зерен, контуры которых с трудом прослеживаются при малых увеличениях. На рис. 1, а представлены два таких зерна, занимающих центральную часть микроснимка и имеющих размеры порядка 800 мкм. Обращает на себя внимание округлость их форм. Внутри первичных зерен видны очертания более мелких зерен. Все зерна кварца подвергнуты интенсивному травлению. В кварце из месторождения Фенькина-Лампи кристаллиты 1-го порядка характеризуются меньшими размерами (рис. 1, б). Многие из них имеют угловатые формы и вообще не содержат каких-либо следов воздействия плавиковой кислоты. Для большого числа кристаллитов характерно наличие граней, преимущественно ориентированных в одном направлении. Кварц из проявления Меломайс содержит

крупные кристаллиты округлой формы, степень травления которых весьма высока, и мелкие угловатые кристаллиты, почти не затронутые травлением (рис. 1, в). По характеру распределения кристаллитов в кварце месторождение имеет сходные черты с месторождениями Кюрьяла и Фенькина-Лампи.

Совершенно иначе после обработки в HF выглядит кварц из месторождения Перчатка. В нем, при выбранном увеличении, отсутствуют крупные или мелкие кристаллиты и не прослеживаются очертания кварцевых зерен, как для месторождения Кюрьяла. Следы травления имеют вид борозд на поверхности кварца (рис. 1, г). Границы отдельных зерен видны лишь при меньшем увеличении.

Не оказалось четко выраженных кристаллитов 1-го порядка и в кварце из месторождения Майское. Из кварцевых образований рассмат-

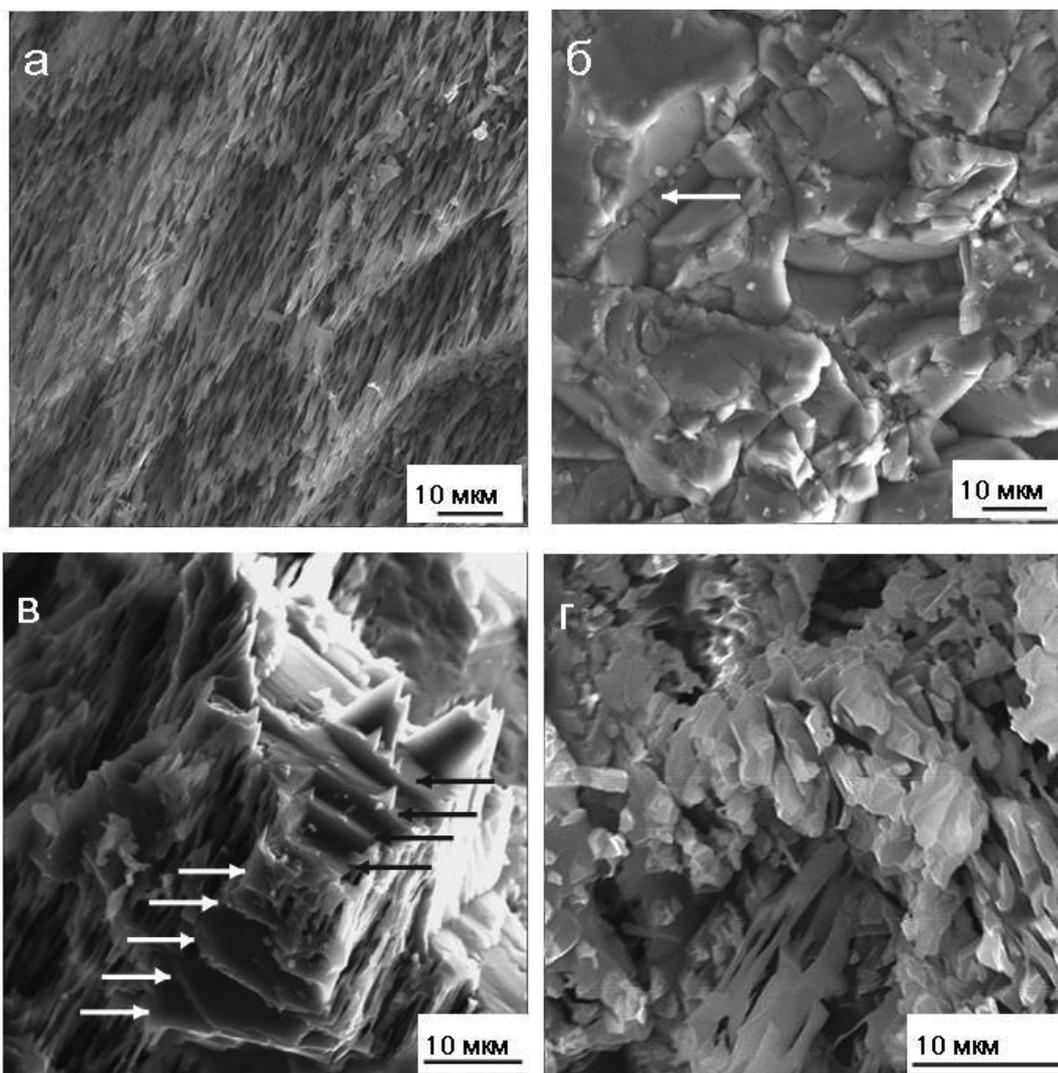


Рис. 2. Электронно-микроскопические (СЭМ) изображения кристаллитов в образцах кварца из месторождений Перчатка (а), Фенькина-Лампи (б), Меломайс (в) и Майское (г)

риваемого размера в нем были обнаружены только тонкие пластины, не похожие на обычные кристаллиты. По-видимому, их возникновение имеет другую природу и должно рассматриваться отдельно.

*Кристаллиты 2-го порядка.* При десятикратном увеличении в кварце начинают различаться более мелкие кристаллиты – кристаллиты 2-го порядка. В кварцах разных месторождений они могут принимать различную конфигурацию.

Кристаллиты в образцах кварца из месторождения Перчатка имеют вид пластин, связанных между собой и образующих подобие сетки (рис. 2, а). Судя по пустотам между ними, можно сказать, что демпферные зоны в этом кварце также имеют сотовое строение. Их размеры сравнимы с размерами кристаллитов.

Диаметрально противоположная картина распределения кристаллитов и демпферных

зон наблюдается в образцах кварца из месторождения Фенькина-Лампи (рис. 2, б). Здесь практически нет сотовых кристаллитов, но присутствуют массивные микроблоки кварца, размеры которых во много раз больше. Велики и размеры демпферных зон. Следует заметить, что наиболее мелкие кристаллиты часто заполняют трещины между крупными микроблоками кварца (указаны стрелкой). По внешнему облику кристаллиты, регистрируемые в кварце Фенькина-Лампи при десятикратном увеличении, не отличаются от обычных кристаллитов 1-го порядка.

Для месторождений Меломайс и Кюрьяла взаимоотношение кристаллитов и демпферных зон более сложное. Картины их распределения занимают промежуточное положение между рассмотренными выше случаями. В кварцах этих месторождений можно

встретить как сотовые кристаллиты, так и кристаллиты в виде массивных микроблоков кварца. Конфигурация сотовых кристаллитов в них разнообразна. Они могут принимать форму изолированных стержней, плоских или волнистых пластин и т. д. Иногда сотовые и массивные кристаллиты образуют сросшиеся зерна кварца. Микроснимок (рис. 2, в) кварца из месторождения Меломайс иллюстрирует такой случай. Видно, что представленное на снимке зерно состоит из сотового кристаллита (слева) и выросшего на него массивного кристаллита (в центре). Нижняя часть массивного кристаллита представляет собой параллельные пластины (белые стрелки), а верхняя часть имеет вид ступеней (черные стрелки).

Большое количество кристаллитов 2-го порядка установлено в кварце из месторождения Майское. Но, в отличие от кристаллитов в других образцах, они разобщены и редко образуют соты (рис. 2, г).

*Кристаллиты более высоких порядков.* При детальном рассмотрении структуры кристаллитов 2-го порядка обнаруживаются более мелкие кристаллиты. На их существование указывает ступенчатый характер краев сотовых структур (рис. 3). Видно, что эти края обламываются или растворяются в HF не произвольным образом, а вдоль определенных направлений. Подобная анизотропия свойств кристаллитов 2-го порядка может быть обусловлена мельчайшей сеткой демпферных зон, образованной в результате их дополнительной очистки.

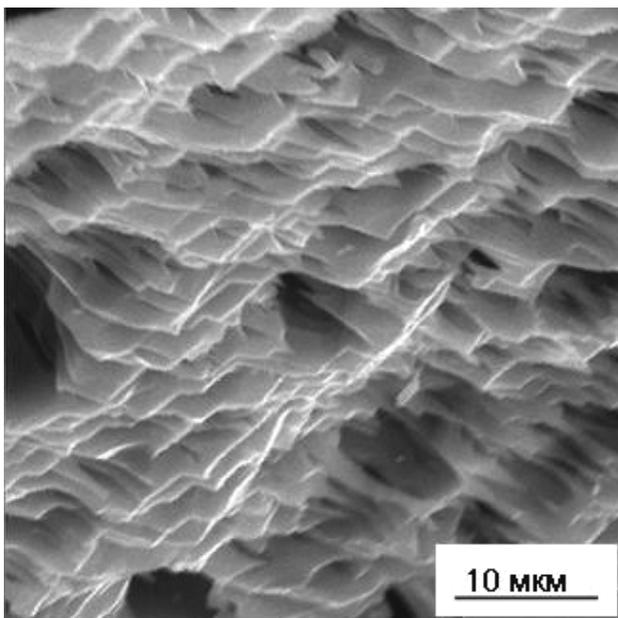


Рис. 3. Кристаллиты 2-го порядка в кварце из месторождения Кюрьяла

**Поверхности роста кварца.** Наряду с описанными выше встречаются крупные кристаллиты, имеющие протяженные и относительно однородные поверхности, которые связаны, по всей видимости, с фронтом кристаллизации кварца.

На микроснимке рис. 4 представлена одна из таких поверхностей, наиболее характерная для минерала. Обращает на себя внимание ее сложный вид, обусловленный множеством изломов и большим количеством ступенек.

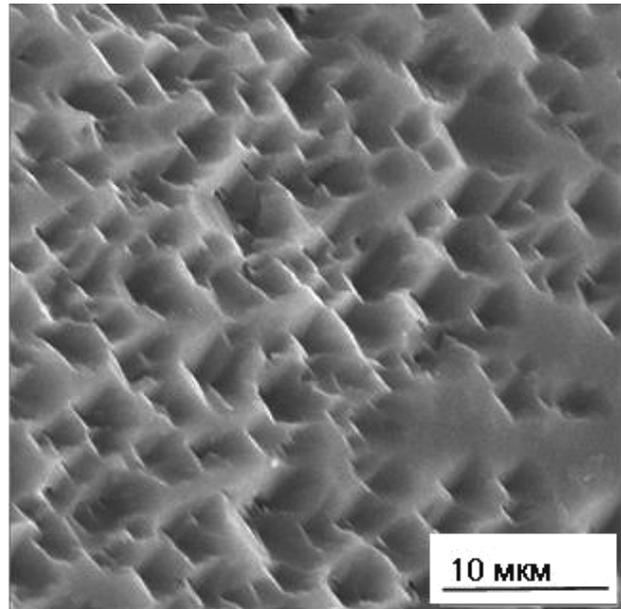


Рис. 4. Структура поверхности роста кварца из месторождения Кюрьяла

**Виды демпферных зон.** Демпферные зоны, как правило, не содержат кристаллитов и полностью растворяются в плавиковой кислоте. Поэтому по тем пустотам, которые образуются в кварце после обработки в HF, можно судить об их форме и размерах.

Среди демпферных зон, как и среди кристаллитов, можно выделить зоны 1-го, 2-го и более высоких порядков. Порядок демпферной зоны определяется порядком кристаллитов, совместно с которыми они образуются.

**Зарождение кристаллитов в демпферных зонах.** Но иногда в демпферных зонах встречаются кристаллиты, сохраняющиеся при растворении. Изучение таких кристаллитов представляет особый интерес, поскольку позволяет выяснить динамику перехода нераскристаллизованного кремнезема в кварц.

На рис. 5 представлены микроснимки кристаллитов, расположенных в демпферных зонах и сохранившихся после обработки кварца в HF. Масштаб и формы растворенных демпферных зон различны. В одном случае они

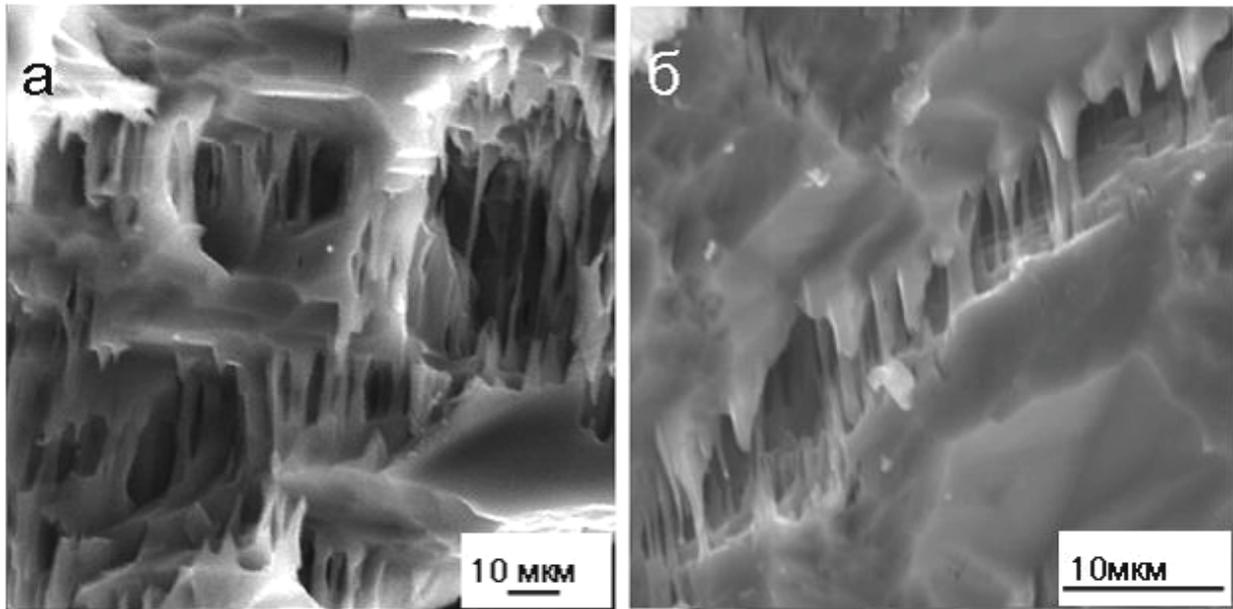


Рис. 5. Одиночные кристаллиты, образованные в крупной демпферной зоне (а) и мелкой трещине (б) кварца из месторождения Майское

занимают значительную часть объема кварца и представляют собой сложную разветвленную структуру (рис. 5, а). В другом случае одиночная демпферная зона локализована в небольшой трещине залечивания между двумя микроблоками кварца (рис. 5, б). Из них нижний, как можно заметить, является сотовым микроблоком. Несмотря на различия между демпферными зонами, форма и общий характер расположения в них кристаллитов одинаковы. Везде кристаллиты имеют вид вытянутых нитей, расположенных параллельно друг другу.

**Термостимулированные процессы раскристаллизации кремнезема в кварце.** При прогреве кварца при  $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит возникновение в нем новых кристаллитов, по своему виду отличающихся от первоначальных.

Как правило, они имеют вид кварцевой корки на поверхности исследуемых пластин. Для кварца из месторождения Кюрьяла эта корка полностью укрывает кристаллиты 1-го порядка (рис. 6, а). Ее кристаллическая структура достаточно совершенна и не подвергается воздействию плавиковой кислоты. Следы растворения в HF наблюдаются только на границах крупных и мелких кристаллитов 1-го порядка.

Характер взаимоотношения первичных и новообразованных кристаллитов в кварце месторождения Кюрьяла иллюстрирует микроснимок (рис. 6, б). Новообразованный кварц располагается на поверхности сотовых кристаллитов 2-го порядка в виде специфических “шапок”. В некоторых местах он принимает форму ступенек или параллельных пластин (пунктирная стрелка),

ранее замеченных в образцах кварцевого проявления Меломайс (см. рис. 2, в). Иногда в его очертаниях угадываются зарождающиеся монокристаллы кварца (сплошная стрелка).

Если поверхность первичного кварца ровная, то новообразованный кварц может иметь вид льдистого покрытия. Такой случай, на примере образца из месторождения Майское, иллюстрируется микроснимком (рис. 6, в). Через брешь в этом покрытии просматриваются первичные кристаллиты 2-го порядка.

В отдельных местах кварцевая корка может не образовывать сплошного покрытия. Тогда кристаллиты 2-го порядка легко различить через незакрытые плешины. Микроснимок (рис. 6, г), выполненный при большом увеличении, демонстрирует подобную картину для кварца месторождения Перчатка. Он дает представление о том, как начинает формироваться кварцевое покрытие. Его начальной стадией является обволакивание кремнеземом внешней части каркаса сотовых кристаллитов.

В образцах кварца месторождения Фенькина-Лампи, где содержание сотовых кристаллитов мало, образование кварцевой корки протекает не столь интенсивно. Она возникает не повсеместно, а ее толщина незначительна. Картины распределения кристаллитов в этих кварцах до и после прогрева приблизительно одинаковы.

**Сброс примесей при термостимулированной раскристаллизации.** Образование новых кристаллитов при термической обработке кварца сопровождается очисткой рас-

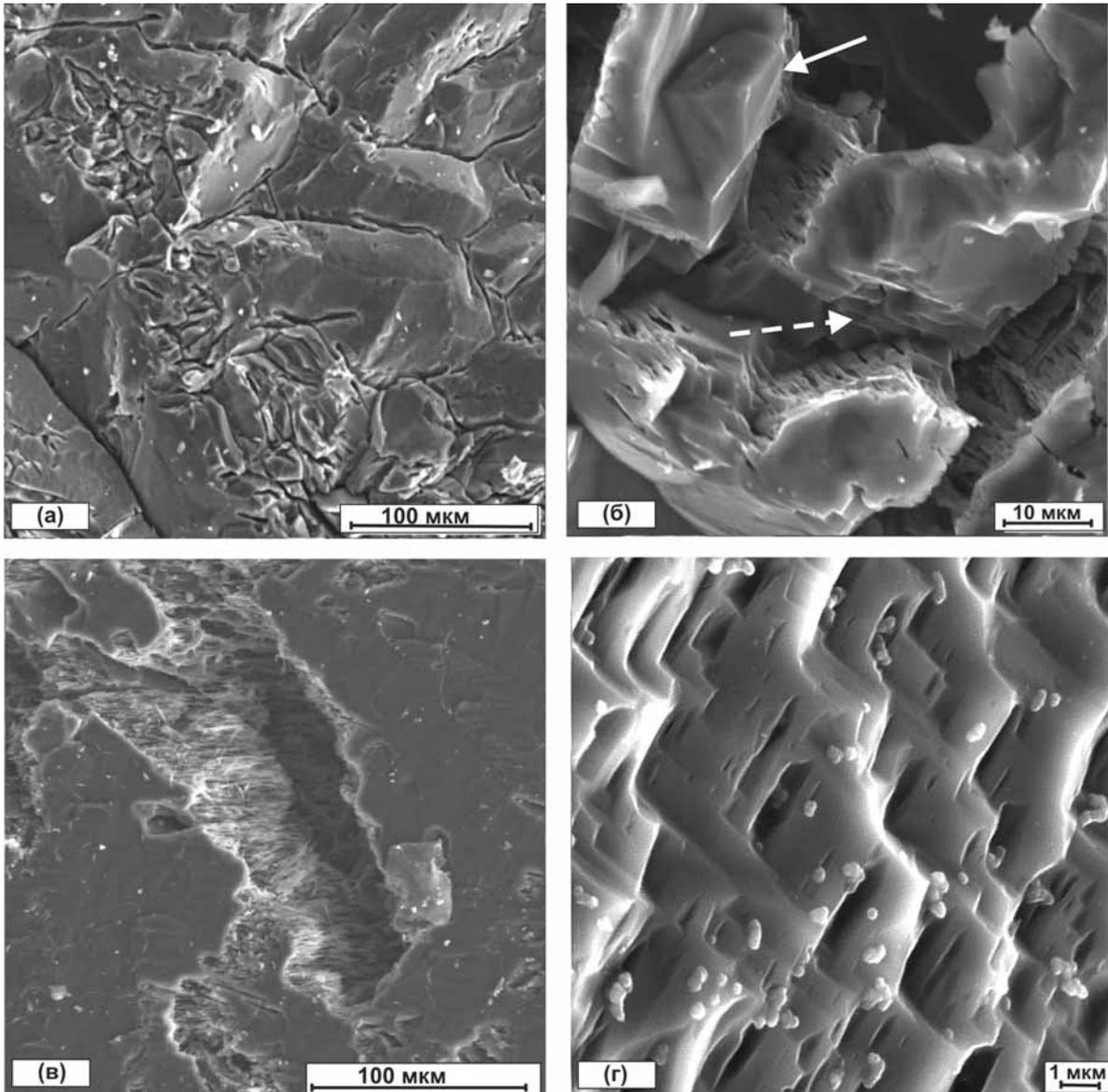


Рис. 6. Кристаллиты, образованные при термической обработке кварца из месторождений Кюрьяла (а и б), Майское (в) и Перчатка (г)

кристаллизованного кремнезема от избыточных примесей. Наблюдение этих примесей в виде самостоятельных фаз не всегда возможно, поскольку последующая обработка в HF приводит к их растворению. Тем не менее, в некоторых случаях эти примеси удается фиксировать.

Один из таких случаев для кварца из месторождения Перчатка иллюстрируется микроснимком на рис. 6, г. На нем отчетливо видны частицы, разбросанные на поверхности новообразованной кварцевой корки. Результаты изучения их состава, полученные с помощью энергодисперсионного спектрометра "Inka 2", следующие, %:  $\text{SiO}_2$  – 86,05;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 11,75; CaO – 1,55;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,65.

Измеренное содержание  $\text{SiO}_2$  в частицах несколько завышено, поскольку в состав анализируемого вещества неизбежно входит близлежащий кварц. Можно полагать, что данные частицы образованы рассеянными примесями, сброшенными кремнеземом в процессе раскристаллизации и претерпевшими коагуляцию.

**О многообразии форм кристаллитов 2-го порядка.** Представленные выше данные отражают основные тенденции в поведении кристаллитов 2-го порядка. Их выявление оказалось возможным благодаря изучению большого объема экспериментального материала, полученного методом РЭМ.

В действительности же поведение кристаллитов настолько сложное, что по отдельным

микроснимкам бывает трудно вынести какое-либо суждение. Общие закономерности часто тонут в деталях, обусловленных локальными причинами. Форма кристаллитов 2-го порядка чрезвычайно многообразна. Поэтому из всех полученных снимков были выбраны те, которые встречаются наиболее часто и являются типичными. По всей видимости, многообразие форм кристаллитов 2-го порядка обусловлено процессами их пластической деформации.

### **Обсуждение полученных результатов**

Анализ полученных данных позволяет сделать ряд выводов о поведении кремнезема в природных условиях.

**Очищение от примесей – главная тенденция в эволюции природного кремнезема.** Изучение взаимоотношения кристаллитов и демпферных зон показывает, что их распределение в кварце подчиняется определенному закону. Появление кристаллитов всегда сопровождается образованием демпферных зон, которые располагаются в непосредственной близости от них. Причем, чем мельче кристаллиты, тем меньшие размеры имеют демпферные зоны.

Подобная корреляция свидетельствует, что очистка кремнезема в природных условиях, по всей видимости, протекает в несколько стадий. При этом, по мере очищения кремнезема образуются все более мелкие кристаллиты и демпферные зоны. Поэтому можно считать, что кристаллиты 1-го порядка образованы на первой стадии очистки кремнезема, кристаллиты 2-го порядка – на второй, а более мелкие кристаллиты – на более поздних стадиях. В целом же, стремление кварца освободиться от излишних примесей, во многих случаях является движущей силой его перекристаллизации.

Поэтому формулировку “нераскристаллизованный кремнезем” следует считать условной. Природный кремнезем в любом состоянии достаточно нестабилен и может претерпевать перекристаллизацию, способствующую освобождению его от избыточных примесей.

Тенденция к самоочищению проявляется в раскристаллизации аморфного кремнезема и последующей многостадийной динамической рекристаллизации кристаллитов кварца. Наложение этих процессов друг на друга обуславливает необыкновенно сложную картину формирования и преобразования кристаллитов кварца в природных условиях.

Для реализации цепочки процессов очищения необходимы соответствующие физико-химические условия. В полной мере эти условия выполнялись на месторождении Перчатка,

в образцах кварца которого содержится наибольшее количество сотовых кристаллитов (см. рис. 1, г). Вероятно, высокие давление и температура амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций, при которых формировалась кварцево-жильная зона, являются благоприятными факторами для развития процесса очистки природного кремнезема.

В недостаточной мере указанные условия реализовывались на месторождении Фенькина-Лампи. Здесь кремнезем, по существу, прошел лишь одну стадию природной очистки. Образованные в результате ее кварцевые зерна сохранили свой первоначальный вид, а кристаллиты 2-го порядка практически отсутствуют (см. рис. 2, б).

Следовательно, облик кристаллитов в кварце отражает обстановку, в которой проходило формирование минерала.

**Генетическое значение кристаллитов в кварце.** В этой связи есть основание полагать, что размеры и форма кристаллитов способны служить индикаторами условий минералообразования. Анализ картины распределения кристаллитов создает принципиальную возможность оценки особенностей кристаллизации кварца и изучения влияния вторичных процессов.

Условия кристаллизации. Начальную информацию об условиях кристаллизации кварца несут кристаллиты 1-го порядка. Их конфигурация и даже отсутствие таких кристаллитов позволяют судить об обстановке, в которой формировались первые микроблоки кварца.

Рассмотрение микроснимка (см. рис. 1, а) показывает, что кварц из месторождения Кюрьяла, скорее всего, сформировался из жидкообразного кремнезема. Известно, что кристаллы округлой формы могут образоваться из расплавов в процессе нормального роста их поверхностей. Такой процесс имеет место при атомно-шероховатости этих поверхностей, обеспечивающей одинаковую скорость роста во всех направлениях [Физическая энциклопедия, 1988]. О том, что данный механизм может реализовываться в кварце, свидетельствует сложный ступенчатый вид поверхности его роста (см. рис. 4).

Приблизительно таким же образом проходила кристаллизация кварца на месторождениях Фенькина-Лампи и Меломайс. Отобранные из них образцы содержат кристаллиты 1-го порядка без огранки, но меньших размеров и более угловатые (см. рис. 1, б, в). Возможно, их формирование протекало при больших отклонениях от термодинамического равновесия, при высокой плотности зародышей кристаллизации.

Термодинамическая обстановка. Наличие кристаллитов 2-го порядка – признак высокотемпературных и стабильных условий рекристаллизации кварца, обеспечивающих интенсивную дифференциацию примесей и возникновение новых демпферных зон и кристаллитов.

Если такие условия созданы, то эволюционный процесс очистки кварца приводит к постепенному сглаживанию контуров кристаллитов 1-го порядка и накоплению кристаллитов 2-го порядка. Начальный этап таких событий мы наблюдаем в кварце Кюрьяла, приуроченном к крупному пегматовому телу (см. рис. 1, а), а конечный – в кварце месторождения Перчатка, связанного с региональным метаморфизмом (см. рис. 2, а).

Внешнее воздействие на кварц. Признаками, указывающими на термическое или механическое воздействие на кварц, являются присутствие кристаллитов с характерными для этих процессов свойствами.

Необычные кристаллиты обнаружены в кварце Меломайса. Один из них, выросший на сотовой кристаллит, и, по всей видимости, вторичный по своей природе, представлен на рис. 2, в. Анализ формы новообразованного кварца позволяет предположить причину его возникновения. Очевидно, его появление обусловлено термическим воздействием, которое испытала кварцевая жила в относительно открытых условиях. Именно такие же формы – параллельные пластины и ступени наблюдаются в кварце после термической обработки в муфельной печи (см. рис. 6, б).

Следы природного теплового воздействия обнаружены и в кварце из месторождения Майское. В нем, хотя и в малых количествах, но присутствуют кристаллиты в виде тонких плоских пластин. Аналогичные кварцевые образования возникают при искусственном прогреве кварца (см. рис. 6).

Вызывает интерес образование линейных ориентированных границ между кристаллитами в кварце Фенькина-Лампи, например, вверх и налево (см. рис. 1, б). Особенности конфигурации и расположения таких границ свидетельствуют об их связи с процессами трещинообразования. Появление трещин может быть вызвано механическими напряжениями, возникающими в кварце вследствие термического воздействия или резких изменений *PT*-условий. Присутствие мелких кристаллитов между микроблоками кварца (стрелка на рис. 2, б) указывает на динамическую рекристаллизацию минерала, протекавшую при  $T < 400$  °С [Passchier, Trouw, 1996]. Многообразие изменений, наблюдаемое в распределении кри-

сталлитов, согласуется с геологическими выводами об изменчивости термодинамической обстановки при формировании кварца Фенькина-Лампи [Данилевская, Гаранжа, 2003].

Наименьшее влияние внешней среды испытывал кварц из месторождения Перчатка. В нем отсутствуют кристаллиты, обусловленные вторичными процессами, что свидетельствует о закрытости минералообразующей системы. Микроблоки кварца этого месторождения состоят из строго ориентированных кристаллитов 2-го порядка и достигают размеров в несколько мм. Однородность и значительные размеры зерен кварца являются признаком динамической рекристаллизации минерала в стабильной обстановке при температурах выше 500 °С [Passchier, Trouw, 1996]. Ее реализация могла быть возможной вследствие длительного остывания кварца после кристаллизации в условиях закрытой системы.

Появление кристаллитов необычной формы может быть вызвано рядом причин, в том числе пластической деформацией микроблоков кварца под воздействием локальных температур и механических напряжений. Поэтому использовать такие кристаллиты в качестве генетических признаков надо с особой осторожностью.

В целом же, выводы, вытекающие из анализа распределения кристаллитов, не противоречат известным представлениям о геологической истории рассмотренных месторождений. Возникшие неясности связаны с недостаточной изученностью процесса образования кристаллитов в кварце. Дальнейшие исследования позволят познать его закономерности и давать более обоснованные оценки условий минералообразования.

**Высокая чувствительность демпферных зон к воздействию HF.** Вызывает удивление способность демпферных зон так хорошо растворяться в плавиковой кислоте. Ни на одном микроснимке кварца, обработанного в HF, мы не увидели даже их следов. Между тем, во многих случаях демпферные зоны составляют основную часть объема кварца, и, по результатам микродифракционных исследований, имеют кристаллическое строение.

Высокая скорость травления этих зон в HF может быть объяснена наличием в них “дефектных каналов”, ориентированных, как и структурные каналы, вдоль оси  $L_3$ . Они были обнаружены в кварце сравнительно недавно, и даже разработаны технологии их искусственного получения [Брызгалов, 1991; Мусатов, 2007]. Образование “дефектных каналов” связывают с захватом кристаллической структурой активных примесей при кристаллизации

кварца. Поэтому в демпферных зонах плотность указанных дефектов должна быть особенно высокой.

Установлено, что “дефектные каналы” хорошо растравливаются в плавиковой кислоте, что, вероятно, и является причиной высокой чувствительности демпферных зон к ее воздействию. Эксперимент показывает, что реальная скорость растворения кварца в большей степени зависит от его дефектности, чем предсказывает выражение (1).

**Влияние демпферных зон на механическую прочность кварца.** Интересно заметить, что в кварце только одного из пяти рассмотренных месторождений было обнаружено большое количество трещин. Этим месторождением является Фенькина-Лампи. В кварце этого же месторождения практически отсутствуют кристаллиты и демпферные зоны 2-го порядка.

Данный факт подтверждает справедливость высказанного ранее предположения, что разветвленная сеть демпферных зон способствует гашению механических напряжений в кварце и повышает его прочность [Раков, Дубинчук, 2009]. Собственно, благодаря этому предположению демпферные зоны и получили свое название.

**Необычное поведение природного кремнезема при нагревании.** Появление кварцевой корки на поверхности кварцевых пластин при термической обработке требует специального рассмотрения. Ее вид порой напоминает жидкообразную массу, растекающуюся на поверхности, а затем застывшую (см. рис. 5, в). Откуда мог взяться новообразованный кварц столь необычного вида?

Действительно, прогрев при  $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$  не способен перевести кристаллический кварц в состояние высокой текучести, т.к. температура его плавления близка к  $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Единственной причиной образования кварцевой корки может быть раскристаллизация природного кремнезема, появившегося на поверхности кварцевых пластин.

Рассматривая микроснимки на рис. 5, можно предположить, что источником этого кремнезема являются демпферные зоны сотовых кристаллитов. По всей видимости, вещество, которое в них находится, при нагреве расширяется и частично выходит на поверхность. Попадая в свободное пространство, кремнезем получает возможность сбросить избыточные примеси и превратиться в кварц. Доказательством тому служит появление частиц примеси на поверхности сотового кристаллита после образования кварцевой корки (см. рис. 5, г).

Однако реализация этого механизма должна приводить к возникновению микроскопических кварцевых сгустков на поверхности сотового кристаллита. Мы же видим сплошное кварцевое покрытие, обволакивающее его внешний каркас. Данный факт позволяет предполагать, что появившийся на поверхности кристаллита кремнезем обладал вязкотекучим свойством. Только тогда вместо сгустков, выделявшихся из отдельных сот, может образоваться единое гладкое покрытие, а элементы каркаса сотового кристаллита покрыться равномерным слоем кварца (см. рис. 5, в, г).

Вязкотекучее состояние кремнезема невозможно объяснить процессами химического превращения его в жидкие кремнийсодержащие соединения. Анализ элементного состава кремнезема, проведенный с помощью просвечивающего электронного микроскопа “Technai-12 TWIN” в отделе минералогии ВИМСа, показал, что концентрации примесей в демпферных зонах недостаточны для образования таких соединений. Например, содержание Na или K в них составляет доли процента и не способно обеспечить формирование заметного количества силикатов натрия  $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$  или калия  $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$  (растворимого стекла). Концентрация C в кремнеземе также не превышает 1–2 % и не может привести к активному образованию жидких кремнийорганических соединений.

По всей видимости, появление вязкотекучего состояния кремнезема связано с другими причинами. Тем не менее, роль примесей в этом процессе исключать нельзя. Вполне возможно, что особые свойства кремнезем приобретает при их определенном содержании и составе. На поверхности сотовых кристаллитов кремнезем освобождается от этих примесей, теряет высокую текучесть и кристаллизуется в обычный кварц.

**Раскристаллизация кремнезема в демпферных зонах.** Некоторые предположения о природе возникновения вязкотекучего состояния кремнезема появляются при рассмотрении особенностей его раскристаллизации в демпферных зонах.

В них кремнезем находится в замкнутом пространстве и не может сбрасывать избыточные примеси в окружающую среду. Поэтому его раскристаллизация возможна только за счет перераспределения примесей внутри самих зон. Области, освободившиеся от них, раскристаллизовываются, а области, захватившие примеси, остаются нераскристаллизованными.

Нам не известны закономерности перераспределения примесей между этими областями. Но мы располагаем экспериментальными

фактами, позволяющими судить о форме и взаимном расположении указанных областей. Микроснимки на рис. 4 показывают, что области, претерпевающие раскristаллизацию, вытянуты в одном направлении и параллельны друг другу. По всей видимости, в момент кристаллизации кварца молекулы кремнезема образовывали ассоциации, ориентированные в том же направлении.

Подобные ассоциации могут быть образованы цепочками кремнекислородных тетраэдров, обладающими высокой прочностью. Если цепочки окружены атомами примесей, то они не соединяются друг с другом и не формируют пространственную кристаллическую решетку. Существование таких полимерных цепочек в кремнеземе доказано экспериментально [Айлер, 1982]. Каждая из них ведет себя независимо от других цепей и, в принципе, может принять любую пространственную ориентацию. Но, если все цепочки выстраиваются в одном направлении, то такое состояние кремнезема адекватно жидкокристаллическому [П. де Жен, 1977; Чандрасекар, 1980].

Весьма показательно, что направление кристаллитов на рис. 4, б совпадает с осью сотовой структуры нижнего кристаллита. Это направление наиболее предпочтительно для ориентации кремнекислородных цепочек кремнезема в сотовых демпферных зонах.

Замечено, что если демпферная зона располагается между параллельными стенками массивных кристаллитов, то новообразованные кристаллиты всегда перпендикулярны им. Здесь, вероятно, определяющим фактором является направление электрического поля, возникающего между кристаллитами и имеющего пьезоэлектрическую природу. Известно, что в электрическом поле ассоциации молекул жидких кристаллов принимают положение, параллельное его направлению [П. де Жен, 1977].

Когда примеси, локализованные между кремнекислородными цепочками, уходят, то создаются условия для слияния этих цепей и образования пространственной кристаллической структуры кварца.

Таким образом, необычный вид кристаллитов, образующихся при нагревании, может объясняться тем, что кремнезем, находящийся в сотах кристаллитов 2-го порядка, обладает свойствами, напоминающими свойства термотропных жидких кристаллов. Известно, что этот класс веществ переходит в состояние жидких кристаллов при нагревании [Чандрасекар, 1980]. Видимо, поэтому при высокой температуре кремнезем может свободно выделяться

из демпферных зон и растекаться по поверхности кристаллитов. При низких температурах он находится в конденсированном состоянии и никак себя не проявляет.

## Выводы

1. Природный кремнезем имеет устойчивую тенденцию к самоочищению от посторонних примесей. Эта тенденция сохраняется и при переходе кремнезема в кварц. В результате в кварце образуются субмикроскопические структурные неоднородности – кристаллиты, представляющие собой зоны очищенного кремнезема, и демпферные зоны, обогащенные рассеянными примесями.

2. Дефектность образованных структурных неоднородностей различна, поэтому скорость их растворения в плавиковой кислоте неодинакова. Эти свойства неоднородностей позволяют исследовать их строение путем обработки кварца в HF, что приводит к удалению из кварца демпферных зон и сохранению кристаллитов.

3. Форма, размеры кристаллитов в кварце отражают условия минералообразования. Их изучение дает возможность судить об особенностях кристаллизации кварца и последующем влиянии на минерал вторичных процессов.

Результаты анализа распределения кристаллитов в кварце имеют и важное технологическое значение. Известно, что поведение элементов-примесей в областях упорядоченной кристаллической структуры и демпферных зонах разное [Раков, Дубинчук, 2009], поэтому при оценке качества кварцевого сырья и разработке оптимальных схем его обогащения необходимо иметь информацию о характере распределения и взаимоотношения этих зон в кварце.

4. Термическое воздействие на кварц может приводить к образованию новых кристаллитов. Их формирование осуществляется благодаря раскristаллизации кремнезема демпферных зон, освободившегося от избыточного количества примесей. Результаты исследований свидетельствуют, что перед появлением очищенного кварца кремнезем проходит стадию вязкотекучего состояния.

5. Прогрев кварца в естественных условиях вызывает динамическую рекристаллизацию кристаллитов. Ее характер может определяться температурой прогрева, давлением флюида, степенью закрытости системы, видом кристаллитов, скоростью их деформации и другими причинами. Вариации этих параметров приводят к многообразию форм кристаллитов в природном кварце.

В заключение надо сказать, что качество кварцевого сырья определяется не только процессом самоочищения кремнезема. Важную роль играют исходное содержание примесей в минералообразующем флюиде и закономерности их природной сепарации в кварце. Поэтому прогнозная оценка перспективности кварцевого сырья должна учитывать результаты изучения в нем субмикроскопических структурных неоднородностей.

## Литература

- Айлер Р.* Химия кремнезема. М.: Мир, 1982. 416 с.
- Брызгалов А. Н.* Формирование кристаллов кварца с микроканальной структурой // Получение, свойства и применение дисперсных материалов в современной науке и технике. Челябинск, 1991. С. 50–57.
- Гетманская Т. И., Раков Л. Т.* Закономерности распределения парамагнитных центров в кварце вольфрамовых месторождений грейзеновой формации // Геохимия. 1998. № 5. С. 539–542.
- Горячев Н. А.* Жильный кварц золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса. Владивосток: ДВО РАН, 1992. 136 с.
- Данилевская Л. А., Гаранжа А. В.* Месторождение жильного кварца Фенькина Лампи: геолого-минералогические аспекты формирования, типоморфные свойства и оценка качества // Геолого-технологические исследования промышленных минералов Фенноскандии: сб. статей. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 29–38.
- Данилевская Л. А., Скамницкая Л. С.* Месторождение жильного кварца Перчатка: история освоения, геолого-минералогические особенности, новые подходы к оценке сырья // Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова: Тр. VII Всерос. Ферсмановской науч. сессии, посвящ. 80-летию Кольского НЦ РАН (Апатиты, 2–5 мая 2010 г.). Апатиты: ООО К & М, 2010. С. 39–44.
- Данилевская Л. А., Скамницкая Л. С., Щипцов В. В.* Кварцевое сырье Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 226 с.
- Данилевская Л. А., Щипцов В. В.* Прогноз перспективности нового кварценосного объекта Меломайс в Карелии // Разведка и охрана недр. 2007. № 10. С. 33–36.
- де Жен П.* Физика жидких кристаллов. М.: Мир, 1977. 400 с.
- Коровкин М. В., Ананьева Л. Г., Анциферова А. А.* Оценка степени преобразования кварцитов методом инфракрасной спектроскопии // Изв. Томского политехнического университета. 2012. Т. 320, № 1. С. 16–18.
- Кузнецов С. К., Светова Е. Н., Шанина С. Н., Филиппов В. Н.* Элементы-примеси в кварце гидротермально-метаморфогенных жил Приполярно-уральской провинции // Геохимия. 2012. № 11. С. 1016–1031.
- Лютоев В. П., Глухов Ю. В., Суетин В. П., Лысюк А. Ю., Остащенко Б. А., Самотолкова М. Ф.* Спектроскопия примесных дефектов в минералах из эндогенных и экзогенных объектов: структурные примеси и адсорбированные молекулы как маркеры геологических процессов. Сыктывкар: Геопринт, 2007. 44 с. (Отчетная серия № 5 (54)).
- Лютоев В. П., Силаев В. И.* Типоморфизм парамагнитных центров в структуре кварца из уральского редкометального месторождения // Минералогический журн. 2008. Т. 30, № 2. С. 64–74.
- Мусатов В. В.* Направленное дефектообразование в кристаллах кварца: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Челябинск, 2007.
- Надежина Т. Н., Куражковская В. С., Воинков Д. М.* Степень кристалличности кварца из золоторудных месторождений // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2001. № 1. С. 30–34.
- Порицкий М. С., Буйко А. К., Котов Н. В., Порицкая Л. Г.* Геологическая позиция и условия формирования золоторудных метасоматитов месторождения «Майское» (Северная Карелия) // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 1993. Вып 1, № 7. С. 15–21.
- Портнов А. М., Раков Л. Т., Дубинчук В. Т.* Неупорядоченность структуры кварца как индикатор оруденения // Современная минералогия: от теории к практике: материалы XI съезда Российской минералогического общества. СПб., 2010. С. 245–247.
- Раков Л. Т., Дубинчук В. Т.* Новые подходы к проведению оценки качества кварцевого сырья // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов: сб. науч. статей по материалам Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 78–82.
- Раков Л. Т., Миловидова Н. Д., Моисеев Б. М., Огурцов В. Г.* Новый метод оценки качества кварцевого сырья // Разведка и охрана недр. 1993. № 7. С. 36–38.
- Раков Л. Т., Ткачев А. В., Сахнов А. А.* Генетический анализ кварца пегматитов Мамско-Чуйского слюдоносного района на основе использования распределения изоморфных примесей // Геол. руд. месторождений. 2013. Т. 55, № 1. С. 48–67.
- Сафонов Ю. Г., Волков А. В., Вольфсон А. А., Генкин А. Д., Крылова Т. Л., Чугаев А. В.* Золото-кварцевое месторождение Майское (Северная Карелия): геологические и минералого-геохимические особенности, вопросы генезиса // ГРМ. 2003. Т. 45, № 5. С. 429–451.
- Светова Е. Н., Кузнецов С. К., Шанина С. Н., Филиппов В. Н.* Элементы-примеси в кварце и особо чистое кварцевое сырье // Сб. научных статей по материалам V Российского семинара по технологической минералогии «Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 140–146.
- Сорока В. В., Лазорина Е. И., Степанчук В. Н.* К теории травления кварца в плавиковой кислоте // Кристаллография. 1977. Т. 22, вып. 3. С. 619–621.
- Физическая энциклопедия.* Том 2. М.: Советская энциклопедия, 1988.
- Чандрасекар С.* Жидкие кристаллы / Под ред. А. А. Ведерникова, И. Г. Чистякова. М.: Мир, 1980. 343 с.

Юргенсон Г. А. Типоморфизм и рудоносность жильного кварца. М.: Недра, 1984. 149 с.

Ernsberger F. M. J. Phys. and Chem. Solids. 1960. Vol. 13. P. 347.

Passchier C. W., Trouw R. A. J. Microtectonics. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1996. P. 289.

Shchiptsov V. V., Skamnitskaya L. S., Voytekhovskiy Yu. L., Bubnova T. P., Dubinchuk V. T., Rakov L. T.

Geological and mineralogical-technological appraisal of quartz as a raw material from the Karelia-Kola quartz-bearing province, a new promising region of Russia // Abstracts and Proceedings of the Geological Society of Norway. The Arctic Days 2014. Norsk Geologisk Forening c/o Norges geologiske undersøkelse N-7491 Trondheim. P. 80–81.

Поступила в редакцию 03.04.2015

## References

Ailer R. Khimiya kremnezema [The chemistry of silica]. Moscow: Mir, 1982. 416 p.

Bryzgalov A. N. Formirovanie kristallov kvartsa s mikrokanal'noi strukturoi [The formation of quartz crystals with microchannel structure]. Poluchenie, svoystva i primeneniye dispersnykh materialov v sovremennoi nauke i tekhnike [Production, properties and application of dispersed materials in modern science and technology]. Chelyabinsk, 1991. P. 50–57.

Getmanskaya T. I., Rakov L. T. Zakonomernosti raspredeleniya paramagnitnykh tseftrov v kvartse vol'framovykh mestorozhdenii greizenovoi formatsii [Regularities in the distribution of paramagnetic centers in quartz-tungsten deposits of greisen formation]. Geokhimiya [Geochemistry]. 1998. No 5. P. 539–542.

Goryachev N. A. Zhil'nyi kvarts zolotorudnykh mestorozhdenii Yano-Kolym'skogo poyasa [Vein quartz in gold deposits in the Yana-Kolyma belt]. Vladivostok: DVO RAN, 1992. 136 p.

Danilevskaya L. A., Garanzha A. V. Mestorozhdeniye zhil'nogo kvartsa Fen'kina Lampi: geologo-mineralogicheskie aspekty formirovaniya, tipomorfnye svoystva i otsenka kachestva [The Fen'kina-Lampi vein quartz deposit: geological and mineralogical aspects of formation, typomorphic properties and quality assessment]. Geologo-tekhnologicheskie issledovaniya industrial'nykh mineralov Fennoskandii: sb. Statei [Geological and technological surveys of industrial minerals of Fennoscandia]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2003. P. 29–38.

Danilevskaya L. A., Skamnitskaya L. S. Mestorozhdeniye zhil'nogo kvartsa Perchatka: istoriya osvoeniya, geologo-mineralogicheskie osobennosti, novye podkhody k otsenke syr'ya [The Perchatka vein quartz deposit: the history of development, geological and mineralogical peculiarities, new approaches to the raw materials estimation]. Geologiya i poleznye iskopaemye Kol'skogo poluostr'ova: Tr. VII Vseros. Fersmanovskoi nauch. sessii, posvyashch. 80-letiyu Kol'skogo NTS RAN (Apatity, 2–5 maya 2010 g.) [Geology and mineral resources of the Kola Peninsula. Proceedings of VII All-Russian Fersman scientific session dedicated to the 80th anniversary of the Kola SC RAS (Apatity 2–5 May 2010)]. Apatity: OOO K & M, 2010. P. 39–44.

Danilevskaya L. A., Skamnitskaya L. S., Shchiptsov V. V. Kwartsevoe syr'e Karelii [Quartz raw material in Karelia]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2004. 226 s.

Danilevskaya L. A., Shchiptsov V. V. Prognoz perspektivnosti novogo kvartsenosnogo ob'ekta Melomais v Karelii [Prospect evaluation of the new quartz Melomais locality in Karelia]. Razvedka i okhrana nedr [Use and conservation of mineral resources]. 2007. No 10. P. 33–36.

Korovkin M. V., Anan'eva L. G., Antsiferova A. A. Otsenka stepeni preobrazovaniya kvartsitov metodom infrakrasnoi spektroskopii [The assessment of quartzite transformation using infrared spectroscopy]. Izv. Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Tomsk Polytechnic University]. 2012. Vol. 320, No 1. P. 16–18.

Kuznetsov S. K., Svetova E. N., Shanina S. N., Filippov V. N. Elementy-primesi v kvartse gidrotermal'no-metamorfogennykh zhil' Pripolyarnou-ral'skoi provintsii [Minor elements in quartz from the hydrothermal-metamorphic veins in the Nether Polar Ural Province]. Geokhimiya [Geochemistry]. 2012. No 11. P. 1016–1031.

Lyutoev V. P., Glukhov Yu. V., Suetin V. P., Lysyuk A. Yu., Ostashchenko B. A., Samotolkova M. F. Spektroskopiya primesnykh defektov v mineralakh iz endogennykh i ekzogennykh ob'ektov: strukturnye primesi i adsorbiruyemye molekuly kak markery geologicheskikh protsessov [Spectroscopy of structural defects in minerals from endogenous and exogenous formations. Structural impurities and absorbed molecules as geological markers]. Syktyvkar: Geoprint, 2007. 44 p.

Lyutoev V. P., Silaev V. I. Tipomorfizm paramagnitnykh tseftrov v strukture kvartsa iz ural'skogo redkometal'nogo mestorozhdeniya [Typomorphism of paramagnetic centers in the structure of quartz from the Urals rare-metal deposit]. Mineralogicheskii zhurn [Mineralogical Journal]. 2008. Vol. 30, No 2. P. 64–74.

Musatov V. V. Napravlennoe defektoobrazovanie v kristallakh kvartsa: avtoref. dis. kand. fiz.-mat. Nauk [Artificial defect formation in quartz crystals: abstract of the DSc thesis, Phys.-math.]. Chelyabinsk, 2007.

Nadezhina T. N., Kurazhkovskaya V. S., Voinkov D. M. Stepen' kristallichnosti kvartsa iz zolotorudnykh mestorozhdenii [The degree of quartz crystallinity from gold deposits]. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 4. Geologiya [The Moscow University Herald. Ser. 4. Geology]. 2001. No 1. P. 30–34.

Poritskii M. S., Buiko A. K., Kotov N. V., Poritskaya L. G. Geologicheskaya pozitsiya i usloviya

formirovaniya zolotorudnykh metasomatitov mestorozhdeniya «Mayskoe» (Severnaya Kareliya) [Geological position and conditions of formation of metasomatites of the Mayskoe gold deposit (Northern Karelia)]. Vestnik SPbGU. Ser. 7 [The Herald of St. Petersburg University]. 1993. Iss 1, No 7. P. 15–21.

*Portnov A. M., Rakov L. T., Dubinchuk V. T.* Neuporyadochennost' struktury kvartsa kak indikator orudneniya [Structural disorder in quartz as an indicator of mineralization]. Sovremennaya mineralogiya: ot teorii k praktike: materialy XI S"ezda Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva [Modern mineralogy: from theory to practice: proceedings of the XI Congress of the Russian Mineralogical Society]. St. Petersburg, 2010. P. 245–247.

*Rakov L. T., Dubinchuk V. T.* Novye podkhody k provedeniyu otsenki kachestva kvartsevoogo syr'ya [New approach to quality evaluation of quartz resources]. Novye metody tekhnologicheskoi mineralogii pri otsenke rud metallov i promyshlennykh mineralov: sb. nauch. statei po materialam Rossiiskogo seminaru po tekhnologicheskoi mineralogii [New technological mineralogy methods for evaluation of metallic and industrial mineral ores: collected scientific papers of Russian seminar on technological mineralogy]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2009. P. 78–82.

*Rakov L. T., Milovidova N. D., Moiseev B. M., Ogurtsov V. G.* Novyi metod otsenki kachestva kvartsevoogo syr'ya [New method of quality evaluation of quartz resources]. Razvedka i okhrana nedr [Use and conservation of mineral resources]. 1993. No 7. P. 36–38.

*Rakov L. T., Tkachev A. V., Sakhnov A. A.* Geneticheskii analiz kvartsa pegmatitov Mamsko-Chuiskogo slyudonosnogo raiona na osnove ispol'zovaniya raspredeleniya izomorfnykh primesei [Genetic analysis of quartz from pegmatites of the Mama-Chuya mica belt based on distribution of isomorphic impurities]. Geol. rud. Mestorozhdenii [Geology of ore deposits]. 2013. Vol. 55, No 1. P. 48–67.

*Safonov Yu. G., Volkov A. V., Vol'fon A. A., Genkin A. D., Krylova T. L., Chugaev A. V.* Zoloto-kvartsevoe mestorozhdenie Mayskoe (Severnaya Kareliya): geologicheskie i mineralogo-geokhimicheskie osobennosti, voprosy genezisa [Mayskoe gold-quartz

deposit (Northern Karelia). Geological and mineralogical-geochemical peculiar features, genesis issues]. GRM. 2003. Vol. 45, No 5. P. 429–451.

*Svetova E. N., Kuznetsov S. K., Shanina S. N., Filippov V. N.* Elementy-primesi v kvartse i osobo chistoe kvartsevoe syr'e [Trace elements in quartz and high-purity raw quartz]. Sb. nauchnykh statei po materialam V Rossiiskogo seminaru po tekhnologicheskoi mineralogii «Mineralogo-tekhnologicheskaya otsenka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh i problemy raskrytiya mineralov» [Collected scientific papers of the V Russian seminar on technological mineralogy "Mineralogical and technological evaluation of mineral deposits and problems of mineral extraction"]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2011. P. 140–146.

*Soroka V. V., Lazorina E. I., Stepanchuk V. N.* K teorii travleniya kvartsa v plavikovoii kislyote [On the theory of quartz etching with hydrofluoric acid]. Kristallografiya [Crystallography]. 1977. Vol. 22, iss. 3. P. 619–621.

*Fizicheskaya entsiklopediya* [Physical encyclopedia]. Vol. 2. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1988.

*Chandrasekar S.* Zhidkie kristally [Liquid crystals]. Eds. A. A. Vedernikov, I. G. Chistyakov. Moscow: Mir, 1980. 343 p.

*Yurgenson G. A.* Tipomorfizm i rudonosnost' zhil'nogo kvartsa [Typomorphism and mineralization of vein quartz]. Moscow: Nedra, 1984. 149 p.

*de Zhen P.* Fizika zhidkikh kristallov [The physics of liquid crystals]. Moscow: Mir, 1977.

*Ernsberger F. M.* J. Phys. and Chem. Solids. 1960. Vol. 13. P. 347.

*Passchier C. W., Trouw R. A. J.* Microtectonics. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1996. P. 289.

*Shchiptsov V. V., Scamnitskaya L. S., Voytekhovskiy Yu. L., Bubnova T. P., Dubinchuk V. T., Rakov L. T.* Geological and mineralogical-technological appraisal of quartz as a raw material from the Karelia-Kola quartz-bearing province, a new promising region of Russia. Abstracts and Proceedings of the Geological Society of Norway. The Arctic Days 2014. Norsk Geologisk Forening c/o Norges geologiske undersokelse N-7491 Trondheim. P. 80–81.

Received April 03, 2015

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Раков Леонид Тихонович**

д. г.-м. н.  
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ)  
Старомонетный пер., 35, Москва, Россия, 119017  
эл. почта: rakovlt@mail.ru

### **Щипцов Владимир Владимирович**

директор, д. г.-м. н.  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: shchipts@krc.karelia.ru

## CONTRIBUTORS:

### **Rakov, Leonid**

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences (IGEM RAS)  
35 Staromonetnyi per., 119017 Moscow, Russia  
e-mail: rakovlt@mail.ru

### **Shchiptsov, Vladimir**

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

**Дубинчук Виктор Тимофеевич**

д. г.-м. н.

Всероссийский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского (ВИМС)

Старомонетный пер., 31, Москва, Россия, 119017

эл. почта: Vic\_dubinchuk@mail.ru

**Скамницкая Любовь Степановна**

старший научный сотрудник

Институт геологии Карельского научного центра РАН

ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910

эл. почта: skamnits@krc.karelia.ru

**Dubinchuk, Viktor**

All-Russian Research Institute of Mineral Resources (VIMS)

31 Staromonetnyi per., 119017 Moscow, Russia

e-mail: Vic\_dubinchuk@mail.ru

**Skamnitskaya, Lyubov'**

Institute of Geology, Karelian Research Centre,

Russian Academy of Sciences

11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

e-mail: skamnits@krc.karelia.ru

УДК 622.367.7(553.677) 902.2

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛЮДЫ И РАСПОЛОЖЕНИЕ МЕСТ ДОБЫЧИ МУСКОВИТА В ПОЗДНЕМ СРЕДНЕВЕКОВЬЕ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ И В СЕВЕРНОЙ КАРЕЛИИ**

**Л. С. Скамницкая<sup>1</sup>, М. М. Шахнович<sup>2</sup>, О. В. Букчина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт геологии Карельского научного центра РАН*

<sup>2</sup> *Национальный музей РК*

Развитие горнодобывающей промышленности и уровень развития горных технологий можно проследить на примере слюдодобычи, осуществляемой на северо-западе Карело-Кольского региона, продолжающейся в течение многих веков.

Традиционным источником слюды-мусковита с древних времен были слюдяные пегматиты, развитые в Чурино-Лоухском районе и на Кольском полуострове.

На ранних стадиях использования слюды поисками, оценкой и добычей мусковита здесь занимались не профессионалы, а "рудоискатели", совершенствовавшие свои первоначальные практические знания в отношении залежей слюды и связанных с ней горных пород и минералов. Древние многочисленные слюдяные разработки приурочены к поверхностным выходам слюдяных пегматитов, локализованным вдоль береговой линии Западного Беломорья. Добыча велась вручную открытым способом с использованием для вскрытия слюды отжига (нагрев разведением огня с последующим поливом водой), клиньев и кайла. Позднее появились и подземные слюдяные копи, и более совершенные способы, и орудия труда. Постепенно в добычу включались и другие минералы. Менялись и направления использования слюды, расширялась география ее применения.

С учетом типоморфных характеристик слюды и использования современных аналитических методов (рентгенофазового и рентгеноструктурного анализов, рамановской спектроскопии, ICP-MS), установлена возможность определения места добычи слюды по древним образцам мусковита, найденным в разных регионах России.

**Ключевые слова:** мусковит Карело-Кольского региона, история добычи, использование, структурные характеристики, физические свойства, кристаллы, типоморфные признаки.

### **L. S. Skamnitskaya, M. M. Shakhnovich, O. V. Bukchina. APPLICATIONS OF MICA AND LOCATIONS OF MUSCOVITE MINING AREAS IN THE LATE MEDIEVAL PERIOD IN THE KOLA PENINSULA AND NORTH KARELIA**

The development of the mining industry and mining technologies can be traced by assessing mica production in the northwestern Karelia-Kola region, which continued for many centuries.

Mica pegmatite, which occurred in the Chupa-Louhi area and on the Kola Peninsula, has been a conventional source of muscovite mica since ancient times.

When mica was just coming into use, the prospecting, appraisal and production of muscovite were conducted by "ore prospectors", who enhanced their originally hands-on knowledge of mica deposits and associated rocks and minerals, rather than by professional miners. The numerous old mica extraction sites are confined to pegmatite mica exposures located along

the western White Sea shoreline. Mica was mined manually by the open-pit method. It was first exposed by annealing (heating by fire followed by watering), wedges and mining picks. Underground mica mines and more advanced methods and tools were to appear later. As time went by, other minerals began to be mined as well. Mica applications were becoming more varied and wider geographically.

Old mica mining areas can be located by analyzing old muscovite samples from various parts of Russia using modern analytical methods, such as X-ray phase and X-ray structural analyses, Raman spectroscopy and ICP-MS, and taking into account the typomorphic characteristics of mica.

**Keywords:** muscovite from the Karelia-Kola region, mining history, mica uses, structural characteristics, physical properties, crystals, typomorphic characters.

Темы развития горного дела и межрегиональной торговли сырьем в период Средневековья взаимосвязаны и, на наш взгляд, очень мало «проработаны» российскими исследователями. Задача данной статьи – обсуждение проблем освоения недр приполярных территорий, – способов и объемов добычи и расположения мест извлечения слюды в XVII веке.

#### **История добычи слюды в Беломорье.**

Слюда была известна человеку на Европейском Севере очень давно. В Карелии она использовалась в качестве добавок в тесто при изготовлении керамики в I тыс. до н.э., а на Кольском п-ове еще раньше – в эпоху раннего металла [Шумкин, 1993. С. 155; Археология Карелии, 1996. С. 241; Гурина, 1997. С. 96]. В период Средневековья можно фиксировать поставки слюды в центральные районы Руси. Например, «пачки кусков слюды» отмечены в слоях XII – первой четверти XIV века при раскопках в Новгороде [Арциховский, 1949. С. 125, 141].<sup>1</sup> Но более уверенно археологи говорят о находках изделий из слюды в древнерусских городах только с XV века.

Западная Европа узнала о «московском стекле» от английских путешественников и торговцев в середине XVI века. Слюда рассматривалась как более дешевый заменитель уже вошедшему в употребление в Европе стеклу. Важные ее физические свойства – это повышенная огнестойкость, твердость, упругость, прозрачность и способность легко расщепляться на ровные пластинки нужной толщины. Слюда применялась при изготовлении окон в домах и повозках, в фонарях и зеркалах, для аппликаций и инкрустаций икон, предметов богослужения, мебели, монастырских сувениров для паломников. В XVII веке на Красной площади в Москве был специальный торговый ряд для «продажи чудесных выпуклых и гладких оконниц и каменного хрусталя, который не ломается, но гибок, как бумага». «Русское стек-

<sup>1</sup> Скорее всего, это не изделия, а необработанная, кусковая слюда.

ло» шло на внутренний рынок, в Персию и в европейские страны.

Наиболее активно человеком использовался мусковит – белая калиевая слюда. На Европейском Севере известны три района, где в результате геологических процессов сформировались месторождения мусковита: Чупино-Лоухский, Кемско-Беломорский и Енско-Кольский, поэтому, естественно, что «слюдный промысел» на территории России зародился именно в Западном Прибеломорье. В позднем Средневековье основные центры добычи слюды существовали на Карельском берегу Белого моря в районе рек Кереть (современный Лоухский р-н РК) и Кемь (Кемский р-н РК). Первое известное упоминание об этом виде деятельности «керетчан, чуплян и черноречан» относится к 1574 году: «в Керетской же волости на Пулонгском озере промышляют „слуду“, бьют в каменных горах» [Критский, 2007. С. 152]. На Кольском полуострове зафиксировано до 40 мест добычи слюды вдоль береговой линии Кандалакшского залива [Дубовик, Либман, 1966].

«Строитель Кандалакшского монастыря Иосиф, пробираясь низинами в Княжегубскую волость, обнаружил „слудный признак“ в 30 верстах от монастырских стен на дороге, „подле моря, в горе прозванием Орлове“. Чтобы „взять слуде опыт“, Иосиф вызвал из Кандалакшского монастыря двух монахов и кузнеца-рудоведца, крестьянина Матюшку Худокуева. Иосиф и его помощники произвели опытную добычу слюды и добились успешного результата, пользуясь огневым способом разрушения горной породы и железными клевцами» [Дубовик, Либман, 1966. С. 86–87].

Во второй половине XVII века на землях Соловецкого монастыря в Керетской волости было 24 участка для добычи слюды<sup>2</sup>, откуда, по официальным данным, поступало около 150

<sup>2</sup> В 2014 году в Республике Карелия на государственном балансе находится 24 месторождения листового мусковита.

пудов «головной» слюды, а в начале XVIII века уже около 900 пудов [Либман, 1954. С. 32]. В соседней Кемской волости (район дер. Подуземье и Маслозеро) уже в XV веке разрабатывалось до двадцати месторождений, но «керецкая» белая слюда считалась более «доброй» и «лучшей» [Критский, 2007. С. 188].

В Поморье кроме официальных ломок, обложенных государственным налогом, существовали также и тайные крестьянские слюдяные разработки: «промышленные люди ломают слюду, а в государеву казну ничего не платят». За это по Петровскому указу 1706 года полагалась смертная казнь, а для торговых людей, занимавшихся куплей-продажей «воровской слюды» – вечная каторга [Либман, 1954. С. 39–42]. Таким образом, объемы слюды, поступавшей на рынок России из Карелии, были более значительными, чем мы можем проследить по имеющимся фискальным документам. С середины XVIII века, в связи с распространением фабричного стекла, промысел «слудистого камня» приходит в упадок, но в Беломорье слюда в быту использовалась повсеместно до второй половины XIX века. По описаниям путешественников, «во всех домах поморов в окна вставлены небольшие куски слюды, связанные нитками, а у более состоятельных куски слюды побольше и скреплены китовым усом» [Кааран, 1908. С. 162].

Разработки листовой слюды крестьянскими артелями проводились в основном открытым способом в «слюдяных ямах». Остатки их легко вычлениаются на местности. Они находятся в тайге, на удалении от современных населенных пунктов до 50 км, на скальных выходах-варакках. Чаще всего, это одна-две заполненные водой разной величины выработки – траншеи с крутыми стенками длиной 30–60 м, шириной 2,5–6 м и значительной глубиной 3–10 м. Иногда это ямы округлой формы диаметром до 20 м и глубиной до 3–4 м. Средневековые слюдодобытчики «шли» только за слюдоносной жилой, поэтому встречаются и узкие выработки-«щели» глубиной до 7–8 м и шириной до 1,5 м. Есть сообщения и о существовании шахт. Например, на руднике «Малиновая варакка» (Лоухский р-н РК) в 1947 году была найдена древняя «слудная рудокопка» глубиной до 40–50 м [Либман, 1954. С. 42]. Около «ям» располагаются отвалы пустой породы и первично выбракованной по цвету и размеру мелкой и перегорелой слюды.

На берегах ближайших к «ямам» водоемов можно найти задернованные остатки очень небольших избышек поселков рудокопов – истлевшие нижние венцы срубов с открытым очагом-каменкой внутри, мало чем отличающихся от обычных лесных домиков охотников. «На

слюдном монастырском промыслу, на варакке келья монастырская, передние сени да чулан, да двенадцать изб поземных с сенцами ... где живут работные люди, которые на той варакке слюды промышляют ...» [Либман, 1954. С. 38]. Археологами эти специализированные поселения около горных разработок в Карелии никогда не обследовались.

При определенном навыке «сыск» гнезд и жил пегматита с кристаллами слюды был несложен: вручную или с помощью пала снимался моховый покров с поверхности варакк или осматривались скальные расщелины и выступы [Шуркин, 1953. С. 33]. Слюда добывалась методом «пожога»: скала предварительно накаливалась, а затем обливалась водой. При этом отламывались куски породы или же возникали трещины, в которые вгоняли железные клинья. При воздействии огня слюда портилась: теряла прозрачность, цвет, становилась мягкой и ломкой. По наблюдениям геологов начала XX века, в этих «ямах» мог попутно извлекаться и «фарфоровый камень» – полевой шпат [Гинзбург, 1916. С. 354]. Для работы использовали простые «слюдяные снасти», которые производились и ремонтировались здесь же, в кузнице горняцкого поселка: лома и молоты большие и малые, долота, «чем камень отрясают», пешни, «поток» железные для отвода воды, светцы, клевцы, крюки, черпаки водолейные: «промышляют слюду в горах клевцами и огнем» [Либман, 1954. С. 35].

Первичная сортировка полученной слюды производилась на месте. Лучшей («головной») слюдой считались листы шириной и длиной более одного аршина (min 70 см) [Савич, 1927. С. 205]. Она вырубалась в зимнее время года. Слюда «подголовная», средняя и мелкая – практически круглый год, с августа по май.

В исторической литературе существует устойчивое мнение, что добыча «московского стекла» в позднем Средневековье осуществлялась только в месторождениях Керетской волости (Северная Карелия), относившейся с 1635 года к владениям Соловецкого монастыря. Конкретизация мест, где «работные люди слюду промышляют», не производилась. Нам известна только одна попытка установить пункт «ломки» слюды, найденной в археологическом контексте. В 2012 году в Лаборатории геологии, технологии и экономики минерального сырья Института геологии КарНЦ был сделан анализ слюдяных окончин из комплекса конца XV – начала XVI века Загородского посада г. Твери (раскопки Е. А. Романовой 2011 год). По химическому составу слюда из Твери близка северокарельским месторождениям в районе Энгозера.

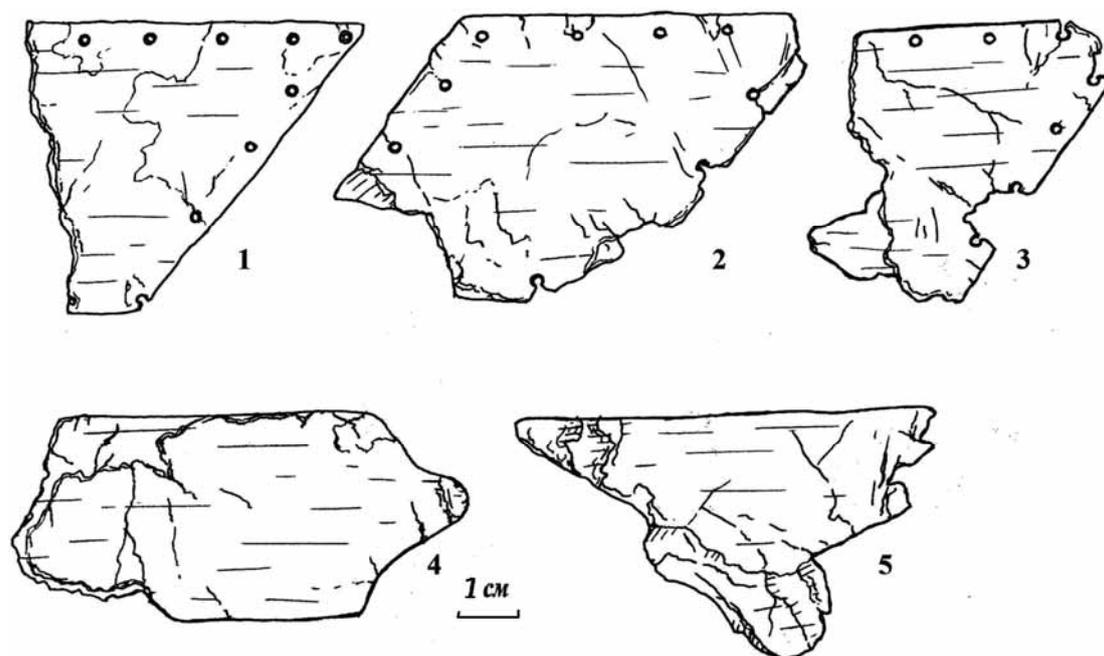


Рис. 1. Фрагмент оконниц-«шитух» (1–3) и рабочие отходы (4–5) из раскопок церкви Рождества Пречистой Богородицы Кандалакшского монастыря. 2013 год

В начале XX века геологи упоминают ряд слюдоносных пунктов и на Кольском п-ове: в районе оз. Имандры, около дер. Умбы на Терском берегу Белого моря, у с. Федосеевское около Кандалакши, на Западном Мурмане в Вайдагубе, около Печенгского монастыря на знаменитой Спасательной горе, «на границе с Улеаборгской губернией в 150 верстах от с. Кандалакши в тундре, называемой Хлебной» и др. [Гинзбург, 1916. С. 351], но мы не знаем, производилась ли там добыча слюды в XVII–XVIII веках. Есть сведения только о крупном месторождении на западном берегу Кандалакшского залива «подле моря, в горе под названием Орлове», которое открыл в 1671 году строитель Кандалакшского монастыря Иосиф. Это месторождение мусковита разрабатывалось до середины XVIII века и было самым северным из известных нам по письменным источникам [Дубовик, Либман, 1966. С. 86].

**«Археологическая» слюда Кандалакшского монастыря.** На сегодня вопрос о добыче слюды – начальном этапе горного дела на Кольском п-ове, остается открытым. В этой связи мы попытаемся проанализировать новый материал из археологического исследования М. М. Шахновича в 2013 году разрушенной церкви Рождества Пречистой Богородицы Кандалакшского монастыря. В ходе начального этапа исследования вскрыта небольшая площадь (32 м<sup>2</sup>) алтарной части храма. Работы имели в основном архитектурно-археологические задачи. Раскрыты стратифицированные и ненару-

шенные культурные напластования XVII–XIX веков с фрагментами храма на разных этапах его истории (остатки основания деревянной алтарной преграды, каменные кладки на месте Царских врат и престола). Коллекция вещевого материала из раскопа небольшая – 674 экз. Как индивидуальные артефакты, определены 124 экз. Среди них есть и находки слюды.

Фрагментов оконниц-«шитух» найдено немного – 7 экз. Встречались в раскопе и небольшие тончайшие отслоившиеся «чешуйки» мусковита, но также очень единично – 5 шт. Соотносятся они с нижними слоями стратиграфической колонки. Среди частей слюдяных оконниц (максимальные размеры 8 x 5 см) нет ни одного целого экземпляра, и по наличию характерных заломов можно утверждать, что все они были сломаны (рис. 1, 1–3). По форме это были разносторонние трапеции. Только на четырех экземплярах присутствуют характерные сквозные отверстия от проколов иглой, сделанные по краю пластины через равные промежутки приблизительно в 1–1,5 см. При толщине в 1 мм пластинки обладают хорошей для крепления жесткостью и прозрачностью. Рабочие отходы подтверждают наблюдение, что отобранные для «стекления» нужного качества пластинки слюды были небольших размеров и в процессе подгонки резались на месте из имеющегося сырья на мноугольники. Хронологические границы попадания этой слюды в культурный слой памятника – середина – вторая половина XVII века (рис. 1).

При раскопках последних лет памятников Русской Лапландии XVI–XVII веков в основном также встречаются морфологически единообразные целые куски или обломки слюдяных оконниц, реже – обрезки пластинок слюды, оставшиеся в ходе «стекления» [Шахнович, 2012. С. 181–215, 166–177]. Поэтому несколько неожиданным было присутствие в культурном слое большого количества «нестандартной», по виду необработанной, кусковой, непрозрачной слюды серебристого и золотисто-желтого цветов, не подходящих для создания оконниц (129 экз. общим весом 513 г), которую первоначально определили как вермикулит.

Однозначно слюда была привезена к устью р. Нивы. Некоторые кусочки имеют ровные края, возникающие при отрезании, но неясно, когда это произошло – при добыче в «ломках» или при последующей обработке. Вероятно, в подклети церкви она только хранилась, так как при первичной переработке слюды возникает много слюдяной пыли и крошки, отсутствовавших в почве. Единственно, что можно предположить, что мусковит золотистого и серебристого цветов использовался для декоративного оформления. В этом случае можно высказать две версии о причинах термического воздействия на слюду – преднамеренный обжиг с целью изменения цвета или случайное влияние огня в ходе пожаров.

### Материал для исследований

С целью диагностики и определения места добычи слюды из раскопа 2013 года на Монастырском наволоке в г. Кандалакше ее образцы были изучены в Институте геологии КарНЦ РАН с использованием как традиционных, так и современных методов анализа вещества.

Слюду из раскопа визуально по цвету разделили на три группы:

- 1 – слюда неизменная серебристо-серая;
- 2 – слюда с серебристым оттенком;
- 3 – слюда с золотистым отливом.

Слюда с серебристым оттенком (2 группа) преобладает (табл. 1).

Таблица 1. Визуальная классификация образцов слюды

Группы	1	2	3
Количество, % по массе	9,38	70,43	20,19

1-я группа слюды представлена небольшими по размеру пластинками 3–5 x 2–4,5 см<sup>2</sup>, серебристого светло-серого цвета (тонкие пластинки) и светло-серого с зеленоватой кай-

мой (более плотные кристаллы). Все пластины сильно трещиноваты, рыхлые и рассыпаются в руках на мелкие чешуйки. В межслоевом пространстве содержится большое количество тонкораспыленной примеси (частички земли, уголь). В отдельных пластинках наблюдаются микровключения биотита и протыкающие слюду кристаллы кварца.

2-я группа – небольшие с серебристым отливом пластинки слюды. Они не имеют плоскости расщепления, крошатся на мелкие чешуйки, по всей вероятности, подверглись термическому воздействию при температуре не менее 850 °С, вызывающем дегидратацию и разложение.

3-я группа – небольшие, крошащиеся пластинки слюды с золотистым отливом. Предположительно, они также подверглись термической обработке.

Две последних группы, вполне вероятно, приобрели такие цвета в процессе трех пожаров, зафиксированных в истории церкви. Термическое воздействие при температуре не менее 850 °С вызывает дегидратацию и разложение мусковита, придавая ему серебристый цвет. Золотистый цвет слюды возникает при более высокой температуре нагревания, поэтому закономерно, что находки «золотой» слюды в слое находились выше, чем «серебряной». Такая слюда встречается и на огородах соседних с церковью дачных участков. Размеры кусочков относительно небольшие – максимум 5–6 см и могут быть отнесены к разряду отходов при обработке кусковой слюды, т.н. «здорины» или «скрап» по современной терминологии.

### Результаты исследований

Для физических и аналитических исследований от каждой группы были выбраны типичные образцы.

Образцы на диагностику типа слюды, которая выполнена на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA (аналитик И. С. Инина), готовились по стандартной методике. Условия съемки: CuV  $\alpha$ -излучение, 35 ma, 45 kv, область сканирования проб 2–90°, шаг 0,02° время 1 сек.

Результаты рентгенофазового анализа позволяют идентифицировать образец 1 как «Мусковит - 2М1» (KAl<sub>2</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>), эталон 00-058-2035. Образцы 2 и 3 относятся к «дегидратированному мусковиту (KAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>11</sub>), эталон 00-046-0741. Дополнительных минеральных фаз в образцах мусковита не установлено.

По данным рентгеноструктурного анализа исследуемые образцы слюды отличаются по параметрам элементарной ячейки (табл. 2).

Таблица 2. Параметры элементарной ячейки исследуемых и эталонных образцов мусковита

	Образец	Параметры элементарной ячейки				
		$a \pm \Delta a, \text{ \AA}$	$b \pm \Delta b, \text{ \AA}$	$c \pm \Delta c, \text{ \AA}$	$\beta, ^\circ$	$V, \text{ \AA}^3$
Слюда из раскопа	Слюда 1	$5,203 \pm 0,005$	$9,046 \pm 0,005$	$20,038 \pm 0,0065$	95,77	938,41
	Эталон 00-058-2035 Мусковит-2M1 ( $KAl_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$ )	5,1991	9,0136	20,0576	95,80	935,13
	Слюда 2	$5,225 \pm 0,0095$	$9,17 \pm 0,02$	$20,27 \pm 0,02$	95,64	966,69
	Слюда 3	$5,230 \pm 0,0075$	$9,18 \pm 0,01$	$20,26 \pm 0,01$	95,68	968,34
	Эталон 00-046-0741 дегидратированный мусковит, ( $KAl_3Si_3O_{11}$ )	5,2250	9,1630	20,2750	95,78	965,76
Месторождение Ена		$5,205 \pm 0,008$	$9,040 \pm 0,005$	$20,017 \pm 0,004$	95,67	937,24
Месторождение Хетоламбино		$5,204 \pm 0,005$	$9,081 \pm 0,006$	$20,093 \pm 0,008$	95,98	944,47
Месторождение Лопатова Губа		$5,203 \pm 0,003$	$9,035 \pm 0,004$	$20,073 \pm 0,005$	95,74	938,91

Таблица 3. Физические свойства исследуемых образцов слюды

Показатели	По литературным данным	Образец 1 Мусковит неизмененный тонколистовой	Образец 2 Мусковит измененный серебристый	Образец 3 Мусковит измененный золотистый
Твердость по шкале Мооса	2–3	2	1	1
Плотность, $г/см^3$	2,76–3,1	2,46	2,38	2,33
Средняя плотность, $г/см^3$	–	1,88	1,79	1,73
Прочность	эластичная, гибкая	хрупкая	хрупкая	хрупкая

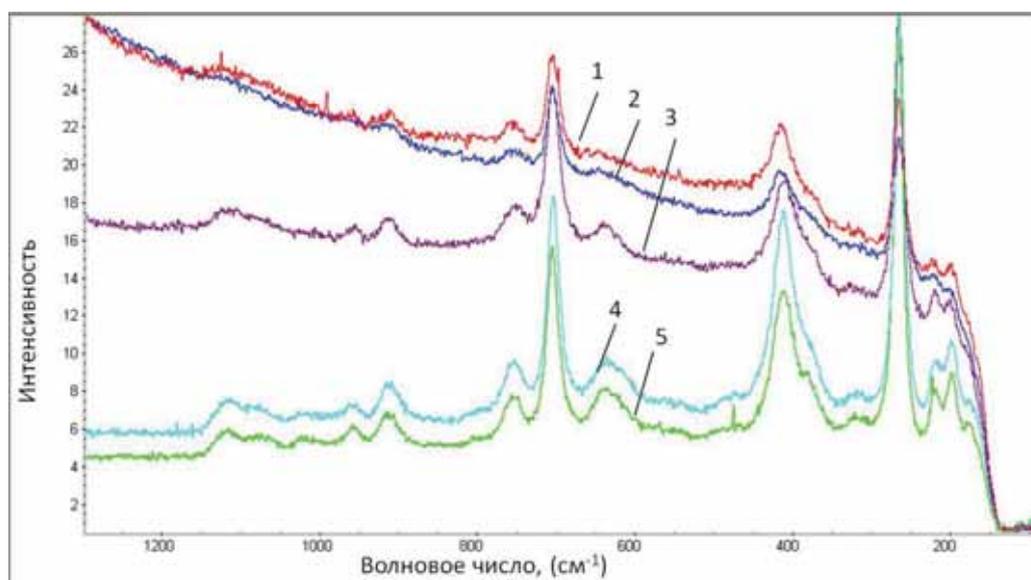


Рис. 2. Рамановские спектры мусковита: 1–2 – образец неизменной слюды из раскопа, разные участки кристалла; 3 – мусковит месторождения Ена, Кольский п-ов; 4 – мусковит месторождения Хетоламбино, Карелия; 5 – мусковит месторождения Лопатова Губа, Карелия

Параметры элементарной ячейки образцов 2 и 3 мусковита из раскопа соответствуют дегидратированному мусковиту, т. е. слюде, не содержащей структурной воды, что обычно происходит при нагревании слюды до температуры красного каления (выше  $850\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Сравнительный анализ параметров кристаллической решетки неизменного мусковита из раскопа с мусковитами близлежащих месторождений показывает, что по параметру  $b$  и объему  $V$  кристаллической решетки близок к мусковиту месторождения Ена.

Изучение физико-механических характеристик образцов мусковитов из раскопа по разным группам показало изменение физических характеристик, что связано с процессами гипергенного изменения мусковита в археологическом слое (табл. 3).

Сравнительный анализ спектров Рамановского рассеяния проведен на спектрометре Nicolet Almega XR, длина волны излучения 532 нм, мощность излучения 15 мвт.

Сравнивались КР-спектры образца 1 неизменного мусковита и образцов мусковита из ближайших к месту находки месторождений, распо-

Таблица 4. Параметры КР-спектров изученных мусковитов

№ образца на рис.	Название образца, место отбора		Положение центра полосы (max), см <sup>-1</sup>	Ширина на полувысоте	Интенсивность, отн. ед.
1	Образец неизменной слюды-мусковита из раскопа, Кандалакша	Участок 1	264,9	15,8	11,4
			418,2	28,9	5,2
			704,6	17,50	7,8
			758,6	33,26	1,32
			920,6	19,76	1,10
2	Образец неизменной слюды-мусковита из раскопа, Кандалакша	Участок 2	264,9	14,1	10,3
			416,8	31,77	5,10
			705,1	18,8	5,0
			754,75	22,00	1,20
			912,9	16,4	1,3
3	Мусковит месторождения Ена, Кольский п-ов		265,5	14,1	17,3
			409,1	41,45	6,3
			705,5	19,77	8,6
			751,4	27,96	1,46
			910,0	25,50	1,52
4	Мусковит месторождения Хетоламбино, Карелия		266,4	14,60	15,8
			411,9	33,74	5,38
			635,70	21,2	1,42
			705,10	16,60	6,74
			757,16	25,00	1,4
			916,3	33,26	1,64
			959,6	17,35	0,74
			1114,9	74,25	0,97
5	Мусковит месторождения Лопатова Губа, Карелия		2,64,4	12,94	13,6
			411,5	30,8	6,6
			636,1	43,8	1,4
			704,6	16,9	6,6
			753,3	21,7	1,4
			908,5	26,5	1,2
			963,5	20,25	0,52
			1112,5	71	1,06

ложенных в непосредственной близости к береговой линии Белого моря (из коллекции Института геологии КарНЦ РАН): месторождение Ена (Кольский п-ов), и района Пулонгских озер: месторождения Лопатова Губа и Хетоламбино (Северная Карелия). Месторождение Риколатва в качестве места добычи не рассматривалось, так как оно расположено на большем удалении от береговой линии и его слюдоносные пегматиты не имеют выхода на дневную поверхность.

Исследуемый образец неизменной слюды из раскопа для достоверности анализировался в двух точках, что отражено на спектрах 1 и 2.

Спектры комбинационного рассеяния записывались в диапазоне от 0 до 1200 см<sup>-1</sup>. Анализ показал, что КР-спектры слюды из раскопа идентичны, что свидетельствует о низкой дефектности мусковита. При сравнении КР-спектров исследуемого образца неизменной слюды из раскопа со спектрами слюды месторождений Северной Карелии и Кольского п-ова установлено, что на спектрах всех образцов мусковита фиксируются по три сильные полосы: 265 см<sup>-1</sup>, 409–418 см<sup>-1</sup> и 705 см<sup>-1</sup>. На КР-спектрах мусковита из месторождений района Пулонгских озер (Хетоламбино и Лопатова Губа), кроме того, присутствуют 4 слабые полосы 635 см<sup>-1</sup>, 752 см<sup>-1</sup>,

908–910 см<sup>-1</sup> и 954–963,5 см<sup>-1</sup>, отсутствующие в спектрах мусковита из раскопа и более слабые у мусковита месторождения Ена (рис. 2).

После разложения спектров сильных и слабых полос определялось положение (центр), интенсивность (H) и ширина на половине высоты (табл. 4). В низкочастотной области (до 265 см<sup>-1</sup>) полосы относятся к колебаниям решетки и, вероятно, обусловлены присутствием в мусковите воды. Сравнение КР-спектров с максимумом в области 409–418 см<sup>-1</sup> показывает незначительное смещение максимума у мусковита из раскопа (табл. 4).

По полосам колебания октаэдров – 409–411 см<sup>-1</sup> и тетраэдров – 704–705 см<sup>-1</sup> в структуре мусковита исследуемый образец близок к слюде месторождения Ена, так как интенсивности этих полос у мусковита месторождения Ена ближе к исследуемому, чем у месторождений района Пулонгских озер.

Достоверную информацию об условиях образования мусковита несут данные о составе и содержании рассеянных и изоморфных элементов-примесей. Геохимические исследования мусковитов выполнены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в сочетании с лазерной абляцией проб (LA-ICP-MS), методика приведена в работе [Светов и др., 2015].

Таблица 5. Химический состав образцов мусковита. (ррт), полученный методом LA-ICP-MS

Опр.	Элементы																					
	Li	Mg	P	Sc	V	Co	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Zr	Nb	Sn	Cs	Ba	Ta	W	Ti	Pb	
Мусковит месторождения Ена																						
1	339,7	7074	49,5	102,4	25,11	10,55	14,03	61,27	281,5	3,893	718,8	459,8	5,349	87,16	26,19	28,28	11750	10,75	14,95	3,466	73,75	
2	370,7	8132	51,99	110,3	25,39	11,76	10,48	65,39	305	4,659	779	520,3	6,862	96,52	29,25	31,31	13270	11,82	16,18	3,746	78,46	
3	350,6	7750	48,44	102	24,13	11,6	10,04	59,91	298,3	3,925	774,3	503,3	6,56	92,34	28,84	30,67	12670	11,53	15,04	3,516	75,3	
<b>ср</b>	<b>353,7</b>	<b>7652</b>	<b>49,98</b>	<b>104,9</b>	<b>24,88</b>	<b>11,3</b>	<b>11,52</b>	<b>62,19</b>	<b>294,9</b>	<b>4,159</b>	<b>757,4</b>	<b>494,5</b>	<b>6,257</b>	<b>92,01</b>	<b>28,09</b>	<b>30,09</b>	<b>12560</b>	<b>11,37</b>	<b>15,39</b>	<b>3,576</b>	<b>75,84</b>	
Неизменная слюда из раскопа (обр. 1)																						
1	185	6957	86,19	54,34	11,76	18,12	14,81	88,14	257,2	3,936	956,2	91,03	7,131	170,2	35,03	8,84	6755	9,922	13,86	3,899	45,96	
2	195,1	7503	58,6	62,34	11,32	17,54	14,91	89,46	271,5	4,34	1005	94,41	8,04	182,1	28,45	9,626	7314	10,72	14,78	4,086	31,57	
3	173,6	6757	53,47	56,17	11,01	16,8	13,84	86,93	256,2	4,723	920,9	87,02	9,15	166,3	18,49	8,708	6608	10,42	12,81	3,720	25,92	
<b>ср</b>	<b>184,6</b>	<b>7072</b>	<b>66,09</b>	<b>57,62</b>	<b>11,36</b>	<b>17,49</b>	<b>14,52</b>	<b>88,18</b>	<b>261,6</b>	<b>4,333</b>	<b>960,6</b>	<b>90,82</b>	<b>8,107</b>	<b>172,8</b>	<b>27,32</b>	<b>9,058</b>	<b>6893</b>	<b>10,36</b>	<b>13,81</b>	<b>3,902</b>	<b>34,48</b>	
Мусковит месторождения Хетоламино																						
1	827	6349	53,42	69,11	126	4,484	16,03	188,5	744,1	11,11	5273	5,589	19,24	2424	43,39	126,2	151,7	182,9	10,44	21,960	19,54	
2	853,5	6535	47,83	71,71	134,5	5,198	10,76	195,9	776	11,33	5531	5,778	20,22	2538	43,86	129,8	152,2	188,6	10,78	22,730	19,97	
3	855,7	6516	56,06	70,64	132,2	4,729	9,116	194,8	777,9	11,17	5585	5,181	21,83	2543	44,34	128,3	152	188,4	10,97	22,590	20,84	
<b>ср</b>	<b>845,4</b>	<b>6467</b>	<b>52,43</b>	<b>70,49</b>	<b>130,9</b>	<b>4,804</b>	<b>11,97</b>	<b>193,1</b>	<b>766</b>	<b>11,2</b>	<b>5463</b>	<b>5,516</b>	<b>20,43</b>	<b>2502</b>	<b>43,86</b>	<b>128,1</b>	<b>152</b>	<b>186,6</b>	<b>10,73</b>	<b>22,430</b>	<b>20,12</b>	
Мусковит месторождения Лопатова Губа																						
1	243,5	5689	49,0	46,25	10,1	13,27	8,013	83,15	210,4	4,116	803,3	101,1	7,535	133	23,36	9,723	9899	10,14	17,44	3,723	24,77	
2	274,7	6391	48,24	48,25	10,53	13,16	7,135	88,48	237,2	4,308	876,8	109,7	8,376	146,5	24,58	10,82	11250	11,71	18,82	4,366	27,28	
3	275,2	6506	47,88	48,61	10,67	13,21	8,141	93,85	241,7	4,031	924,9	114,2	7,838	149,5	25,88	10,78	11310	12,36	18,84	3,863	27,57	
<b>ср</b>	<b>264,5</b>	<b>6195</b>	<b>48,37</b>	<b>47,7</b>	<b>10,43</b>	<b>13,22</b>	<b>7,763</b>	<b>88,49</b>	<b>229,8</b>	<b>4,152</b>	<b>868,4</b>	<b>108,3</b>	<b>7,916</b>	<b>143</b>	<b>24,6</b>	<b>10,44</b>	<b>10820</b>	<b>11,4</b>	<b>18,37</b>	<b>3,984</b>	<b>26,54</b>	

Для анализа на мусковитах изучаемых объектов были выбраны участки без видимых (визуально и оптически) минеральных включений, пленок вторичных минералов (гидрооксидов, карбонатов) и дефектов кристаллов. Измерения проведены по трем точкам внутри каждого участка.

По данным прецизионного LA-ICP-MS анализа мусковиты из раскопа и близлежащих месторождений Карело-Кольского региона содержат широкий набор элементов-примесей (табл. 5). Отмечаются существенные вариации концентрации отдельных элементов, наиболее значимые отличия в концентрациях выявлены для Li, Sc, Zr, Nb, Rb, Ba, Sr, Cs, Tl, что, несомненно, связано с условиями образования мусковитов.

Анализ геохимического состава неизменной слюды из раскопа (образец 1), слюды месторождений Ена, Хетоламбино и Лопатова Губа показывает, что по содержанию большинства элементов образец 1 близок к образцу слюды Енского месторождения.

## Выводы

Выполненные исследования позволили получить следующие результаты:

1. Установлено, что все изученные образцы слюды из раскопа в церкви по данным РФА относятся к одному типу – мусковиту.

2. Выявленные отличия в цвете образцов и их физико-механических свойств (твердость, хрупкость) обусловлены временными процессами и термообработкой, которая могла произойти как в результате обжига, так и пожара.

3. Результаты сопоставления физико-химических свойств образцов мусковитов (сравнение рамановских спектров, дифрактограмм РФА, РСА, химического состава слюд) позволяют предполагать, с большой долей вероятности, что они были добыты на месторождении Ена на юге Кольского полуострова.

Полученные выводы согласуются с историческими данными. Так, во второй половине XVII века старцы Кандалакшского монастыря «с крестьянами вобще» добывали «немалым промыслом» слюду в горе Орловке, что находится в 40 км к югу от р. Нивы [Ушаков, 1998. С. 48]. При общей известности и многолетнем использовании основные «слюдные места» Северной Карелии были недоступны для кандалакшских иноков, и они были вынуждены искать и осваивать новые месторождения в глубине Кольского п-ова «на матерой земле», но, вероятно, это осуществлялось «неофициально». В путевых заметках 70-х годов

XVIII века есть небольшое упоминание о добыче слюды «лопарями Бабинского погоста на тундрах Кима и Выдселга», но эта информация об участии саамов в горных разработках воспринимается нами очень скептически.

Таким образом, на основе проведенных исследований показано, что регион добычи слюды в позднем Средневековье был более обширен, чем считалось ранее, и включал в себя объекты на Кольском полуострове.

Авторы надеются, что данная статья даст дополнительный импульс для начала стационарных археологических работ по изучению древних мест слюдоразработок на Северо-Западе России, что позволит материализовать сейчас несколько абстрактные объекты промышленной археологии Прибеломорской Карелии и Мурманской области – «слюдяные ямы» и сопутствующие им таежные поселки горняков.

## Литература

*Археология Карелии.* Петрозаводск: Тип. им. П. Ф. Анохина, 1996. 414 с.

Арциховский А. В. Раскопки на Славнее в Новгороде // *Материалы и исследования по археологии СССР.* № 11. Т. 1. М.; Л.: АН СССР, 1949. С. 119–176.

Гинзбург И. И. Слюда в Архангельской губернии // *Природа.* 1916. № 3. С. 349–359.

Гурина Н. Н. История культуры древнего населения Кольского полуострова. СПб.: Петербургское востоковедение, 1997. 240 с.

Дубовик М. М., Либман Э. П. Две жизни чудесного камня. М.: Недра, 1966. 188 с.

Кааран А. К истории торговых сношений Русского Севера с норвежским Финмаркеном // *Море.* 1908. № 2. С. 158–169.

Критский Ю. М. Слюдяной промысел Соловецкого монастыря // *Соловецкий сборник.* Вып. 4. Архангельск: СГМУ, 2007. С. 145–186.

Либман Э. П. Из истории слюдяного промысла в России // *Труды Министерства промышленности строительных материалов СССР.* М.: Промстройиздат, 1954. Вып. 2 (4). 91 с.

Савич А. А. Соловецкая вотчина XV–XVII вв.: опыт изучения хозяйства и социальных отношений на крайнем Русском Севере в Древней Руси. Пермь: Пермпромкомбинат, 1927. 288 с.

Светов С. А., Степанова А. В., Чаженина С. Ю., Светова Е. Н., Михайлова А. И., Рыбникова З. П., Парамонов А. С., Утицина В. Л., Эхова М. В., Колодей В. С. Прецизионный геохимический (ICP-MS, LA-ICP-MS) анализ состава горных пород и минералов раннедокембрийских мафитовых комплексов: методика и оценка точности результатов // *Труды КарНЦ РАН.* 2015. № 7. С. 54–74.

Ушаков И. Ф. На Усть-Ниве реке / *Избранные произведения.* Т. III. Мурманск: Мурманское изд-во, 1998. 356 с.

Шахнович М. М. Древний храм святых Бориса и Глеба на реке Паз: опыт историко-археологического исследования // Север и история: Четвертые Феодоритовские чтения. СПб.: Ладан, 2012. С. 181–215.

Шахнович М. М. Работы в Трифоново-Печенгском монастыре (Мурманская обл.) // Новгород и Новгородская земля. История и археология. В. Новгород: Первый издательско-полиграфический холдинг, 2012. Вып. 26. С. 166–177.

Шумкин В. Я. Проблемы изучения эпохи раннего металла Кольского полуострова // Вопросы истории Европейского Севера. Петрозаводск: ПетрГУ, 1993. С. 151–158.

Шуркин К. А. Слюда и как ее искать в Карелии. Петрозаводск: Гос. изд-во КФССР, 1953. 40 с.

Поступила в редакцию 03.04.2015

## References

*Archeologiya Karelii* [Archeology of Karelia]. Petrozavodsk: Tip. im. P. F. Anokhina, 1996. 414 s.

*Artsikhovskii A. V.* Raskopki na Slavnee v Novgorode [Excavations in Slavnee, Novgorod]. *Materialy i issledovaniya po arkheologii SSSR* [Materials and research on the archaeology of the USSR]. No 11. Vol. 1. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1949. P. 119–176.

*Ginzburg I. I.* Slyuda v Arkhangel'skoi gubernii [Mica in Archangelsk Gubernia]. *Priroda* [Nature]. 1916. No 3. P. 349–359.

*Gurina N. N.* Istoriya kul'tury drevnego naseleniya Kol'skogo poluostrova [The history of the culture of the Kola Peninsula ancient population]. St. Petersburg: Peterburgskoe vostokovedenie, 1997. 240 p.

*Dubovik M. M., Libman E. P.* Dve zhizni chudesnogo kamnya [Two lives of a wonderful rock]. Moscow: Nedra, 1966. 188 p.

*Kaaran A.* K istorii torgovykh snoshenii Russkogo Severa s norvezhskim Finmarkenom [On the history of trade cooperation of the Russian North and Norwegian Finnmarken]. *More* [The sea]. 1908. No 2. P. 158–169.

*Kritskii Yu. M.* Slyudyanoi promysel Solovetskogo monastyrya [Mica production in the Solovetsky monastery]. *Solovetskii sbornik* [Solovetsky collection]. Iss. 4. Arkhangel'sk: SGMU, 2007. P. 145–186.

*Libman E. P.* Iz istorii slyudyanogo promysla v Rossii [The history of mica production in Russia]. *Trudy Ministerstva promyshlennosti stroitel'nykh materialov SSSR* [Proceedings of the Ministry of construction materials industry of the USSR]. Moscow: Promstroizdat, 1954. Iss. 2 (4). 91 p.

*Savich A. A.* Solovetskaya votchina XV–XVII vv.: opyt izucheniya khozyaistva i sotsial'nykh otnoshenii na krainem Russkom Severe v Drevnei Rusi [Solovetsky patrimony in XV–XVII cent.: study of economy and social relations in the Russian Far North of the ancient Rus]. Perm': Permpromkombinat, 1927. 288 p.

*Svetov S. A., Stepanova A. V., Chazhengina S. Yu., Svetova E. N., Mikhailova A. I., Rybnikova Z. P., Paramonov A. S., Utitsina V. L., Ekhova M. V., Kolodei V. S.* Pretsizionnyi geokhimicheskii (ICP-MS, LA-ICP-MS) analiz sostava gornykh porod i mineralov rannedokembriiskikh mafitovykh kompleksov: metodika i otsenka tochnosti rezul'tatov [Precision geochemical (ICP-MS, LA-ICP-MS) analysis of rock and mineral composition: method and accuracy estimation in the case study of the early precambrian mafic complex]. *Trudy KarNTs RAN* [Proceedings of KarRC RAS]. No 7. 2015. P.

*Ushakov I. F.* Na Ust'-Nive reke. Izbrannye proizvedeniya [On the Ust-Neve river]. Vol. III. Murmansk: Murmanskoe izd-vo, 1998. 356 p.

*Shakhnovich M. M.* Drevnii khram svyatykh Borisa i Gleba na reke Paz: opyt istoriko-arkheologicheskogo issledovaniya [The ancient St. Boris and Gleb Cathedral on the Paz river: experience of historico-archaeological studies]. *Sever i istoriya: Chetvertye Feodoritovskie chteniya* [North and history: the 4th Feodorit readings]. St. Petersburg: Ladan, 2012. P. 181–215.

*Shakhnovich M. M.* Raboty v Trifonovo-Pechengskom monastyre (Murmanskaya obl.) [Research work in Trifonov-Pechenga monastery (Murmansk region)]. *Novgorod i Novgorodskaya zemlya. Istoriya i arkheologiya* [Novgorod and Novgorod land. History and Archaeology]. V. Novgorod: Pervyi izdatel'sko-poligraficheskii kholding, 2012. Iss. 26. P. 166–177.

*Shumkin V. Ya.* Problemy izucheniya epokhi rannego metalla Kol'skogo poluostrova [Problems of studying the early metal epoch of the Kola Peninsula]. *Voprosy istorii Evropeiskogo Severa* [Historical problems of the European North]. Petrozavodsk: PetrGU, 1993. P. 151–158.

*Shurkin K. A.* Slyuda i kak ee iskat' v Karelii [Mica and ways to conduct the exploration works in Karelia]. Petrozavodsk: Gos. izd-vo KFSSR, 1953. 40 p.

Received April 03, 2015

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Скамницкая Любовь Степановна

старший научный сотрудник  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: skamnits@krc.karelia.ru

## CONTRIBUTORS:

### Skamnitskaya, Lyubov'

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

**Шахнович Марк Михайлович**

зав. сектором археологии, к. и. н.  
Национальный музей Республики Карелия  
пл. Ленина, 1, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия,  
185003  
эл. почта: marksuk@onego.ru  
тел.: (8142) 782702

**Букчина Ольга Васильевна**

научный сотрудник  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: obukchina@mail.ru

**Shakhnovich, Mark**

National Museum of the Republic of Karelia  
1 Lenin Sq., 185003 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: marksuk@onego.ru

**Bukchina, Olga**

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

УДК 55(09)

## **ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ТУЛМОЗЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ (СЕВЕРНОЕ ПРИЛАДОЖЬЕ)**

**К. В. Шеков<sup>1</sup>, А. Л. Потравнов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт геологии Карельского научного центра РАН*

<sup>2</sup> *Независимый исследователь*

В статье подробно рассматривается богатая история геологических исследований Тулмозерского железорудного месторождения в Карелии в период с 1838 по 1934 годы. В разные годы идея организации на этой территории добычи сырья для металлургической промышленности захватывала как представителей царской фамилии и государственных чиновников, так и частных предпринимателей, готовых инвестировать в производство крупные капиталы. Для изучения и подсчета запасов минеральных ресурсов железной руды на этой территории привлекались известные ученые России и Советского Союза – К. А. Кулибин, И. В. Мушкетов, А. А. Иностранцев, Ю. С. Желубовский и другие. Особенный интерес автора статьи вызывают использованные учеными методы разведочных работ и выводы, сделанные ими на основе своих наблюдений.

На базе документальных источников Российского государственного исторического архива и Национального архива Республики Карелия автором делается вывод о слабой доказательной базе геологов и горных инженеров, которыми готовились предложения о строительстве Тулмозерского завода.

**Ключевые слова:** Тулмозерский завод, железная руда, гематит, геологическая разведка.

### **K. V. Shekov, A. L. Potravnov. THE HISTORY OF GEOLOGICAL STUDIES OF TULMOZERO IRON-ORE DEPOSIT (NORTHERN PRILADOZHJE)**

The article overviews the rich history of geological studies of Tulmozero iron-ore deposit in Karelia from 1838 till 1934. Over the years, the representatives of the tsar's family and state officials, as well as the private entrepreneurs willing to invest in the production were considering organizing the extraction of raw materials for the metallurgical industry on this territory. In order to estimate iron-ore mineral resources on the territory some famous Russian and Soviet scientists, including K. A. Kulibin, I. V. Mushketov, A. A. Inostrantcev, Y. S. Zhelubovsky were invited. The exploration methods used by the scientists and their observation-based conclusions are of special interest.

Based on the documented sources of the Russian State Historical Archives and the National Archives of the Republic of Karelia the author arrives at a conclusion about a poor evidence base of the geologists and mining engineers who suggested the construction of Tulmozero plant.

**Key words:** Tulmozero plant, iron-ore, hematite, geological exploration.

Тулмозерский чугунолитейный завод и находящаяся в его окрестностях система горных выработок представляют уникальный памятник горной промышленности России. Необыкновенную притягательность этому памятнику придают его неоднозначная и крайне противоречивая история, а также ссылки на участие в его судьбе высокопоставленных лиц – Великих князей Николая Николаевича и его сына – Петра Николаевича, министра финансов России, графа Е. Ф. Канкрин, директора Санкт-Петербургского международного коммерческого банка А. Ю. Ротштейна и Председателя Совета Народных Комиссаров Карельской АССР Э. А. Гюллинга. Удивительно, что на временном отрезке в два столетия желающих обследовать этот объект в историческом аспекте оказалось всего несколько человек, в то время как в геологическом отношении он был изучен более подробно. В то же время, в современной литературе, посвященной горной промышленности края, о геологических исследованиях Тулмозерского месторождения можно прочитать в последнюю очередь.

Настоящая статья призвана ликвидировать указанный пробел. История изучения Тулмозерского месторождения здесь рассматривается в связи с историей одного из самых многообещающих промышленных предприятий России конца XIX века.

Первые попытки научного изучения этой территории относятся к 1838 году, когда управляющий Олонецкими горными заводами полковник Р. А. Армстронг направил в Тулмозеро первую геологическую экспедицию в составе офицеров Горного корпуса Комарова и Аннушкина [НАРК. Ф. 37. Оп. 64. Ед. хр. 7/33. Л. 1; Ед. хр. 7/39. Л. 2]. Географические координаты крестьянских разработок железной руды указали жители дер. Колатсельги, которые предлагали «железный блеск»<sup>1</sup> для продажи на Кончезерский чугуноплавильный завод. Однако опытные плавки, проводимые в Петрозаводске в 1839–1840 годах, показали, что по выходу чугуна и расходу топлива Тулмозерский «железный блеск» уступает озерной и болотной рудам. «Надежда, которую имели на удобное получение железа из Колотсельскаго „железного блеска“, на деле не вовсе оправдалась, – отмечал Армстронг в письме российскому министру финансов Е. Ф. Канкрину от 16 февраля 1942 года<sup>2</sup>, – При неоднократных опытах, обра-

ботка этой руды на чугун оказалась очень затруднительна, как одна, так и в смеси с другими рудами... по большому количеству угля, которое при плавке руды требуется, железо стоило очень дорого» [РГИА. Ф. 44. Оп. 2. Ед. хр. 753. Лл. 5–6].

В апреле 1842 года в Ученый Комитет Корпуса горных инженеров в Санкт-Петербурге поступила записка с квалифицированной оценкой физических и химических свойств тулмозерских руд горными инженерами полковником Г. А. Иосса и майором П. И. Евреиновым. Выводы Р. А. Армстронга подвергались сомнению. Лабораторными испытаниями железных руд было выявлено, что все представленные для опытов образцы безводны, в шести номерах руд было обнаружено «присутствие магнитного железняка», образцы не содержали ни серы, ни фосфора, ни мышьяка, а выплавленный чугун демонстрировал прекрасную ковкость и почти не разбивался. Процент содержания окиси железа, однако, сильно колебался.

Полковник Г. А. Иосса выступил с резкой критикой методологии апробирования «железного блеска» на Александровском заводе. Он потребовал прислать в Петербург образцы для проведения собственных исследований и заключил, что гематит нельзя смешивать с озерными и болотными рудами. Для целей плавки гематита, по мнению Г. А. Иосса, требовались печи высотой не менее 19 аршин<sup>3</sup>, наподобие уральских, где плавился магнитный железняк. В завершение записки Иосса указал: «Здесь можно только сказать с достоверностью, что руды действительно хороши и что если месторождение их благонадежно, то грешно бы было ими не пользоваться» [РГИА. Ф. 44. Оп. 2. Ед. хр. 753. Л. 29]. В соответствии с этим выводом, 11 апреля 1842 года Е. Ф. Канкрин распорядился начать разведку Тулмозерского рудопоявления, а в Олонецкой губернии эта задача была поручена все тому же горному инженеру Комарову.

В отчетной записке от 30 июня 1842 года Комаров доложил об обнаружении им трех рудопоявлений «железного блеска»: «на месте, называемом Пюра», в пяти верстах от дер. Колатсельги, в урочище Маниеми, в двух верстах от той же деревни, и в Сонасельге, в полутора километрах от дер. Соны.

Основные породы, слагающие недра в этой местности, известняки, тальковый сланец и диориты, встречающиеся «крутыми уединен-

<sup>1</sup> «Железный блеск» – устаревшее название широко распространенного минерала гематита Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

<sup>2</sup> Пост «Главноуправляющего» корпусом горных инженеров занимал Министр финансов российского правительства. И это не случайно. Берг-коллегия входила в состав Министерства финансов с момента его образования (в 1802 году). Военизированный корпус горных инженеров был образован

в 1834 году. Прямое руководство деятельностью корпуса осуществлял российский министр финансов.

<sup>3</sup> 13,5 м (1 аршин = 71,12 сантиметров).

ными островами». По словам Комарова, известняки представляли собою мощные толщи с падением под углом от 40 до 45°, а на поверхности имеющие «характер невысоких бугров». Искомый минерал – «железный блеск» – был обнаружен именно в известняковой горной породе. По наблюдению Комарова, гематитовая «жила» повторяла направление простирания вмещающей горной породы, а местами падение жилы достигало угла в 75° к горизонту. Между тем, Комаров был обеспокоен, что мощность жил составляет всего несколько вершков<sup>1</sup>, и что на пути жилы часто встречаются прослойки и желваки кварца разного цвета. Исследователь не исключал, что на территории имеются и более перспективные рудопроявления, но осмотренные лично им оценил как безнадёжные. «Исследованное до сих пор месторождение... недовольно даже считать запасом на будущее время рудных заводов материалов, а только приобретением минералогическим» – указал горный инженер в записке [РГИА. Ф. 44. Оп. 2. Ед. хр. 753. Л. 34].

С октября 1843 года разведочные работы в этой местности были прекращены в связи с наступлением зимы, «дабы с наступлением весны можно было продолжать работы, если высшее Начальство прикажет» [РГИА. Ф. 44. Оп. 2. Ед. хр. 753. Л. 45-об.]. В течение дальнейших двадцати пяти лет разведки на территории Тулмозерского рудопроявления не проводились.

Летом 1872 года исследованием местных железных руд занялся профессор металлургии К. А. Кулибин, который к тому времени уже был известен как крупный специалист по золоту. Кулибин расширил информационную базу, собранную при участии Комарова, за счет увеличения числа обнаруженных им рудопроявлений, и уточнил некоторые предположения, высказанные предшественником. В отличие от первых геологических экспедиций, которыми осуществлялось обследование коренных выходов, Кулибин заложил несколько разведочных канав и четыре вертикальные выработки (в Суонансельге, в Рекунсельге, Рогосельге и Магсельге). В первом случае выработка достигла жилы, а в трех других миновала жилу висячем боку.

Кулибин сделал вывод, что Тулмозерское рудопроявление содержит несколько рудных тел секущего характера. Но если вмещающие породы простирались с юго-востока на северо-запад и имели падение к юго-западу, то направление залегания жил «железного блеска» ориентировалось в основном с юга на север. При этом маломощные жилы были отбракова-

ны, а жилы, мощность которых представлялась достаточной для ведения добычи, имели много пережимов и непостоянный процент содержания руды. Так, например, во время проходки вертикальной выработки в Магсельге профессор столкнулся с такой ситуацией, что мощность рудной жилы, которая на поверхности производила впечатление мощной, с глубиной уменьшалась.

Кулибин отметил, что доломит и тальковый сланец насыщены кремнеземом, что способствовало повышению прочности горных пород, но удорожало добычу руды. Местами тальковый сланец «превратился почти в сплошную кремнистую массу» [Кулибин, 1902. С. 332]. Подсчет стоимости погонной сажени<sup>2</sup> подземной горной выработки на разных сельгах показал низкую рентабельность добычи железной руды (стоимость погонной сажени у Кулибина колебалась от 83 рублей 86 ½ копеек до 95 рублей 65 коп.).

Профессор высказал предположение и относительно «запасов». При условии, если среднее содержание руды в квадратной сажени площади жилы будет 363 пуда, то запасы месторождения составят 54 450 000 пудов руды (891 917 т 217 кг 675 г).<sup>3</sup> Однако – подчеркнул он, – даже если потенциал рудопроявления будет недооценен, и объем запасов окажется больше, то «высокая цена Тулмозерской руды делает выгоду проплавки ее на чугун более чем сомнительною...» [Кулибин, 1902. С. 352]. Забегая вперед, отметим, что Кулибин оказался одним из немногих исследователей XIX столетия, чей прогноз о характеристиках Тулмозерского месторождения был обоснован данными, полученными опытным путем.

Согласно Записке о приладожских рудниках гематита, составленной потомственным почетным гражданином купцом первой гильдии А. Ф. Красильниковым и датированной январем 1880 года, в 70-е годы XIX столетия окрестности дер. Колатсельги обследовались геологами и горными инженерами неоднократно. Интерес Красильникова был связан с организацией в этих местах совместного российско-французского предприятия по добыче и переработке железной руды. По его приглашению Тулмозерское рудопроявление посетили профессор Казанского университета Н. А. Головкинский,

<sup>2</sup> 1 сажень – 2,1336 м.

<sup>3</sup> В современных терминах «запасы», подсчет которых осуществляли геологи и горные инженеры XIX века, соответствуют понятию прогнозных ресурсов полезного ископаемого, по категориям P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>. Известно, что разница между объемами прогнозных ресурсов и объемами утвержденных запасов месторождения может достигать десятков и сотен раз.

<sup>1</sup> 1 вершок – 4,4 см.

профессор Горного института И. В. Мушкетов, горные инженеры полковник П. А. Версилов, Христиан и Роберт Таль, и, наконец, окружной горный инженер Олонейской и Архангельской губернии, действительный статский советник М. Н. Хирьяков. Последний был командирован в эту местность в сентябре 1879 года по ходатайству Красильникова для официального государственного освидетельствования «месторождения железных руд» [РГИА. Ф. 58. Оп. 2. Ед. хр. 607. Лл. 33–37-об.].

Любопытно, что о результатах экспедиции Кулибина в записке Красильникова не говорится, хотя его исследования были опубликованы в научной печати. Причина становится вполне очевидной, если учесть тот факт, что большинство из перечисленных Красильниковым экспертов и специалистов дали положительную оценку идее строительства чугунолитейного завода на базе Тулмозерского железорудного сырья.<sup>1</sup> Полковник Версилов, например, по итогам исследований, указал, что «залежи гематита оказались настолько громадными, что не предстоит надобности производить более разведочных работ... Природа тут дала все: стоит только воспользоваться тем, что она так щедро рассыпала на пространстве 20 верст» [РГИА. Ф. 58. Оп. 2. Ед. хр. 607. Л. 33-об.].

По мнению горного инженера Хирьякова, которому помогал в его работе бельгийский инженер Баталь Стратман, объем залежей железной руды Тулмозерского месторождения был даже преуменьшен. Осмотрев и оценив всего девять разведанных рудных тел, и имея в виду наличие еще тридцати одного выхода, где были пройдены шурфы, Хирьяков заключил, что запасы насчитывали не менее 100 миллионов пудов, поскольку более 500 тысяч пудов, по его оценке, уже были выработаны крестьянами. Даже процент содержания железа по всем местопрооявлениям Хирьяков вычислил на основании лабораторных анализов всего двух (!) образцов руды, изъятых им «на рудниках». По причине дефицита времени, осмотр рудопроявлений Хирьяковым был поверхностным, что не помешало ему вынести «твердое и глубокое убеждение», что будущий чугуноделательный завод «может занять одно из видных мест в горнозаводской промышленности России, так как все условия этому вполне благоприятствуют» [РГИА. Ф. 58. Оп. 2. Ед. хр. 607. Лл. 43–43-об.].

<sup>1</sup> Не исключено, что Красильников сам сомневался в радужных результатах исследований, что и заставило его обратиться за официальным освидетельствованием и проверкой.

Приведенные выше положительные заключения экспертов обеспечили высокую стоимость подготовленной Красильниковым проектно-сметной документации на чугунолитейный завод. По крайней мере, Великому князю Николаю Николаевичу старшему – уступка прав аренды земли Тулмозерского месторождения, некоторый объем добытой руды, хозяйственные постройки и полный пакет документации (включая отчеты специалистов) обошлись в 1882 году в 650 тыс. рублей.

Очередной этап геологических исследований Тулмозерского рудопроявления приходится на последнее десятилетие XIX века, когда в этот район были направлены геологи для вынесения окончательного решения о выгодности добычи железной руды. В мае 1896 года Великий Князь Петр Николаевич и директор Санкт-Петербургского коммерческого банка А. Ю. Ротштейн достигли договоренности о том, что если в ходе проведения разведочных работ будут доказаны «запасы» полезного ископаемого не менее 900 млн пудов<sup>2</sup> при содержании железа не менее 50 % и кремния не более 10 %, то банк берет на себя обязательство о покупке 33 500 акций акционерного общества «Сталь» [РГИА. Ф. 626. Оп. 1. Ед. хр. 443. Лл. 31–32-об.].

Летом 1896 года по предложению Великого князя Петра Николаевича эту территорию посетили геологи А. П. Шеповальников [1901] и Р. Гельмгакер. Дополнительно несколько экспертов были командированы со стороны банка.

И Шеповальников, и Гельмгакер согласились в том, что выходы рудных залежей «железного блеска» идут несколькими параллельными свитами и ориентированы с юга на север, пласты руды находятся параллельно друг другу и под наклоном от 35 до 50° к горизонту. Куда именно наклонены и простираются эти пласты железной руды под землей – разными исследователями оценивалось по-разному. Одни считали это простирание правильным и непрерывным, а другие обращали внимание на выклинивание и «высыживание» новых залежей, которые, тем не менее, находятся в рамках одного «пояса» и имеют общее направление. Между тем, самый важный вопрос, который интересовал исследователей – не наносится ли таким строением и конфигурацией железорудных жил ущерб рудоносности всего пояса, и является ли качество руды неизменным на протяжении всего простирания жилы.

<sup>2</sup> 1 млрд 474 млн 243 тыс. 350 кг (1 пуд = 16,3804815 кг). В наши дни к приведенным цифрам следует относиться с осторожностью. По всей видимости, речь велась все же об общем объеме горной массы.

Итоговое обсуждение результатов разведочных работ состоялось на заседании правления акционерного общества «Сталь» 26 августа 1896 года, где выводы профессора горного инженера Гельмгакера были осмыслены с критической точки зрения. Для формирования всестороннего и беспристрастного заключения на заседание были приглашены ученые, которые сами не участвовали в работе экспедиций. Особым пунктом протокола было выделено, что профессор геологии Императорского Санкт-Петербургского Университета А. А. Иностранцев и старший геолог геологической комиссии горный инженер О. Н. Чернышев «как по специальности и общественному положению... так и по предыдущим работам их» – заслуживают полного доверия участников заседания [РГИА. Ф. 58. Оп. 2. Ед. хр. 607. Л. 1-об.]. Указанные специалисты, опираясь лишь на свой опыт, должны были дать ответ, кто из экспертов был более близок к истине.

Было высказано предположение, что глубина простираения пластов рудных жил, с учетом обнаруженных рудопроявлений и расстояний между ними и принятого угла падения жилы, составляет от 1500 до 3000 сажень<sup>1</sup>. Экспертами был достигнут компромисс и в отношении характеристики самой жилы – диалектически объединив две противоположные точки зрения, они заключили, что выклинивание старых и «насиживание» новых залежей происходит одновременно, и, по мере истощения одних жил, развиваются другие. На заседании также было выявлено, что характер залегания руд в промежутке между сельгами, где исследований не проводилось ввиду большой мощности морен, должен быть аналогичным залеганию руды в сельгах. Для того чтобы принять это положение на веру, участникам заседания достаточно было, чтобы это мнение прозвучало из уст геологов Иностранцева и Чернышева.

Если в общих вопросах геологии Тулмозерского местопрооявления специалисты, как правило, были солидарны, то в отношении предполагаемых объемов ресурсов полезного ископаемого пойти навстречу друг другу отказались. Профессор Гельмгакер выдвинул гипотезу о том, что если мощность рудного пласта достигает всего 50 сажень<sup>2</sup>, то суммарно в Тулмозерском местопрооявлении насчитывается 655 млн пудов<sup>3</sup> железной руды, Шеповальников увеличил этот показатель до 860 млн пудов<sup>4</sup>. Эксперт Пискор указал поменьше, всего 541 млн пудов<sup>5</sup>

<sup>1</sup> От 3 200,4 м 40 см до 6 400,8 м (1 сажень – 2,1336 м).

<sup>2</sup> 106,68 м (1 сажень – 2,1336 м).

<sup>3</sup> 10 млн 729 тыс. 215 т 382,5 кг (1 пуд – 16,3804815 кг).

<sup>4</sup> 14 млн 87 тыс. 214 т 90 кг.

<sup>5</sup> 8 млн 861 тыс. 840 т 491,5 кг.

(но в десять раз больше, чем у Кулибина). Однако Пискор посетил не все обнажения руды, и уже десять дней спустя был вызван из командировки обратно. Исходя из предполагаемого большого объема ресурсов и произвольного допущения, что с глубиной качество руды улучшается, вопрос о качественных характеристиках железной руды не обсуждался.

Убедительной выглядела лишь точка зрения горного инженера Чернышева, который отметил, что объем запасов в Кривом Роге изначально был оценен даже в меньших пределах, чем исчисляется в Тулмозерском местопрооявлении. Упоминались на заседании и другие места промышленных разработок «железного блеска» с теми же стартовыми условиями, в частности, на горе Арендаль в Норвегии, в Штальберге (современная Германия) и на «горном озере» в США.

Достигнуть договоренности об объемах запасов железной руды в Тулмозерском месторождении не удалось. Дискуссия продолжилась уже на совещании экспертной комиссии 31 августа 1896 года, где обозначилось две противоположные точки зрения и, соответственно, две группы экспертов, их отстаивающие [РГИА. Ф. 626. Оп. 1. Ед. хр. 443. Л. 9–12-об.]. Специалисты, привлеченные со стороны Санкт-Петербургского международного коммерческого банка, директор Островецких заводов Агте, инженеры Рэ и Корве, – отстаивали версию о сравнительно небольших запасах рудопроявления.

3 сентября 1896 года материалы были переданы на заключение и экспертизу профессору Горного института, действительному статскому советнику горному инженеру И. В. Мушкетову, которому и суждено было поставить точку в этом споре.

Изучив представленные ему отчеты геологов и горных инженеров, профессор отметил, что все выводы «основаны на осмотре естественных обнажений и неглубоких раскопок». Он поддержал замечание экспертов Рэ и Пискора, неудовлетворенных глубиной и детализацией произведенных разведок (Рэ вообще охарактеризовал все расчеты, касающиеся глубинного залегания железных жил, как «гадательные и ложные»). Сам Мушкетов любые оценки объемов запасов руды без бурения на сто метров и прохождения разведочных шахт назвал «только вероятными».

Вместе с тем, утверждать, что у профессора Мушкетова не сложилось своей собственной точки зрения о перспективах Тулмозерского рудопроявления, нельзя. В заключительной части отзыва он напрямую указал, что «сово-

купность всех материалов о месторождениях железных руд в Тулмозерской даче... несомненно свидетельствуют о благонадежности Тулмозерских залежей», но сообщил, что если проблема упирается в определение точных запасов полезного ископаемого, то для этого требуются более основательные исследования. При этом, несмотря на то, что все выводы были сделаны специалистами из поверхностного осмотра рудопроявлений, Мушкетов не удержался от того, чтобы назвать расчеты запасов экспертами Корве и Рэ в 225 млн пудов<sup>1</sup> железного блеска «пессимистическими», а расчеты Гельмгакера и Пискора – «наиболее осторожными». Утверждение о правильном характере рудных пластов и простираии пластов на значительную глубину Мушкетов назвал бесспорными только по той причине, что это констатировалось другими геологами и ни у кого не встречало возражений. Кроме того, он выдвинул еще одну гипотезу – о том, что на южной оконечности сельг, которые по своему географическому положению и в связи с ледниковым разрушением находятся ниже северных краев сельг, обнажаются низшие горизонты рудных жил, которые в северной части залегают на глубине. Однако и эта версия могла бы рассматриваться разве что только условно, поскольку не находила подтверждения эмпирическими данными. Впрочем, будучи озвученной, и она служила дополнительным аргументом в пользу решения о начале промышленной разработки Тулмозерского «железного блеска».

Доподлинно известно, что директор Санкт-Петербургского международного коммерческого банка А. Ю. Ротштейн сомневался в необходимости самостоятельно покупать 33 500 акций акционерного общества «Сталь». Однако после того как он ознакомился с отзывом Мушкетова, было принято взвешенное решение, и банк вошел в состав акционеров.

Разведочные работы продолжались и в период работы Тулмозерского чугунолитейного завода с 1899 по 1902 годы, но носили ограниченный характер. Наиболее активно горнопроходческие работы развивались на трех объектах – Рогосельге, Пираньсельге и Рекусельге [Доклад..., 1897. С. 5]. Основной задачей разведок выступали поиски способов удешевления стоимости добычи «железного блеска» и переработки чугуна, себестоимость которого оказалась вдвое выше ожидаемой.

Новый этап в изучении Тулмозерского месторождения начался в Карелии после окончания Гражданской войны. Идеей восстановления производства чугуна в соседнем с Петрозавод-

ском Пряжинском районе заинтересовался Председатель Совета Народных Комиссаров КАССР Э. А. Гюллинг. На адресованном ему отчете о проведении геологоразведочных работ по Тулмозерскому месторождению железной руды от 10 августа 1929 года Гюллинг собственноручно указал: «Товарищу Архипову. Одобряю выводы... Поручаю товарищу Раутио следить за нормальным ходом всех работ Геолкома и оказать содействие<sup>2</sup>. Считаю необходимым сейчас же добиться определенного решения о начале алмазного бурения этой осенью...» [НАРК. Ф. 690. Оп. 1. Ед. хр. 15/155. Л. 1].

Вопрос о воссоздании базы черной металлургии в Карельской АССР, как приграничной национальной республике, был изначально чрезвычайно политизирован. С одной стороны, это было связано с высокими ожиданиями в отношении перспектив развития металлургических предприятий на Севере и возможностями лоббирования интересов края в высших органах власти. С другой стороны, эксплуатация ресурсов недр неподалеку от Петрозаводска позволяла диверсифицировать риски в отношении снабжения минеральным сырьем предприятий самой столицы Карельской АССР. Экономическая рентабельность Тулмозерского железнорудного завода, на самом деле, интересовала большевиков мало. И сам Э. А. Гюллинг, и в его окружении верили в то, что если плавка чугуна будет запущена, то это позволит одновременно приступить к решению и остальных задач: по обеспечению завода дешевым топливом, транспортом и рабочей силой, по поиску новых железорудных месторождений.

На протяжении нескольких лет Карельский Центральный Совет Народного Хозяйства ходатайствовал перед Геологическим комитетом организации алмазного бурения в Тулмозерском месторождении железной руды. Поисково-исследовательские работы на территории Тулмозерского месторождения были включены в план Геолкома только в 1929 году, уже после того как карельские органы предприняли попытку получить лицензию на геологоразведку. Помощник председателя Правительства Карелии Раутио в письме Э. А. Гюллингу от 14 октября 1929 года выдвинул предположение, что в Ленинграде целенаправленно затягивали решение вопроса о восстановлении Тулмозерского чугуноплавильного завода. Раутио сделал вывод, что за бездействием Геолкома скрывалось стремление поддержать другой проект –

<sup>2</sup> По всей видимости, распоряжение было дано задним числом, поскольку помощник председателя Карельского правительства Раутио до этого момента уже фактически курировал все проводимые в республике геологические исследования, в том числе на Тулмозерском месторождении.

<sup>1</sup> 3 млн 685 тыс. 608 т 337,5 кг (1 пуд – 16,3804815 кг).

разведку Выгозерского рудопроявления, которое находилось неподалеку от Мурманской железной дороги, и поэтому всерьез заинтересовало руководство Промышленно-колониационного Комбината Мурманской железной дороги [НАРК. Ф. Р-690. Оп. 1. Ед. хр. 155. Л. 38–39-об.]. Гюллинг разделял эту обеспокоенность, и, не исключено, что эта подозрительность побуждала его ко все более активным действиям по защите Тулмозерского проекта.

Летом 1929 года в район Колатсельги была направлена партия Геологического комитета. Программа обследований ограничивалась поверхностным осмотром старых горных разработок и апробированием их шурфами. Как призналась Начальник партии Г. С. Дуброва<sup>1</sup>, она была назначена ответственной в самый последний момент, когда ее коллеги уже были распределены по другим экспедициям, на формирование рабочего коллектива экспедиции была выделена всего неделя, а план исследований пришлось корректировать на месте за недостатком рабочей силы. Ограниченность в трудовых ресурсах была обусловлена непосредственной близостью к государственной границе и слабой населенностью территории. В середине 1931 года на работу здесь принимались даже подростки и женщины. Кроме того, большие трудности ведения работ были связаны с заболоченностью и лесистостью местности и большой твердостью горных пород. В одном из писем в Колатсельгу в 1929 году Раутио пошутил: «Товарищ Дуброва, у меня есть одна просьба: не пугайте слишком Ленинградское отделение трудностями условий в Тулмозере, а то затрудняется набор новых работников...» [НАРК. Ф. Р-690. Оп. 1. Ед. хр. 155. Л. 23].

С 17 июня 1929 года и в течение летнего периода было запланировано вскрытие от наносов карьеров Рогосельга, Рекунсельга I и II, Майнсельга, Суонансельга, Ануфриенсельга, Мурдосельга и других. После корректировок планового задания всего было намечено около полутора тысяч проб, которые снимались через каждые семь метров. Образцы дробились на Тулмозерском заводе до размера фракции 25 мм и направлялись в лабораторию Онежского машиностроительного и металлургического завода для определения процента содержания железа. Через каждые десять проб должны бы-

ли производиться анализы на содержание кремнезема, марганца, фосфора и серы. Особый интерес геологической партии вызвали исследования в районе Ойнасосясельги, которые, однако, не были окончены, поскольку с началом осени начались дожди, а оборудование для откачки воды еще не поступило.

Следует отметить, что Дубровой ставились и более общие вопросы о строении этой территории. По собственной инициативе, в целях изучения проблемы зависимости прерывистости рудных пластов от тектонических нарушений поверхности, Дубровой были заложены несколько канав в разрывах между пластами руды [НАРК. Ф. 690. Оп. 1. Ед. хр. 15/155. Л. 1].

При планировании пуска Тулмозерского завода на октябрь 1930 года, в Совнарком КАССР исходили из того, что к началу мая данные разведки и алмазного бурения будут уже утверждены. Когда Дуброва была отозвана из Колатсельги, передавать дела ей оказалось некому. Планы по форсированному восстановлению металлургического завода были перечеркнуты, прежде всего, затяжкой с проведением подсчета запасов железной руды. Начальник следующей Тулмозерской геологоразведочной партии Ю. С. Желубовский не имел еще достаточного практического опыта. На тот момент это был 24-летний молодой человек, только что окончивший геохимическое отделение Ленинградского политехнического института. Свежей в профессиональной среде оставалась память и о сфабрикованном советскими спецслужбами «деле Геолкома», где некорректные оценки промышленного значения месторождений судебными органами были истолкованы как осознанное вредительство. И выбирая «между двух зол», тюремному заключению геологи предпочитали критику за медлительность.

О роли профессиональной подготовки при организации геологических разведок говорил на конференции Ленинградской областной парторганизации в начале 1932 года один из участников карельской делегации И. П. Бабкин: «...прежде чем коснуться этого вопроса (о железе – прим. авт.), нужно остановиться на геологоразведочных работах. Это дело идет некудышно! Научно-профессорские силы окопались в Ленинграде, а там, в Карелии... только что окончившие вуз, прямо со студенческой скамьи молодые специалисты работают с большим энтузиазмом, но нет достаточного руководства ими, нет контроля» [Материалы..., 1932. С. 9]. Несмотря на неоднократные, но безуспешные попытки давления со стороны карельского руково-

<sup>1</sup> Сохранившиеся в фондах Национального архива Республики Карелия отчеты о разведочных работах Тулмозерской геологической партии под руководством Г. С. Дубровой были обязаны тесному контакту и теплым дружеским отношениям, установившимся между Г. С. Дубровой и помощником Председателя Совета Народных Комиссаров Раутио. С Ю. С. Желубовским у правительства Карелии такой контакт просто отсутствовал, и взаимные отношения были достаточно напряженными.

дства – направленные, однако, только на ускорение научных изысканий, а не корректировку их итогов – Главное геолого-разведывательное управление игнорировало пожелания, идущие из Карелии.

В течение 1930–1931 годов было сделано около двух десятков скважин общей продолжительностью до двух километров. Как сообщалось Ленинградским Районным Геолого-Разведочным Управлением, по состоянию на 26 мая 1931 года, объем запасов Тулмозерского месторождения был утвержден в объеме 595 тыс. т по категориям «А» и «В» (действительные и возможные запасы). Указывалось, что «цифры эти в результате работ 1931 года будут увеличены и будут достаточны для восстанавливаемого завода на необходимый амортизационный срок». Вместе с тем, в отчете делалась оговорка, что в связи с незначительными размерами месторождений и необходимостью обогащения руды – «вряд ли будет возможно иметь на месторождении дешевую шахтовую руду» [НАРК. Ф. Р-794. Оп. 2. Ед. хр. 14/118. Л. 162]. Более тысячи тонн руды, добытой в период работы завода на рубеже XIX–XX веков, было обнаружено сложенными в штабелях на рудниках.

29 июня 1931 года во время совещания на Тулмозерском заводе Желубовский признался, что в течение нескольких лет вопрос о прекращении разведочных работ поднимался дважды, но «до выполнения программы буровых работ, неудобно было сдать месторождение». Желубовский допускал, что запасы Тулмозерского месторождения могут составить до 900 тыс. т, а возможно, и больше. В задачи геологической партии входили геологическая съемка в масштабе 1 : 50 000 площади 185 км<sup>2</sup>, разведка рудных залежей и подсчет запасов. Расчеты стоимости добычи руды не входили в задачи геологической партии [НАРК. Ф. Р-794. Оп. 2. Ед. хр. 14/118. Л. 85]. Однако и без таких подсчетов наличие обстоятельств, неизбежно и многократно удорожающих добычу руды, было очевидно.

В Карельских руководящих органах к любым аргументам, которые говорили в пользу развития металлургии в крае, подходили с особой осторожностью. На закрытом совещании под председательством Э. А. Гюллинга 5 мая 1931 года было объявлено о том, что в составе железной руды Тулмозерского месторождения был обнаружен ванадий. Другим таким доводом стала оценка по вопросу организации в Карелии чугуноплавильного производства, сделанная ученым-металлургом, членом-корреспондентом Академии наук СССР

М. А. Павловым.<sup>1</sup> По его мнению, металлургические заводы на Севере целесообразно планировать в роли побочных производств, топливом для которых были бы отходы лесоразделочных заводов. В начале 1932 года Г. С. Локотш опубликовал целую программу, как повысить рентабельность плавки тулмозерского чугуна, и, между прочим, предлагал учесть стоимость простоев цехов Онегзавода, вызванных нехваткой сырья (Онегзавод должен был стать основным потребителем продукции Тулмозерского металлургического завода) [Локотш, 1924]. На заседании Карельского правительства 14 ноября 1932 года Гюллинг буквально допытывался от участников совещания, что необходимо и возможно предпринять, чтобы завод все же был запущен [НАРК. Ф. Р-690. Оп. 3. Ед. хр. 64/529. Л. 322]. К любым доводам «против» – Гюллинг относился скептически.

Целесообразность восстановления завода также ставилась под сомнение и специалистами Всесоюзного государственного института по проектированию предприятий железорудной и марганцевой промышленности «Гипроруда», которыми разрабатывался проект строительства рудников для Тулмозерского месторождения. Несмотря на это, институтом был тщательно подготовлен полный проект оборудования рудного хозяйства будущего предприятия.

Согласно пояснительной записке к расширенному промышленному заданию по разработке Тулмозерских железорудных месторождений, у этого района сложная тектоника. «Породы доломитовой свиты собраны в крупные меридиональные, усложненные складчатостью и сдвигами по другим направлениям. Вершины складок разрушены и во многих местах к ним приурочены месторождения железных руд» [НАРК. Ф. Р-690. Оп. 3. Ед. хр. 64/529. Л. 12]. Эти обстоятельства откладывали свой отпечаток на условия залегания пластов рудных жил, углы падения которых могли достигать 90 градусов к горизонту. Указывалось, что сами рудные жилы изогнуты и собраны в складки, и амплитуда таких складок измеряется в пределах нескольких метров. В южной части Тулмозерского месторождения преимущественно отмечалось западное падение жил, а в северо-

<sup>1</sup> Суть его предложения сводилась к тому, чтобы включить добычу руды и изготовление железного полуфабриката в единый производственный комплекс с лесохозяйственными и деревообрабатывающими предприятиями. «Если иметь лишь ту цель, которой задавались прежде, – получить несколько лишних миллионов пудов чугуна, – то, разумеется, проще, дешевле и скорее эта цель может быть осуществлена постройкой коксовых доменных печей на Юге России», – отмечал Павлов. [НАРК. Ф. Р-794. Оп. 1. Ед. хр. 10/120. Л. 68-об.]

западной окраине считалось, что они ориентированы на восток; некоторые жилы имели углы падения, направленные в прямо противоположные стороны. По экспертному заключению Желубовского, «вся эта сложная интенсивная складчатость доломитовой свиты получилась благодаря сильному и разностороннему давлению». Геолог предположил, что месторождение было образовано путем перекристаллизации и восстановления древних руд, образовавшихся одновременно с доломитами [НАРК. Ф. Р-690. Оп. 3. Ед. хр. 64/529. Л. 14].

Во второй половине XX века исследования этой территории проводились научными сотрудниками Института геологии Карельского филиала Академии наук СССР В. Я. Горьковцом и М. Б. Раевской [Горьковец, Раевская, 2000. С. 48]. Последние работы характеризуются большей глубиной анализа и более высокой детализацией. Эти работы подводили итоги многолетнему изучению Тулмозерского месторождения и уточняли отдельные научные факты, приводя их в соответствие с современным уровнем развития научного знания. Сложный характер расположения рудных жил в Тулмозерском месторождении объясняется пограничным положением подстилающих древних гранито-гнейсов и более молодых пород доломитовой свиты, переслаивающихся со сланцами, кварцитами и песчаниками. Вопрос о генезисе месторождения, между тем, до сих пор остается не до конца изученным.

Сегодня территория Тулмозерского чугуноплавильного завода и прилегающих к нему горных разработок представляет собой яркий образец успешно сохранившегося памятника горно-индустриального наследия Карелии. По международному проекту «Дорога горных промыслов» на этом месте разбит популярный туристический объект – Рудный парк «Тулмозерье». Перспективным направлением для развития парка может стать разработка геологами и историками-краеоведами экскурсионных маршрутов по

местам горных выработок Тулмозерского месторождения железного блеска.

*Исследование осуществлялось в рамках реализации комплекса мероприятий Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 годы.*

## Литература

Горьковец В. Я., Раевская М. Б. Маршрут 1. Тулмозерское железорудное месторождение – исторический горнозаводской памятник // История геологических исследований и горного дела в Карелии. Перспективы на будущее. Карело-финляндские связи: путеводитель Междунар. конф., посвященной 300-летию учреждения Приказа рудокопных дел России и 80-летию Республики Карелия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. С. 4–31.

Доклад правления обыкновенному общему собранию акционеров Высочайше утвержденного акционерного общества «Сталь». 29 ноября 1897 г. СПб.: Типо-литография А. Э. Винеке, 1897. 12 с.

Кулибин К. О месторождениях железных руд в крестьянском наделе Тулмозерской дачи Олонецкой губернии Олонецкого уезда // Горный журнал. 1902. № 1. С. 324–352.

Локотош Г. Ближайшие перспективы металлургии в Карелии // Советская Карелия: ежемесячный политико-экономический журнал. 1932. № 1–2. С. 68–72.

Макарихин В. В., Медведев П. В., Рычаник Д. В. Геологические памятники природы Карелии. Петрозаводск: Карелия, 2007. С. 192.

Материалы 2-й областной ленинградской партконференции // Карело-мурманский край. 1932. № 1–2. С. 2–10.

Национальный архив Республики Карелия (в тексте – НАРК).

Потравнов А. Л., Хмельник Т. Ю., Грибушин А. И. Тулмозерский железодобывательный завод // Дорога горных промыслов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. С. 315–325.

Российский государственный исторический архив (в тексте – РГИА).

Шеповальников А. Материалы к изучению рудных месторождений Тулмозерской дачи Олонецкой губернии // Горный журнал. 1901. Т. 1. С. 325–341.

*Поступила в редакцию 21.04.2015*

## References

Gor'kovets V. Ya., Raevskaya M. B. Marshrut 1. Tulmozerskoe zhelezorudnoe mestorozhdenie – istoricheskii gornozavodskoi pamyatnik [Route 1. Tulmozero iron ore deposit – historical mining monument]. Istoriya geologicheskikh issledovaniy i gornogo dela v Karelii. Perspektivy na budushchee. Karelo-finlyandskie svyazi: putevoditel' mezhdunarodnoi konferentsii, posvyashchennoi 300-letiyu uchrezhdeniya Prikaza rudokopnykh del Rossii i 80-letiyu Respubliki Kareliya

[History of geological surveys and mining in Karelia. Prospects for the future. Karelian-Finnish cooperation: field guide for the international conference for the 300th anniversary of the Mining Department of Russia and 80th anniversary of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2000. P. 4–31.

Doklad pravleniya obyknovennomu obshchemu sobraniyu aktsionerov Vysochaishe utverzhdenного aktsionernogo Obshchestva «Stal'». 29 noyabrya 1897 g.

[The report of the board to the general meeting of the shareholders of the Royally chartered joint-stock company "Steel". Nov. 29, 1897]. St. Petersburg: Tipolitografiya A. E. Vineke, 1897. 12 p.

*Kulibin K.* O mestorozhdeniyakh zheleznykh rud v krest'yanskom nadele Tulomozerskoi dachi Olonetskoi gubernii Olonetskogo uezda [About iron ore deposits in the peasant holding of Tulmozero Dacha of Olonets Gubernia, Olonets Uyezd]. *Gornyi zhurnal [Mining Journal]*. 1902. No 1. P. 324–352.

*Lokotosh G.* Blizhaishie perspektivy metallurgii v Karelii [Short-term outlook of Karelian metallurgy]. *Sovetskaya Kareliya: ezhemesyachnyi politiko-ekonomicheskii zhurnal [Soviet Karelia: monthly political-economic journal]*. 1932. No 1–2. P. 68–72.

*Makarikhin V. V., Medvedev P. V., Rychanik D. V.* Geologicheskie pamyatniki prirody Karelii [Geological natural monuments of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 2007. P. 192.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Шеков Кирилл Витальевич**

научный сотрудник  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: shake-off@yandex.ru  
тел.: 89214637719

### **Потравнов Александр Леонидович**

независимый исследователь  
эл. почта: canonir7@gmail.com  
тел.: 89219738125

*Materialy 2-i oblastnoi leningradskoi partkonferentsii* [Proceedings of the 2nd Leningrad regional party conference]. *Karelo-murmanskii krai [Karelian-Murmansk region]*. 1932. No 1–2. P. 2–10.

*Natsional'nyi arkhiv Respubliki Kareliya* (in the text – NARK) [National Archive of the Republic of Karelia].

*Potravnov A. L., Khmel'nik T. Yu., Gribushin A. I.* Tulmозerskii zhelezodelatel'nyi zavod [Tulmozero ironworks]. *Doroga gornykh promyslov [Mining road]*. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2014. P. 315–325.

*Rossiiskii gosudarstvennyi istoricheskii arkhiv* (in the text – RSHA) [Russian State Historical Archive].

*ShepovaI'nikov A.* Materialy k izucheniyu rudnykh mestorozhdenii Tulomozerskoi dachi Olonetskoi gubernii [Materials to the study of ore deposits of Tulmozero Dacha, Olonets Gubernia]. *Gornyi zhurnal [Mining Journal]*. 1901. Vol. 1. P. 325–341.

Received April 21, 2015

## CONTRIBUTORS:

### **Shekov, Kirill**

Institute of Geology, Karelian Research Center,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia,  
e-mail: shake-off@yandex.ru  
tel.: 89214637719

### **Potravnov, Alexandr**

Independent researcher  
e-mail: canonir7@gmail.com  
tel.: 89219738125

## ХРОНИКА

### **Международная научная конференция «Докембрийские высокометаморфические подвижные пояса» (Precambrian high-grade mobile belts)**

С 17 по 19 июня в Петрозаводске состоялась Международная научная конференция «Докембрийские высокометаморфические подвижные пояса» (Precambrian high-grade mobile belts) – РМВ-2014. Конференция была организована ИГ КарНЦ РАН (председатель оргкомитета – В. В. Щипцов; сопредседатели – А. И. Слабунов и А. Крёнер) при поддержке Научного Совета по докембрию Отделения наук о Земле РАН совместно с Геологическим институтом РАН (Москва), Геологическим институтом Кольского НЦ РАН (Апатиты), Институтом геологии и геохронологии докембрия РАН (Санкт-Петербург) и Геологической службой Финляндии, а также ученых – членов Организационного комитета из США, Германии, Китая, ЮАР, Финляндии и Великобритании. Рабочим языком конференции был английский. В конференции приняли участие более 60 ученых из России, Китая, ЮАР, США, Эстонии, Индонезии, которые представили 28 устных и 12 стендовых докладов. Наряду с выступлениями именитых ученых старшего поколения, таких как чл.-корр. РАН В. А. Глебовицкий, проф. Н. А. Божко, д. г.-м. н. В. В. Щипцов, д. г.-м. н. В. А. Шарков, д. г.-м. н. О. И. Володичев, проф. М. Браун и др., среди докладчиков было заметное число молодых ученых и аспирантов.

Докембрийские высокометаморфические подвижные пояса (ДВПП), известные в русскоязычной литературе так же как гранулитовые, пояса тектоно-термальной переработки, зоны диасхизиса, являются, наряду с архейскими кратонами, главными структурами ранней континентальной земной коры и крайне важны для анализа геодинамических процессов. Главные вопросы, которые обсуждались на конференции, были связаны с особенностями геодинамики раннего докембрия в целом и эволюцией докембрийских подвижных поясов; с ролью эклогитсодержащих комплексов в раннедокембрийских структурах и их минерагением; с проблемами геохронологических исследований полиметаморфических комплексов. Находки архейских эклогитов (возможно с алмазами), в частности, дают основание рассматривать субдукционные процессы как реальность.

Важной составляющей конференции была научная экскурсия «Архейские и палеопротерозойские эклогитовые комплексы Беломорской провинции (20–23 июня). В ходе экскурсии участники посетили объекты в районе д. Гридино, п. Чупа, карьера Куру-Ваара и оз. Имандра. Экскурсия состоялась благодаря слаженной работе сотрудников ИГ КарНЦ РАН (А. И. Слабунов), ГИ КНЦ РАН (В. В. Балаганский), ГИН РАН (А. А. Щипанский, А. К. Конилов) и ИГГД РАН (П. Я. Азимов).



Фото 1. 17 июня 10.00: открытие конференции в конференц-зале КарНЦ РАН. На переднем плане д. г.-м. н. О. И. Володичев и чл.-корр. РАН В. А. Глебовицкий



Фото 2. Ключевой докладчик проф. М. Браун (США) представляет заказную лекцию «Тренд изменения метаморфизма в докембрии: что это означает для геодинамики»



Фото 3. Обсуждение на о. Столбиха (слева направо: М. Браун, А. А. Щипанский, В. В. Балаганский, П. Я. Азимов)



Фото 4. Участники научной экскурсии в карьере Куру-Ваара

*А. И. Слабунов*

## Геологическое и горно-индустриальное наследие Карелии и Финляндии. Проект Программы приграничного сотрудничества ENPI CBC “KARELIA” КА 334 “Mining Road”

20 декабря 2014 года завершился международный проект «Mining Road» (2012–2014), ставший значительным этапом в деятельности Института геологии Карельского научного центра РАН. Помимо ИГ КарНЦ РАН, который выступал в проекте в качестве ведущего партнера и осуществлял финансово-организационные мероприятия, в нем приняли участие Геологическая служба Финляндии (офис в г. Куопио), Музей горного дела г. Оутокумпу (Финляндия), Национальный музей Республики Карелия, Министерство образования Республики Карелия, администрация Пряжинского муниципального национального района и двенадцать ассоциативных партнеров в лице администраций коммун и туристских организаций. Общий объем финансирования в размере 800 тыс. евро предполагал огромный масштаб работ по проекту.

Основная идея проекта предполагала за счет создания единого специализированного туристского маршрута историко-геологического и экологического направления, попытки объединения уже имеющихся объектов геологии, горного дела, индустриальной истории и дополнения их новыми, ранее практически не используемыми. Эти идеи обсуждались на первом семинаре проекта, который состоялся в мае 2012 года в г. Оутокумпу (Финляндия).

Базовыми объектами туристского интереса предполагалось использовать: в России – Музей геологии докембрия ИГ КарНЦ РАН, Национальный музей РК, Тулмозерский железоделательный завод и само Тулмозерье (природное окружение села, история горного производства), месторождения гранатов Приладожья, г. Сортавала (экскурсии «Песни приладожских



Фото 1. Основной состав участников проекта на семинаре в г. Оутокумпу



Фото 2. Объекты проекта «Mining Road»



Фото 3. Экспозиция в этнокультурном центре «Elama»

недр», архитектура), Горный парк «Рускеала» – памятник истории горного дела; и в Финляндии: Мёхкё как памятники железорудного дела, Музей Горного дела г. Оутокумпу, Центр Камня в д. Нуннанлахти и другие объекты, предложенные Геологической службой Финляндии.

По структуре проект предполагал подготовку, обустройство и детальное описание выбранных объектов, разработку маршрутов для проведения экскурсий, создание новых информационных материалов. Первым объектом стала экспозиция, подготовленная сотрудниками



Фото 4. Тоннель в Музее горного дела г. Оутокумпу



Фото 5. Взгляд на фрагмент Рудного парка «Тулмозерье» с высоты птичьего полета

ИГ КарНЦ РАН совместно с Национальным музеем Республики Карелия на территории этнокультурного центра «Elama» в п. Пряжа. Объект оказался своеобразным порталом в историю горных промыслов Пряжинского района.

Значительным объектом проекта стали новые экспозиционные площадки в Музее Горного дела г. Оутокумпу, где был пройден дополнительный тоннель и размещена минералогическая выставка.

На территории Карелии вблизи д. Колатсельги был сформирован один из крупнейших объектов – Рудный парк «Тулмозерье».

На открытие парка собралось более 600 человек, и это было серьезным испытанием для небольшой площадки.

Особую роль в работе проекта сыграл Республиканский центр детско-юношеского туризма Министерства образования Республики Карелия.

В течение трех лет более 120 карельских школьников и студентов ПетрГУ принимали участие в работе молодежной экспедиции «Mining Road» на территории парка. За это время состав участников сменился не более чем на 20 %, что позволило в дальнейшем сформировать



Фото 6. Открытие Рудного парка «Тулмозерье»



Фото 7. Лагерь экспедиции «Mining Road» на берегу р. Колос

ровать группу из 32 энтузиастов-экскурсоводов, подготовленных в рамках проекта для работы на объектах, и прежде всего в Рудном парке «Тулмозерье».

Обмен мнениями, передача знаний – необходимые аспекты в работе большого коллектива. Для этой цели были организованы обучающие семинары и встречи – в г. Оутокумпу, г. Петрозаводске, местечке Пажала, г. Сортавале.

Обучающий семинар в Сортавале собрал около 100 человек. Здесь были представлены результаты работы – книга «Дорога горных промыслов», которая позднее была выпущена и на английском языке как пособие для экскурсоводов при организации туристских маршрутов по объектам и маршрутам данного проекта.

Важную роль сыграли новые информационные технологии, благодаря которым удалось создать ряд виртуальных экскурсий по



Фото 8. Экскурсовод в Рудном парке «Тулмозерье»



Фото 9. Участники обучающего семинара в г. Сортавале

объектам, показать наиболее привлекательные места маршрута. Использование геопривязанной информации позволило создать серию GPS-экскурсий от одного объекта к другому.

Логическим завершением работы стала пилотная полномасштабная четырехдневная экскурсия для туристических компаний и участников проекта по маршруту «Mining Road». Около 50 человек смогли оценить усилия команды

проекта в разработке маршрута и увидеть подготовленные объекты.

Невозможно рассказать сколь угодно коротко о маршруте, расчетная продолжительность которого составляет около 10 дней, так же как и обо всех событиях проекта, но более полную информацию можно найти на сайте <http://miningroads.ru>

Следует подчеркнуть, что результаты этой работы показали высокую актуальность ис-



Фото 10. Участники экскурсии на кварцитовой горе парка «Коли» (Финляндия)

пользования геологического и горно-индустриального наследия в качестве ресурсов туристской индустрии и привели к созданию нового направления в ИГ КарНЦ РАН и Институте физкультуры, спорта и туризма ПетрГУ. Создание подобных объектов, их информационное обеспечение наряду с мероприятиями по привлечению туристов будут способствовать развитию туризма в Карелии и Финляндии и оказывать существенное влияние на их экономику. Идея создания проекта принадле-

жит В. А. Шекову, который в дальнейшем был его руководителем, и А. И. Грибушину. Поддержанная на начальном этапе Национальным музеем РК, Министерством образования РК, Комитетом по туризму Республики Карелия идея воплотилась в жизнь. Участники полагают, что это первый шаг на пути сохранения и освоения геологического и горно-индустриального наследия Республики Карелия и прилегающих территорий.

*В. А. Шеков*

## ЮБИЛЕИ И ДАТЫ

### 100 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ЧЛ.-КОРР. АН СССР КАУКО ОТТОВИЧА КРАТЦА (1914–1983)



**Кауко Оттович Кратц**, заслуженный деятель науки Карельской АССР, лауреат Государственной премии СССР, лауреат премии АН СССР имени А. П. Карпинского, кавалер двух орденов Трудового Красного Знамени, член-корреспондент АН СССР, доктор геолого-минералогических наук, родился 16 июня 1914 года в семье рабочего-плотника в Садбери (Канада). Родители Кауко Оттовича эмигрировали из Финляндии в Канаду в 1906 году. В городе Садбери он окончил горно-техническое училище, а в

1932 году его отец Отто Эрикович Кратц и мать Хилья Эмильевна Кратц переехали с детьми в СССР, в Петрозаводск. Вскоре после переезда, в январе 1933 года было получено гражданство СССР. В 1934 году Кауко Оттович поступил учиться на геолого-почвенно-географический факультет Ленинградского государственного университета, который окончил в 1939 году по специальности «геохимия».

Диплом с отличием дал возможность Кауко Кратцу выбирать место работы. Он выбрал Ленинградский геологический трест и был направлен по его просьбе на Кольский полуостров. В 1939–1941 годах Кауко Оттович, уже геологом, начальником партии Ленинградского геологического треста, проводил геолого-съёмочные и поисковые работы в Кейвской структуре Кольского полуострова. Далее – военные годы, работа в Сибгеолнерудтресте, затем – Центральная научно-исследовательская лаборатория геологии НКПСМ в Москве. В 1946 году он переехал в Петрозаводск и был принят на должность младшего научного сотрудника в сектор геологии Карело-Финской научно-исследовательской базы АН СССР. В этом же году Кауко Оттович поступил в аспирантуру, которую окончил в 1949 году по кафедре петрографии Ленинградского госуниверситета, и в 1950 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Иотнийские диабазовые интрузии Карелии и их железорудное оруденение». Весной 1962 года защитил докторскую диссертацию в ЛГУ на тему «Геология карелид Карелии», а с 1962 по 1966 годы был директором Петрозаводского института геологии. К. О. Кратц с присущим ему умением довел до завершения стадию становления ЛАГЕД АН СССР, и уже в

1967 году она получила новый статус – Институт геологии и геохронологии докембрия АН СССР (ИГГД АН СССР), а Кауко Оттович стал его директором. В 1968 году он избирается членом-корреспондентом АН СССР по специальности «минералогия и петрография». С 1966 года до последних дней занимал пост директора Института геологии и геохронологии АН СССР в Ленинграде.

В Карельском филиале вел тематические исследования: с 1946 по 1949 годы – по геологии и петрологии основных пород южной Карелии, а с 1948 по 1957 годы – по стратиграфии и тектонике протерозоя Карелии. Определенный период руководил отделом региональной геологии. Параллельно с 1949 по 1958 годы в Петрозаводском государственном университете в качестве старшего преподавателя читал курсы по общей петрографии, физико-химическим основам петрографии, структурной геологии и учению о геологических формациях. Под его редакцией большим коллективом геологов Северо-Западного геологического управления, а также Карельского и Кольского филиалов АН СССР и некоторых других организаций создается Геологическая карта Карело-Кольского региона масштаба 1 : 1000 000. Схема стратиграфии докембрия, предложенная им, легла в основу этой государственной геологической карты и карт других масштабов, послужила канвой для составления Карельского тома издания «Геология СССР», редактором и основным автором которого он стал. Он также являлся главным редактором государственных геологических карт Карело-Кольской серии масштаба 1 : 200 000.

Кауко Оттович становится одним из ведущих специалистов по геологии докембрия СССР. В шестидесятые годы он являлся членом международного коллектива исследователей под руководством А. А. Богданова, составившего первую тектоническую карту Европы (1962). С этого времени идеи К. О. Кратца во многом направляли разработки советской геологической науки в области докембрия. Он был инициатором, руководителем и непосредственным исполнителем большинства коллективных исследований ИГГД АН СССР, в том числе и межведомственного характера. Появляются целые серии работ, посвященные глубинному строению СССР, принципам стратиграфии и геолого-геохронологического расчленения и корреляции нижнего и верхнего докембрия, задачам и методам радиологического анализа докембрийских образований и процессов, специфическим особенностям раннедокембрий-

ских процессов тектогенеза, магматизма, метаморфизма, рудогенеза, методологическим аспектам древнейшей геологии.

На протяжении девяти лет Кауко Кратц был сопредседателем советско-финляндской рабочей группы по научно-техническому сотрудничеству в области геологии. Первое заседание группы состоялось в 1972 году.

В 1982 году Президиум АН СССР присудил К. О. Кратцу премию имени А. П. Карпинского за серию работ по теме «Докембрийская земная кора материков, ее становление и эволюция». В 1985 году в составе коллектива К. О. Кратц был награжден (посмертно) Государственной премией СССР в области науки и техники за вклад в освоение Костомукшского железорудного месторождения. В 1989 году опубликованы его избранные труды «Геология и геохронология докембрия» как свидетельство созданной научной школы геологов-докембристов.

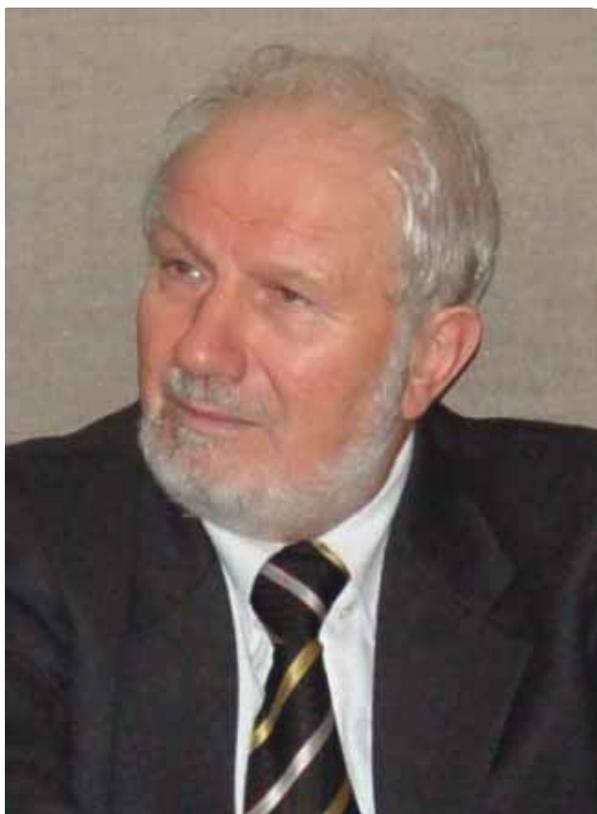
Традиционно начиная с 1985 года проводятся конференции молодых ученых, посвященные памяти выдающегося ученого-геолога, чл.-корр. АН СССР Кауко Оттовича Кратца (в Санкт-Петербурге, Петрозаводске, Апатитах). В них участвуют молодые сотрудники академических геологических институтов, вузов, производственных организаций из многих регионов России. Последняя, XXV конференция проходила в Санкт-Петербурге в октябре прошлого года.

В 2004 году на здании Института геологии Карельского научного центра РАН в Петрозаводске в торжественной обстановке была установлена мемориальная доска К. О. Кратцу. Похоронен К. Кратц на Сулажгорском кладбище в г. Петрозаводске.

В 2014 году в Институте геологии КарНЦ РАН прошел ряд мероприятий, посвященных памяти нашего учителя и друга Кауко Оттовича Кратца. На заседании в канун Дня геолога был сделан доклад-презентация к 100-летию со дня рождения К. О. Кратца (докладчик В. В. Щипцов). С воспоминаниями выступили В. С. Куликов, О. И. Володичев, В. И. Кевлич, В. Н. Кожевников. Выпуск № 17 «Геология и полезные ископаемые Карелии» посвящен К. Кратцу. 15 молодых сотрудников института и я присутствовали на открытии мемориальной доски в ИГГД РАН. Памяти К. Кратца посвящена статья «О К. О. Кратце и К. О. Кратц о себе («Геология и полезные ископаемые Карелии»). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. Авторы – Ф. П. Митрофанов и В. В. Щипцов).

*В. В. Щипцов*

## ВЯЧЕСЛАВ СТЕПАНОВИЧ КУЛИКОВ (к 75-летию со дня рождения)



Главному научному сотруднику, доктору геолого-минералогических наук, заслуженному деятелю науки РФ и РК, чл.-корр. РАЕН, кавалеру ордена Почета, члену редакционной коллегии серии «Геология докембрия» журнала «Труды Карельского научного центра РАН» Куликову Вячеславу Степановичу исполнилось 75 лет. А кроме того – 50 лет с момента начала его научной, научно-организационной, педагогической и общественной деятельности.

В. С. Куликов родился 17 марта 1939 года в г. Торжке Калининской обл. В 1962 году он окончил Ленинградский горный институт и с этого момента работает в Институте геологии Карельского филиала АН СССР (ныне Карельский научный центр РАН). Обучался в очной аспирантуре института. В 1970 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Базальтовый комплекс кряжа Ветреный Пояс (геология, петрология, петрохимия)», а в 1991 году докторскую диссер-

тацию на тему «Высокомагнезиальный магматизм докембрия Балтийского щита». Прошел путь от старшего лаборанта, младшего научного сотрудника, ученого секретаря института (1972–1977 годы) до зам. директора по научной работе, зав. лабораторией геохимии (1977–1987 годы), зам. председателя Президиума КарНЦ РАН (1988–2006 годы); ныне Вячеслав Степанович – главный научный сотрудник.

Его научные интересы связаны с проблемами геологии, стратиграфии, тектоники, петрологии и геохимии докембрия. Он стал признанным ученым в России и за рубежом. На основе геолого-петрологического изучения мафит-ультрамафитовых комплексов крупной магматической провинции сумия (2,5–2,4 млрд лет) и анализа пяти сейсмогеологических разрезов дана новая интерпретация строения литосферы ЮВ Фенноскандии, где на глубине 30–40 км выделен корово-мантийный слой ( $V_p = 7,1–7,7$  км/с), который впервые рассматривается в качестве реликта мантийного плюма «Виндибелт», ответственного за формирование вулканоплутонических комплексов из контаминированного высокомагнезиального расплава.

Предложена новая классификационная схема для вулканитов ультраосновного ряда трех семейств: коматиитового, меймечит-пикритового и марианит-бонинитового. В новом варианте классификации выделено 7 обоснованных групп высокомагнезиальных (более 18 % MgO) вулканитов: в семействе коматиитовом – две группы (коматиитовые перидотит-дуниты и коматииты), в меймечит-пикритовом – четыре группы (меймечит, пикрит, ферропикрит и низкотитанистый пикрит) и в марианит-бонинитовом – одна группа (марианит). Даны предложения с соответствующими обоснованиями в Межведомственный Петрографический комитет России о внесении изменений в «Петрографический кодекс России», касающиеся классификации мафит-ультрамафитовых высокомагнезиальных вулканитов нормальной щелочности.

На основе новейших геолого-геофизических данных и усовершенствованной региональной стратиграфической схемы составлена

новая «Обзорная геологическая карта Онежской структуры со снятым неопротерозойско-фанерозойским чехлом» масштаба 1 : 750 000 (редактор В. С. Куликов). Карта и разрезы отражают пространственное положение магматитов четырех крупных магматических провинций палеопротерозоя. В геологическом строении Онежской структуры выделено четыре структурных этажа: 1 – архейский фундамент, 2 – сумийско-сариолийский «рифтовый пояс», 3 – ятулийско-вепсийский протоплатформенный чехол с двумя подэтажами (ятулийско-калевийский Северо-Онежский синклинорий и вепсийская Южно-Онежская мульда), 4 – вендско-фанерозойский платформенный чехол. В период свекофеннской складчатости и деформаций (1,85–1,75 млрд лет) территория Онежской структуры подверглась существенной структурной и вещественной перестройке.

В 1996 году В. С. 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 году им выявлена природная (водная) граница Фенноскандии и Русской равнины и оформлено место пересечения с водоразделом Атлантики и Арктики и рекомендовано установить Памятный знак.

На основе комплексного анализа различных природных циклов обосновывается необходимость введения единицы шкалы геологического времени – стандартного галактического года (СГГ) продолжительностью 215 млн лет, что позволяет совершенствовать международную и российскую хроностратиграфические шкалы, прежде всего для докембрия. Дана характеристика каждого из выделенных 22 СГГ.

К главным научным трудам относятся коллективные монографии: Слюсарев В. Д., Куликов В. С. Геохимическая эволюция базит-ультрабазитового магматизма протерозоя (юго-

восток Балтийского щита). Л.: Наука, 1973. 104 с.; Вулканизм архейских зеленокаменных поясов Карелии // С. И. Рыбаков, В. С. Куликов и др. Л.: Наука, 1982. 152 с.; Геология Карелии // кол. авторов. Л.: Наука, 1987. 231 с.; Коматииты и высокомагнезиальные вулканы докембрия Балтийского щита // В. С. Куликов и др. / Ред. О. А. Богатиков. Л.: Наука, 1988. 192 с. (первая в России обобщающая работа по высокомагнезиальным вулканитам докембрия Балтийского щита); Суйсарский пикрит-базальтовый комплекс палеопротерозоя Карелии (опорный разрез и петрология) // В. С. Куликов и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 96 с.; История Земли в галактических и солнечных циклах // В. В. Куликова, В. С. Куликов, Я. В. Бычкова, А. Ю. Бычков. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 250 с. (применен нетрадиционный подход к периодизации истории планеты); Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерогения) // Кол. авторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.; Slabunov A. (Ed.). Pervunina A., Sviridenko L., Lubnina N., Medvedev P., Svetov S., Kulikov V., Kulikova V., Slabunov A., Sibelev O., Korol N., Volodichev O. Rodinia-2013: Supercontinental Cycles and Geodynamics (Early Precambrian of the Russian Karelia). Excursion Guide. 2013. Petrozavodsk; Moscow. 51 p.

В. С. Куликов стоял у истоков создания рабочей группы по научно-техническому сотрудничеству между Финляндией и СССР в области геологии, был членом (ответственным секретарем) рабочей группы по математическим и естественным наукам российско-финляндской Комиссии по научно-техническому сотрудничеству. Неоднократно выступал с докладами на совещаниях различного ранга, участвовал в работе 27-го и 33-го МГК. Читает курс «Геология России» для студентов ПетрГУ по специальности «геология».

В связи с юбилеем В. С. Куликов получил Благодарственное письмо от Главы РК А. П. Худилайна.

*Редакционная коллегия  
серии «Геология докембрия»*

## ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ КОЖЕВНИКОВ (к 70-летию со дня рождения)



17 июня 2014 г. исполнилось 70 лет Владимиру Николаевичу Кожевникову, заведующему лабораторией региональной геологии и геодинамики Института геологии Карельского научного центра РАН, доктору геолого-минералогических наук, заслуженному деятелю науки Республики Карелия.

В. Н. Кожевников родился 17 июня 1944 года в Казани. В 1967 году окончил геологический факультет ЛГУ по специальности «геолог-съемщик-поисковик». В Институте геологии работает с 1968 года. В 1980 году после окончания заочной аспирантуры в ИГГД защитил кандидатскую диссертацию «Структурная эволюция метаморфических комплексов в докембрии Костомукшского железорудного района». В 1999-м защитил докторскую диссертацию «Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены» по специальностям «региональная геология» и «петрология, вулканология».

Область его научных интересов – происхождение и эволюция раннедокембрийской земной коры и архейской геодинамики. Основные

направления исследований – реконструкция архейских процессов корообразования и последующего преобразования архейской коры с использованием петрологических, геохимических, структурно-тектонических и геохронологических методов на основе результатов геологического картирования. Он руководитель и ответственный исполнитель Программ ОНЗ и Президиума РАН, грантов РФФИ и многих академических тем НИР.

Основные результаты исследований В. Н. Кожевникова определяются следующим:

формирование континентальной коры Фенноскандинавского щита началось не позднее 3,87 млрд лет назад, о чем свидетельствует обнаружение детритовых цирконов хадейского возраста;

формирование архейских зеленокаменных поясов происходило в режимах, сходных с режимами активных континентальных окраин и интраконтинентального рифтинга;

в разрезах многих поясов пространственно совмещены породные комплексы, образованные как результат плюмового и субдукционного плавления;

в цикличном развитии архейских геодинамических и рудогенных систем наиболее четко выражены мезоциклы продолжительностью 110–150 млн лет, сопоставимые с циклами Бертрана в новейшей геодинамике;

в интервале 3,65–2,6 млрд лет изотопно-возрастной шкалы региона намечено положение нескольких гидротермальных, в том числе рудогенных, событий, связанных с позднемагматическими/поствулканическими процессами;

архейские и палеопротерозойские кварциты и кварцевые конгломераты являются продуктом разрушения полимодальных источников, в которых значительный объем составляли кварцевожильные рудные системы архейского возраста;

по истории геологического развития Карельский регион наиболее близок к архейским кратонам Сьюпириор и Слейв в Западной Лавразии;

спецификой архея Карельского кратона являлось выплавление наиболее высокотемпературных коматиитов на рубеже около 3,0 млрд

лет, что на 300 млн лет опередило глобальный термальный пик (~2,7 млрд лет), установленный в других кратонах Земли;

этим термальным пиком обусловлен декомпрессионный гранулитовый метаморфизм, связанный с мантийно-коровым диапиризмом.

Опубликовано более 120 научных работ, в т. ч. четыре авторские и четыре соавторские монографии: Условия формирования структурно-метаморфических парагенезисов в докембрийских комплексах. Л., 1983; Геология и геохимия архейских Северо-Карельских зеленокаменных структур. Петрозаводск, 1992; Структурно-петрологическое изучение гранитизации. Л., 1973 (соавт.); «Федоровский метод», Л., 1985 (соавт.); Гранитоиды архея юго-вост. части Балтийского щита. Л., 1987 (соавт.); Металлогеническая эволюция архейских зеленокаменных поясов Карелии. Ч. 1: Вулканизм, седиментогенез, метаморфизм и металлогения. СПб., 1993 (соавт.); Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск, 2000.

В 2004 году в поздравлении коллектива написано: «Дорогой Владимир Николаевич, сотрудники института поздравляют Вас с юбилеем. Мы гордимся Вами – знатоком сложной архейской геологии, Вашей эрудированностью, стойкостью. Желаем успешной творческой деятельности, желаем раскрыть новый потенциал в будущем, желаем успехов на посту заведующего лабораторией. Счастья в жизни и не забывать о здоровье как основной планке научных планов и достижений. Всего самого доброго! Поздравляем с награждением Почетной грамотой Президиума РАН!».

В связи с юбилеем в 2014 году В. Н. Кожевникову вручено Благодарственное письмо Главы РК А. П. Худилайна со словами: «Выражаю благодарность за многолетнюю плодотворную научную деятельность и большой вклад в развитие фундаментальных и прикладных исследований в области геологии и геодинамики архейских комплексов...».

В. Н. Кожевников входит в состав редакционной коллегии серии «Геология докембрия» научного журнала «Труды Карельского научно-геоцентра РАН».

#### НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПОСЛЕДНЕГО ДЕСЯТИЛЕТИЯ

**2000.** An Archean Quartzite-Andesite Association in the east Baltic Shield, Russia: Implication for Assemblage types and shield history // *Prec. Research*. Vol. 101. P. 313–340. (Совместно с P. C. Thurston.)

**2006.** Geochronology (SHRIMP II) of Zircons from Archean Stratotectonic Associations of Karelian Greenstone Belts: Significance for Stratigraphic and Geodynamic Reconstructions // *Stratigrafiya. Geologicheskaya Korrelyatsiya*. Vol. 14, No. 3. P. 19–40. (Совместно с N. G. Berezhnaya, S. L. Presnyakov, E. N. Lepekhina, A. V. Antonov, S. A. Sergeev.)

**2007.** Геологическое строение Карелии // Вводная статья в I том энциклопедии «Карелия» с авторским вариантом геологической карты Карелии М 1 : 2 000 000.

**2008.** Раннедокембрийские кратоны: глобальные корреляции, к перспективам алмазности Карельского региона // *Геология и полезные ископаемые Карелии*. Вып. 11. С. 5–17.

Neoarchean Khizovaara greenstone complex in the lake Verkhneye area // *The field trip guide book "Karelian Craton transect (Finland, Russia): Precambrian greenstone belts, ophiolites and eclogites"*, 33IGC excursion No 18, July 28 – August 4, 2008. P. 53–71. (Совместно с А. А. Shchipansky.)

Convergent regimes in Archean geodynamic cycles // *EUR-02 Archean greenstone belts of Fennoscandia and beyond, 33rd International Geological Congress, Oslo, Norway, 5–14th August 2008*.

Geodynamic settings of Archean sedimentogenesis in the Karelian craton // *Poster on ESF Mid-term conference «Peering into the cradle of life: Processes and Habitats on the Archean Earth»*, 11–12 April, 2008, Vienna, Austria.

**2010.** Детритовые цирконы из архейских кварцитов Маткалахтинского зеленокаменного пояса, Карельский кратон: гидротермальные изменения, минеральные включения, изотопные возрасты // *ДАН*. Т. 430, № 5. С. 681–685. (Совместно с С. Г. Скубловым.)

Хадей-архейские детритовые цирконы из ятулийских кварцитов и конгломератов Карельского кратона // *ДАН*. Т. 431, № 1. С. 1–5. (Совместно с С. Г. Скубловым, Ю. Б. Мариным, П. В. Медведевым, Ю. Сыстра, В. Валенсия.)

Detritic Zircons from the Archean Quartzites of the Matlakhta Greenstone Belt of the Karelian Craton: Hydrothermal Alterations, Mineral Inclusions, and Isotope Age // *Doklady Earth Sciences*. Vol. 430, part 2. P. 223–227. (Совместно с S. G. Skublov.)

Hadean–Archean Detrital Zircons from Jatulian Quartzites and Conglomerates of the Karelian Craton // *Doklady Earth Sciences*. Vol. 431, part 1. P. 318–323. (Совместно с S. G. Skublov, Yu. B. Marin, P. V. Medvedev, Yu. Systra, V. Valencia.)

**2011.** Хадей-архейские детритовые цирконы – ключ к познанию древнейшей геологической истории Фенноскандинавского щита

// Геология Карелии от архея до наших дней: материалы докладов Всероссийской конференции, посвященной 50-летию Института геологии Карельского научного центра РАН. Петрозаводск, 24–26 мая 2011 года. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 37–48.

Hadean–Archean detrital zircons: a tool for reconstruction of ancient history of the Karelian Craton // International Conference on Craton Formation and Destruction, April 25–29, 2011, Beijing, China. P. 134.

**2012.** Включения самородного золота и рудных минералов в обломочных цирконе

и кварце из раннедокембрийских кварцитов и кварцевых гравелитов Карельского кратона // ДАН. Т. 444, № 2. С. 190–193. (Совместно с А. Н. Сафроновым.)

**2014.** Гидротермальные цирконы из рудных амфиболитов массива Травяная губа, Северная Карелия // Труды Карельского научного центра РАН. Серия «Геология докембрия». № 1. С. 76–89. (Совместно с В. А. Земцовым.)

*Редакционная коллегия  
серии «Геология докембрия»*

## УТРАТЫ

### ПАМЯТИ ВИЛЬЯМА ИВАНОВИЧА РОБОНЕНА (1926–2014)



23 марта 2014 года ушел из жизни Вильям Иванович Робонен, заслуженный деятель науки КАССР, кавалер ордена Трудового Красного Знамени, почетный разведчик недр России, отличник разведки недр КАССР, почетный член Геологического общества Финляндии, кандидат геолого-минералогических наук.

В. И. Робонен родился 17 июля 1926 года в дер. Мистолово Парголово района Ленинградской области. В 1949 году окончил с

отличием геологический факультет Карело-Финского госуниверситета (ныне ПетрГУ) по специальности «минералогия, петрография». Большое впечатление в 1945 году на Вильяма Ивановича произвел профессор П. А. Борисов, с которым в дальнейшем его связывали тесные узы в различные периоды. Вот как рассказывает сам Робонен: «Я хочу вспомнить некоторые эпизоды из своей жизни, которые связаны со встречами с Петром Алексеевичем Борисовым. Первый раз я увидел Петра Алексеевича в дни Победы с 9 по 11 мая 1945 года. Здесь, в здании нынешнего главы республики, тогда Совета Министров Карело-Финской ССР, проходила Республиканская геологическая конференция, созванная партийной организацией КФСР. На этой конференции было принято решение о создании Карело-Финской научно-исследовательской базы АН СССР. Этот документ пошел в Правительство СССР и в ЦК партии, по решению которых было принято постановление создать Карело-Финскую научно-исследовательскую базу АН СССР в г. Петрозаводске. Это была инициатива Петра Алексеевича». В 1946 году В. И. Робонен, будучи студентом, был принят рабочим в сектор геологии Карело-Финской научной базы АН СССР, которым руководил П. А. Борисов, и направлен в экспедицию на Шуезерское месторождение. С 1949 по 1952 годы Вильям Иванович – аспирант Ленинградского госуниверситета, в 1953 году защитил кандидатскую диссертацию. С 1952 по 1957 годы работал старшим преподавателем на геолого-разведочном факультете Карело-Финского госуниверситета (читал лекции по дисциплинам «Геологическое картирование» и «Геотектоника»), с 2004 года снова вернулся к преподава-

тельской деятельности в ПетрГУ – на кафедре геологии и геофизики горно-геологического факультета вел курс «Стратиграфия докембрия Фенноскандинавского щита».

Работал в Институте геологии КарНЦ РАН в период 1949–1992 (до 1957 – по совместительству в отделе геологии Карельского филиала АН СССР) в должности младшего научного сотрудника, затем – старшего научного сотрудника, ученого секретаря Института геологии во время его организации (1961 год), а впоследствии – заведующим отделом (лаборатории) региональной геологии, сектором стратиграфии, ведущим научным сотрудником, руководителем Музея геологии докембрия. С 1992 по 1998 годы Вильям Иванович был начальником Информационно-фондового отдела и ведущим специалистом экспертно-геологического отдела Комитета по геологии и использованию недр РК. Этот период отмечен его активным участием в проектировании строительства Республиканского кернохранилища по образцу финской модели. В настоящее время кернохранилище успешно функционирует. С 1998 года В. И. Робонен возвращается в Институт геологии на должность старшего научного сотрудника, а с 2008 года до последних дней работает в должности главного геолога. Он занимался проблемами стратиграфии, палеовулканологии и металлогении раннего докембрия Фенноскандинавского щита. В семидесятые годы разработал оригинальный геокинологический метод поиска полезных ископаемых. Под его руководством работала целая группа специалистов-кинологов.

Необходимо выделить важную роль в активизации интереса к железным рудам Костомукши, которую сыграл В. И. Робонен в 1968–1969 годах во время научных командировок в Финляндию. В это время в г. Раахе при участии советских специалистов сооружалось металлургическое предприятие, которое планировали обеспечивать шведской рудой. Информация В. И. Робонена о Костомукшском железорудном месторождении заинтересовала финских специалистов, и встал вопрос о его возможном совместном освоении. В. И. Робонен инфор-

мировал о положительной реакции финской стороны на эту идею сотрудников посольства СССР в Финляндии, директивные органы республики и президиум Карельского филиала АН СССР. Состоялись поездки на месторождение представителей ряда заинтересованных министерств и ведомств СССР, геологических и научных организаций. С финской стороны был визит в Костомукшу тогдашнего премьер-министра Финляндии А. Картялайнена с представителями промышленных и финансовых кругов Финляндии. Переговорами с советской стороны руководил заместитель Председателя Госплана СССР М. И. Мисник. Во всех этих мероприятиях В. И. Робонен участвовал в качестве эксперта. Совершенное знание финского языка способствовало взаимопониманию сторон.

Большую научно-организационную работу В. И. Робонен проводил как член Комиссии по геологической изученности СССР (1960–1990), член Межведомственной стратиграфической комиссии (МСК) (1958–1965) и МСК России (1986–1998), председатель Региональной МСК по Северо-Западу России (1994–1998), заместитель председателя Высшего горного совета Ассоциации горнопромышленников РК.

Опубликовано более 130 его работ. Основные из них (в соавторстве): Серноколчеданные месторождения Карелии. Л.: Недра, 1978; Геология Карелии. Л.: Недра, 1987; Вулканические постройки протерозоя Карелии. Л.: Недра, 1978; Сводная корреляционная схема докембрия Карело-Кольского региона // Геол. и геохронология докембрия Восточно-Европейской платформы. Л., 1990; Nickel-copper deposits of the Baltic Shield and Scandinavian Caledonids. Espoo, 1985; Geological Survey of Finland, Bull. 333 с приложением General geological map of the Baltic Shield. 1 : 2500 000. Helsinki, 1985. В. И. Робонен являлся действительным членом Всесоюзных Географического (1948), ныне РГО, и Минералогического (1975), ныне РМО, обществ.

*Группа сотрудников Института геологии  
Карельского научного центра РАН*

## ПАМЯТИ АКАДЕМИКА ФЕЛИКСА ПЕТРОВИЧА МИТРОФАНОВА (1935–2014)



8 мая 2014 года ушел из жизни Феликс Петрович Митрофанов, крупнейший специалист в области докембрийской петрологии и металлогении.

Ф. П. Митрофанов родился 22 июня 1935 года в Оренбурге. Окончил Ленинградский государственный университет в 1957 году. Главные объекты его изучения находились в Южной Сибири (Восточный Саян, Тува), Монголии, Украине, на Кольском полуострове, в Карелии, а также во Франции, Болгарии, Чехословакии. В 1957–1985 годах он работал в Ленинградском институте геологии и геохронологии докембрия АН СССР (в прошлом ЛАГЕД АН СССР). Прошел путь от старшего лаборанта до заместителя директора по науке. В 1963 году защитил канди-

датскую диссертацию, а в 1975 году – докторскую. Потом судьба сложилась так, что он оказался на Кольской земле. Здесь с 1986 по 2007 год являлся директором Геологического института КНЦ РАН. В 1990 году избран членом-корреспондентом АН СССР по направлению «геология, петрология», а в 2000 году – академиком РАН по направлению «геология, геофизика». Многие годы являлся членом Бюро ОНЗ РАН, с 2007 года – советник РАН. Лауреат Государственной премии России.

Феликс Петрович всегда был другом Института геологии Карельского научного центра РАН. Наши северные институты связывают дружеские отношения, в чем немалая заслуга Ф. П. Митрофанова, десятилетия доброжелательных и плодотворных отношений оставили благоприятный след в творческом содружестве.

Значительной вехой наших отношений стала поездка в США и Канаду. Профессор Миннесотского университета Ричард Оякангас и канадский геолог Кен Кард были главными организаторами совместного семинара и полевой геологической экскурсии (Joint Seminar-Field Trip on Precambrian Geology, Southern Canadian Shield and Eastern Baltic Shield), проходившей в августе–сентябре 1990 года. В этом мероприятии участвовала большая группа карельских геологов (А. Голубев, П. Медведев, Л. Кулешевич, В. Куликов, А. Светов, А. Слабунов, Г. Соколов (переводчик), М. Стенарь, Р. Хазов, К. Хейсканен, В. Щипцов) и Феликс Петрович, в то время директор Геологического института КНЦ РАН. В тот момент было подписано соглашение о побратимских связях городов Петрозаводска и Дулута (штат Миннесота). Профессор Оякангас внес большой вклад в развитие этих связей, но наши коллеги из США и Канады считали нелишним пригласить и директора Геологического института Кольского научного центра для расширения связей и плодотворного сотрудничества в области исследований геологии докембрия Карело-Кольского региона. Мы были рады, что в составе

нашей делегации был Феликс Митрофанов, только что избранный чл.-корр. АН СССР. Ф. П. Митрофанов представил доклад на тему «Archean and Early Protozoic geology of the Kola region of the Baltic shield: geochronologic and geodynamic aspects».

Он неоднократно приезжал в Петрозаводск на научные мероприятия по тематике, которая была близка ему. На международной конференции, проходившей в Петрозаводске в 1999 году, Ф. П. Митрофанов и Ю. Пеккала были сопредседателями FIMM-99 «Месторождения индустриальных минералов Фенноскандии: геология, экономика и новые подходы к переработке и использованию». После значительного перерыва в августе 2001 года в Петрозаводске собрались ученые на первый Всероссийский палеовулканологический симпозиум. Таким образом, возобновилась традиция отечественной геологической науки созыва форумов специалистов, изучающих историю вулканической деятельности Земли. Немаловажное значение имело участие в этом мероприятии академика Ф. П. Митрофанова, а также активная его поддержка. В тематику симпозиума были включены наиболее актуальные проблемы докембрийской палеовулканологии.

Я бы хотел упомянуть еще одно важное событие – торжественное мероприятие, посвященное открытию мемориальной доски на стене нашего института Кауко Оттовичу Кратцу в день 90-летия со дня рождения. Феликс Петрович не мог не приехать. Для него Кратц был очень близким человеком. Они работали вместе почти два десятилетия в Институте геологии и геохронологии докембрия. Кауко Оттович окончательно уехал из Петрозаводска в середине 1966 года. На торжественном заседании в этот день Феликс Петрович говорил о значении личности Кауко Кратца и его идей для российской геологии, в частности, он подчеркнул, что Кратц был крупным ученым, ведущим советским специалистом в области геологии, петрологии и геохронологии докембрия. По инициативе Митрофанова начиная с 1985 года проводятся конференции молодых ученых, посвященные памяти выдающегося ученого-геолога, чл.-корр. АН СССР Кауко Оттовича Кратца (Санкт-Петербург, Петрозаводск, Апатиты). Например, XXV юбилейная конференция про-

шла в Санкт-Петербурге, в ИГГД РАН, а предыдущая – в Апатитах. Опыт проведения подобных конференций показывает безусловную плодотворность их для квалификации молодых исследователей, расширения круга их научных интересов. Феликс Петрович старался быть на этих мероприятиях. Вспоминаю его приезд в Петрозаводск на XXIII конференцию. Он внимательно и аналитически следил за выступлениями. Конечно, для молодежи это было очень важно – в аудитории ведь находился академик.

Остались в памяти официальные встречи, когда Феликс Петрович посещал институт как председатель Комиссии по проверке организации в 2003 и 2008 годах.

Кроме этого вспоминается, как мы вместе присутствовали на инаугурации генерального директора Геологической службы Финляндии Элиаса Экдала. Нас было трое представителей от России – Ф. П. Митрофанов, Н. Б. Филиппов и я. Мероприятие имело торжественную окраску. К Феликсу Петровичу подходили многие иностранные коллеги, чтобы поприветствовать его. Он вел себя непринужденно и явно был рад вниманию к себе.

И конечно, незабываемы наши плавания на «Экологе» во время отпуска. Мы прошли по водоемам Онежского и Ладожского озер, посещая знаменательные места на островах Киж и Валаам, а через год – по маршруту Кемь – Соловецкие острова – Немецкие и Русские Кузова.

И здесь можно было общаться с Феликсом Петровичем в непринужденной обстановке, как говорится, без галстуков.

Ф. П. Митрофанов был членом редакционного совета научного журнала «Труды Карельского научного центра РАН».

14 мая 2014 года в Ритуальном зале Президиума РАН состоялась гражданская панихида, на которой мне довелось сказать о нем прощальное слово. Похоронен Ф. П. Митрофанов на Троекуровском кладбище в Москве.

Скромный и отзывчивый, при этом один из ведущих специалистов научной школы А. А. Полканова – К. О. Кратца в области геологии докембрийских образований и один из крупнейших геологов нашей страны, Феликс Петрович Митрофанов всегда остается в нашей памяти.

*В. В. Щипцов*

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(требования к работам, представляемым к публикации  
в «Трудах Карельского научного центра Российской академии наук», с 2015 г.)

«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 её 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» 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: 185910, 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](mailto:trudy@krc.karelia.ru), или же представляются в редакцию лично (г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, каб. 502). К рукописи желательно прилагать два бумажных экземпляра, напечатанных на одной стороне листа формата А4 в одну колонку.

## 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 названий русскоязычных источников на английский язык (**References**); таблицы (на отдельных листах); рисунки (на отдельных листах); подписи к рисункам (на отдельном листе).

На отдельном листе дополнительные сведения об авторах: фамилии, имена, отчества всех авторов полностью на русском и английском языке; полный почтовый адрес каждой организации (страна, город) на русском и английском языке; должности, научные звания, ученые степени авторов; адрес электронной почты для 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 в о з м о ж н о 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 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 во вклейках (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 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. 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 представляются отдельными файлами с расширением T I F F (\* . T I F) или J P G. При первичной подаче материала в редакцию рисунки вставляются в общий текстовый файл. При сдаче материала, принятого в печать, все рисунки из текста статьи должны быть убраны и представлены в виде отдельных файлов в вышеуказанном формате. Графические материалы должны быть снабжены распечатками с указа-

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

\*\* Обращаем внимание авторов, что в связи с подготовкой журнала к включению в международные базы данных библиографических описаний и научного цитирования расширенная аннотация на английском языке, а также транслитерированный в латиницу список использованной литературы приобретают особое значение.

нием 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, электронного трансмиссионного и сканирующего), должны сопровождаться масштабными линейками, причем в подрисовочных 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** 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 подрисовочных 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 groenlandicus* (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](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. Описания русскоязычных работ указываются 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 его библиографическое описание вместо транслитерированного. Библиографические описания прочих работ приводятся на языке оригинала. Для составления списка рекомендуется использование бесплатной программы транслитерации на сайте <http://translit.ru/>, вариант ВС1.

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. Шерудило<sup>1</sup>, М. И. Сысоева<sup>1</sup>, Г. Н. Алексейчук<sup>2</sup>, Е. Ф. Марковская<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт биологии Карельского научного центра РАН

<sup>2</sup>Институт 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. Частота встречаемости видов нематод в исследованных биотопах

Биотоп (площадка)	Кол-во видов	Встречаемость видов нематод в 5 повторностях				
		100 %	80 %	60 %	40 %	20 %
1Н	26	8	4	1	5	8
2Н	13	2	1	1	0	9
3Н	34	13	6	3	6	6
4Н	28	10	5	2	2	9
5Н	37	4	10	4	7	12

Примечание. Здесь и в табл. 3–4: биотоп 1Н – территория, заливаемая в сильные приливы; 2Н – постоянно заливаемый луг; 3Н – редко заливаемый луг; 4Н – незаливаемая территория; 5Н – периодически заливаемый луг.

## ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСИ К РИСУНКУ

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

## 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.

### B 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.

### B References:

Viktorov G. A. Mezvidovaya konkurentsiya i sosushhestvovanie ehkologicheskikh gomologov u paraziticheskikh pereponchatokrylykh [Interspecific competition and coexistence ecological homologues in parasitic Hymenoptera]. Zhurn. obshh. biol. 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

Марьянских 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.

B 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: дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. С. 21–46.

B 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]: dis. ... kand. biol. nauk [PhD Diss. (Biol.)]. Moscow, 1985. P. 21–46.

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.

B 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. Bul. 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.

B 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.html?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (дата обращения: 25.11.2006).

*Демография.* Официальная статистика / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 25.12.2015).

B 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.html?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.

B 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.

## TABLE OF CONTENTS

A. M. Pystin, Yu. I. Pystina. ARCHEAN AND PALEOPROTEROZOIC HISTORY OF ROCK METAMORPHISM IN THE URALS CRUSTAL SEGMENT . . . . .	3
A. L. Kulakovsky, Yu. A. Morozov, A. I. Smul'skaya. STRESS-METAMORPHISM AND STRESS-METAMORPHITES IN PRECAMBRIAN OF THE LADOGA REGION . . . . .	19
V. N. Kozhevnikov, S. N. Ivashevskaya, V. I. Kevlich. GEOCHEMISTRY AND RAMAN SPECTRA OF ZIRCONS FROM ORE (PGE-Au) AMPHIBOLITES OF THE TRAVYANAYA GUBA MASSIF, NORTH KARELIA . . . . .	36
S. A. Svetov, A. V. Stepanova, S. Y. Chazhengina, E. N. Svetova, Z. P. Rybnikova, A. I. Mikhailova, A. S. Paramonov, V. L. Utitsyna, M. V. Ekhova, B. S. Kolodey. PRECISION GEOCHEMICAL (ICP-MS, LA-ICP-MS) ANALYSIS OF ROCK AND MINERAL COMPOSITION: METHOD AND ACCURACY ESTIMATION IN THE CASE STUDY OF EARLY PRECAMBRIAN MAFIC COMPLEX . . . . .	54
V. F. Smolkin, E. Hanski, H. Huhma, Zh. A. Fedotov. Sm-Nd AND U-Pb ISOTOPIC STUDY OF THE NYASYUKKA DIKE COMPLEX, KOLA PENINSULA, RUSSIA . . . . .	74
A. I. Slabunov, O. I. Volodichev, Li Xiaoli, O. A. Maksimov. ARCHEAN ZOISITITES OF THE GRIDINO ECLOGITE-BEARING MELANGE, BELOMORIAN PROVINCE OF THE BALTIC SHIELD: GEOLOGY, U-PB ZIRCON AGES AND GEODYNAMIC SETTING . . . . .	85
T. O. Tsvetkova, I. V. Bugaienko, L. M. Zaiets. THE STRUCTURE OF LOW-VELOCITY ZONES IN THE MANTLE OF THE NORTHERN EUROPE . . . . .	106
V. I. Ivashchenko, A. I. Golubev. NEW METALLOGENIC ASPECTS OF SKARNS FROM THE PITKÄRANTA ORE PROVINCE . . . . .	127
Z. P. Rybnikova. RELICTS OF THE PRIMARY MAGMATIC ACCESSORY SPINELS IN THE ARCHEAN KOMATIITES OF THE EASTERN FENNOSCANDIA . . . . .	149
L. T. Rakov, V. V. Schiptsov, V. T. Dubinchuk, L. S. Skamnitskaya. QUARTZ OF THE KARELIA-KOLA REGION AS A RAW MATERIAL: ON THE ORIGINS AND GENETIC IMPLICATIONS OF SUBMICROSCOPIC STRUCTURAL HETEROGENEITIES IN QUARTZ . . . . .	164
L. S. Skamnitskaya, M. M. Shakhnovich, O. V. Bukchina. APPLICATIONS OF MICA AND LOCATIONS OF MUSCOVITE MINING AREAS IN THE LATE MEDIEVAL PERIOD IN THE KOLA PENINSULA AND NORTH KARELIA . . . . .	181
K. V. Shekov, A. L. Potravnov. THE HISTORY OF GEOLOGICAL STUDIES OF TULMOZERO IRON-ORE DEPOSIT (NORTHERN PRILADOZHJE) . . . . .	192
<b>CHRONICLE</b>	
Slabunov A. I. International scientific conference "Precambrian high-grade mobile belts" . . . . .	202
Shekov V. A. Geological, mining and industrial heritage of Karelia and Finland. Projects for cross-border cooperation ENPI CBC "KARELIA" KA 334 "Mining Road" . . . . .	205
<b>DATES AND ANNIVERSARIES</b>	
V. V. Shchiptsov. Centennial anniversary of the USSR Academy of Sciences Corresponding Academician Kauko Kratz . . . . .	211
Vyacheslav S. Kulikov (on the 75 <sup>th</sup> anniversary) . . . . .	213
Vladimir N. Kozhevnikov (on the 70 <sup>th</sup> anniversary) . . . . .	215
<b>BEREAVEMENTS</b>	
In memory of William I. Robonen (1926–2014) . . . . .	218
V. V. Shchiptsov. In memory of Academician Felix P. Mitrofanov (1935–2014) . . . . .	220
<b>INSTRUCTIONS FOR AUTHORS</b> . . . . .	222

Научное издание

**Труды Карельского научного центра  
Российской академии наук  
№ 7, 2015**

Серия ГЕОЛОГИЯ ДОКЕМБРИЯ

*Печатается по решению  
Президиума Карельского научного центра РАН*

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-48848 от 02.03.2012 г.  
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций

Редактор М. А. Радостина  
Оригинал-макет Н. Н. Сабанцева

Подписано в печать 25.05.2015. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Гарнитура Pragmatica. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 25,5. Усл. печ. л. 26,5.  
Тираж 500 экз. Заказ 280.

Карельский научный центр РАН  
Редакционно-издательский отдел  
185003, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50