

## Молибдошеелиты медно-молибден-порфировых месторождений и рудопроявлений Карелии (на примере рудных полей Лобаш и Ялонвара)

Кулешевич Л.В., Лавров О.Б.

*Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, kuleshev@krc.karelia.ru; petrlavrov@list.ru*

**Аннотация.** В работе рассмотрен состав шеелитов из медно-молибден-порфировых месторождений и проявлений Карелии, локализованных в архейских зеленокаменных поясах, на примере рудного поля Лобаш и Ялонвара. Шеелиты разных месторождений изучались с использованием электронного сканирующего микроскопа VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy-350; руды – с помощью ICP-MS-анализа. Шеелит из молибденовых месторождений часто содержит  $\text{Mo}^{6+}$ , изоморфно замещающий  $\text{W}^{6+}$ , при этом образуются зональные молибдошеелиты (Лобаш, Ялонвара) и шеелиты, содержащие вросстки молибденита (Ялонвара). Шеелит золоторудного месторождения Лобаш-1 не образует значительных скоплений, обычно бывает вкрапленный и по составу однородный. Приводятся новые данные по составу шеелитов и отмечается их различие для медно-молибден-порфировых и золоторудных месторождений, а также обоих месторождений.

**Ключевые слова:** шеелит, молибдошеелит, изоморфизм, месторождения/проявления, Лобаш, Ялонвара, Карелия.

## Molybdscheelites from Karelia's copper-molybdenum-porphyry deposits and ore occurrences (case study of the Lobash and Jalonvaara ore fields)

Kuleshevich L.V., Lavrov O.B.

*Institute of Geology, KarRC RAS, Petrozavodsk, kuleshev@krc.karelia.ru; petrlavrov@list.ru*

**Abstract.** The compositions of scheelites from Karelia's copper-molybdenum-porphyry deposits and occurrences located in Archean greenstone belts, are discussed. The Lobash and Jalonvaara ore fields are used as examples. Scheelites from various deposits were studied using a VEGA II LSH (Tescan) scanning electron microanalyzer with an INCA Energy-350 energy dispersion microanalyzer and the ores using ICP-MS-analysis. Scheelite from molybdenum deposits often contains  $\text{Mo}^{6+}$ , which replaces  $\text{W}^{6+}$  isomorphically; in this case, zonal molybdscheelites (Lobash, Jalonvaara) and scheelites containing molybdenite ingrowths (Jalonvaara) are formed. Scheelite from the Lobash-I gold deposit does not form large clusters, commonly occurring as disseminated compositionally homogeneous scheelite. New data on the composition of scheelite are presented. Their difference for copper-molybdenum-porphyry and gold deposits, as well as for both deposits, is noted.

**Keywords:** scheelite, molybdscheelite, isomorphism, deposits/occurrences, Lobash, Jalonvaara, Karelia.

### Введение

Шеелит  $\text{Ca}[\text{WO}_4]$  – минерал тетрагональной сингонии. Крайний член изоморфного ряда шеелит  $\text{Ca}[\text{WO}_4]$  – повеллит  $\text{Ca}[\text{MoO}_4]$ . В структуре изолированные тетраэдры  $[\text{WO}_4]$  соединены между собой ионами  $\text{Ca}^{2+}$ . Шеелит из молибденовых месторождений содержит  $\text{Mo}^{6+}$ , изоморфно замещающий  $\text{W}^{6+}$ , – образуются молибдошеелиты. Шеелит обычно образует кристаллы тетрагонального дипирамидального габитуса, вкрапленность идиоморфных зерен или сросшиеся зернистые агрегаты. Размер кристаллов разный. Цвет минерала бывает белый, бело-желтый, бежевый (у шеелита), реже оранжевый, серовато-белый (у молибдошеелита), иногда и черный (с вростками молибденита). Плотность минерала колеблется от 5.09 (с Mo) – до 6.12 г/см<sup>3</sup> (чистый W). Минерал флюоресцирует в ультрафиолете, имеет синее свечение. Шеелиты разных месторождений могут содержать разные примеси в своем составе: в частности, отмечается различие шеелитов медно-молибден-порфировых и золоторудных месторождений. Именно подобные объекты и состав шеелитов в них мы рассмотрим для архейских месторождений Карелии. В Карелии известно ~11 небольших проявлений вольфрама, представленных в скарнах и грейзенах С. Приладожья (PR), и лишь несколько объектов из-

вестны в штокверках медно-молибден-порфировых месторождений и проявлений (AR), связанных с гранитоидами в архейских зеленокаменных поясах (Минерально..., 2005).

*Целью работы* является изучение особенностей составов шеелитов архейских комплексных Au-Cu-Mo-порфировых рудных объектов Карелии.

### **Фактический материал и методы исследования**

В работе изучался шеелит комплексных медно-молибден-порфировых и золоторудных объектов (месторождений и проявлений) Карелии – Лобаш, Лобаш-1, Ялонвара. Образцы для исследований были отобраны из руд разного типа, измененных пород и жил. Состав рудных минералов определялся с помощью электронного сканирующего микроскопа VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy-350 (Oxford instruments). Состав зональных шеелитов анализировался, по возможности, вкрест существующей зональности. Параметры съемки: W-катод, напряжение 20 кВ, время сканирования в стандартных режимах съемки 90 сек. Микрокомпонентный состав руд и геохимические особенности вмещающих пород определялись с использованием ICP-MS-анализа в аналитическом центре ИГ КарНЦ РАН (г. Петрозаводск) по существующей методике прибора.

### **Результаты исследований: геохимия и минералогия руд, состав шеелитов**

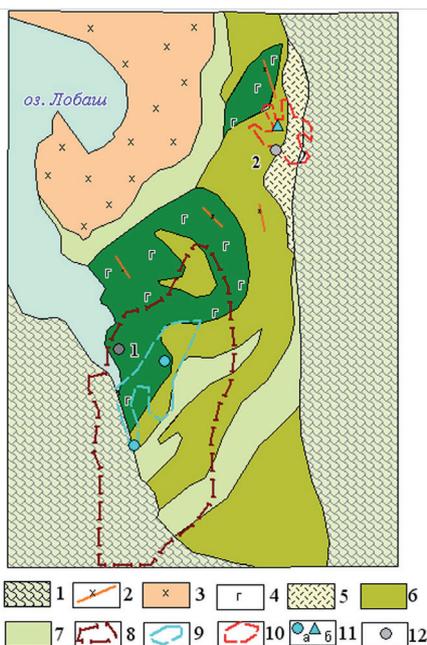


Рис. 1. Схема геологического строения рудного поля Лобаш:

1 – вулканогенно-осадочные отложения PR1sm; 2 – дайки гранит-порфиров, 3 – гранодиориты 1 фазы, 4 – габбро, 5-7 – вмещающие AR-толщи: 5 – риодациты, 6 – андезиты и их туфы, 7 – базальты; 8 – контур гранитного тела (гранит-порфиры 2 фазы). Рудные тела: 9 – Mo, 10 – Au-(Pb-Zn-Cu), 11 – отдельные скважины, 12 – места отбора образцов с шеелитом.

Fig. 1. Scheme showing the geological structure of the Lobash Ore Field.

Геологическое строение месторождений и проявлений рудных полей Лобаш и Ялонвара отражено в производственных геологических отчетах и приводится в ряде публикаций (Минерально..., 2005; Иващенко, Лавров, 1994; 1998; Кулешевич и др., 2004 а, б; Тытык, Фролов, 2014) и продемонстрировано на рисунках 1-2. Медно-молибден-порфировые и ассоциирующие с ними золото-сульфидные месторождения/проявления формируются в ореолах многофазных гранодиорит-гранит-порфировых массивов.

*На молибденовом месторождении Лобаш* (Беломорский район, северная Карелия; рис. 1) зональный молибдошеелит встречается в ассоциации с пиритом, молибдени-том, халькопиритом, в краевой части рудного молибденитового штокверка в измененных породах основного состава. Шеелит обычно находится в сростании с пиритом, образует гнезда – скопления в маломощных прожилках. Пирит кристаллизуется первым, затем выделяется шеелит. Молибденит образуется позднее, он сечет и по трещинкам проникает в пирит, окружает шеелит. В ассоциации с ними иногда встречаются галенит и висмито-теллуриды. Шеелит образует зональные с кристаллы (рис. 3): в центральной части они бывают представлены молибдошеелитом, с краев – однородным шеелитом. Зональность обычно контрастная, резкая. В крупных зернах – колеблющаяся с тонкими полосами-зонами (осцилляторная). Мелкие зерна шеелита чаще бывают однородны. Кроме того, в измененных габброидах шеелит встречается в мельчайших (<1-2 μm) округлых включениях в титаните. Шеелит содержит примесь Mo до 0.01-0.3 %, молибдошеелит – от 5.0 – до 27.53 % Mo (табл. 1). Содержание Re в молибдошеелитах достигает 3.5 %. Значительных скоплений W-минералов, подобных проявлению Ялонварское, не установлено.

Таблица 1. Состав шеелитов-молибдошеелитов (мас. %).  
 Table 1. Composition of scheelite-molybdoscheelite (mas. %).

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CaO	18.25	18.91	19.29	18.94	20.73	18.81	17.74	18.61	18.44	17.99	19.39	18.39
WO <sub>3</sub>	81.75	69.99	69.73	60.97	51.74	82.13	82.26	71.28	81.52	76.41	67.37	67.41
MoO <sub>3</sub>		5.86	10.97	20.08	27.53			10.11		5.60	13.24	10.70
№ обр.	Л-1	1	1	1	1	Л-2	Я-1	1	Я-2	2	2	2
Σ	100	100	99.99	99.99	100		100	100	99.96	100	100	96.50

Примечание. 1-5 – Лобаш, 6 – Лобаш -1, 2 – ~3.5 % Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. 7-12 – Ялонварское (Хатуноя), 12 – 3.5 % Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Золото-полиметаллическая минерализация месторождения Лобаш-1 приурочена к прожилкам и развивается в измененных породах преимущественно среднего состава типа пропилитов, представленных сростанием эпидота, кварца, кальцита, хлорита. В золотосодержащих сфалерит-халькопирит-пирротиновых рудах месторождения шеелиты более однородные по составу образуют редкие вкрапления размером до 0.5 мм. Шеелит образует овальные зерна и хорошо ограненные кристаллы (рис. 1), иногда, как и в первом типе руд, встречается в форме мельчайших включений в титаните. Выделяется шеелит обычно первым, встречается включенным в пирротин, халькопирит и в сростании с ними в силикатах. В шеелитах месторождения Лобаш-1 – Мо не установлен (табл. 1).

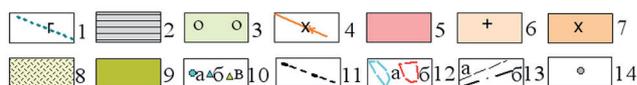
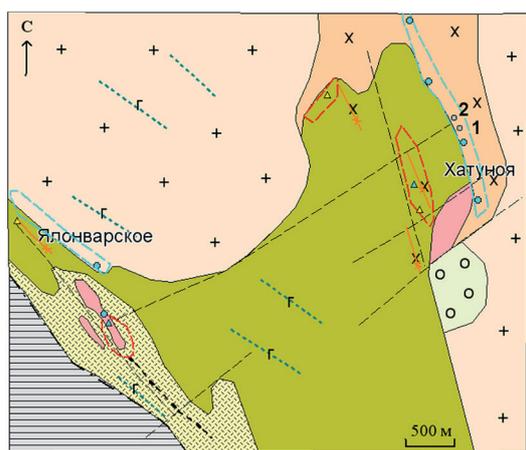


Рис. 2. Схема геологического строения рудного поля Ялонвара:

1 – дайки габбродолеритов PR1; 2 – PR1- комплекс пород; 3 – конгломераты (PR1sr); 4-7 – Ялонварский гранитный комплекс: 4 – дайки и 5 – малые тела гранит-порфиров, лейкогранитов, 6 – граниты, 7 – диориты; 8-9 – AR-вулканогенно-осадочные толщи: 8 – кислого состава, 9 – андезиты и их туфы; 10 – рудная минерализация: а – Мо, б – полиметаллические (Pb-Zn-Cu), в – Cu; 11 – колчеданы, 12 – ореолы: а – Мо, б – (Pb-Zn-Cu), 13 – тектонические зоны: а сдвиговые, б – зона AR-PR, 14 – обрзцы с шеелитом.

Fig. 2. Scheme showing the geological structure of the Jalonvaara Ore Field.

В рудном поле Ялонвара на рудопроявлениях Ялонварском и Хатуноя (юго-западная Карелия; рис. 2) обильная шеелит-(молибдошеелит)-молибденитовая минерализация приурочена к кварцевым прожилкам в измененных диоритах. Прожилки мощностью до 10 см имеют преимущественное СЗ и СВ простирание, в целом формируя штокверк на площади 500-700 м<sup>2</sup> (к югу от оз. Ялонваранъярви). В них в ассоциации с пиритом и шеелитом установлены сульфиды Cu, Zn, минералы висмута, апатит, титанит и турмалин. Аналогичная редкометаллическая ассоциация сосредоточена также и в эпидот-биотитовых метасоматитах (биотититах), образующих метасоматические оторочки около кварцевых жил среди диоритов. Минералы W и Mo встречаются во вкрапленности и гнездах размером до 0.5-0.7 см в поперечнике. В таких рудах устанавливается неоднородное, «пятнистое» строение W-Mo гнезд и скоплений – темные и светлые участки (рис. 4). На фоне более светлых участков, по составу отвечающих шеелиту, наблюдаются более темные зоны, представленные молибдошеелитами, которые содержат от 7.79 до 11.6 мас. % Mo. Кроме того в «темных» молибдошеелитах установлены кристаллографически ориентированные пластинчатые микровключения молибденита-1, тогда как в «светлых» шеелитах, выделяются более крупные скопления лейст молибденита-2 (рис. 4/в-г, ж).

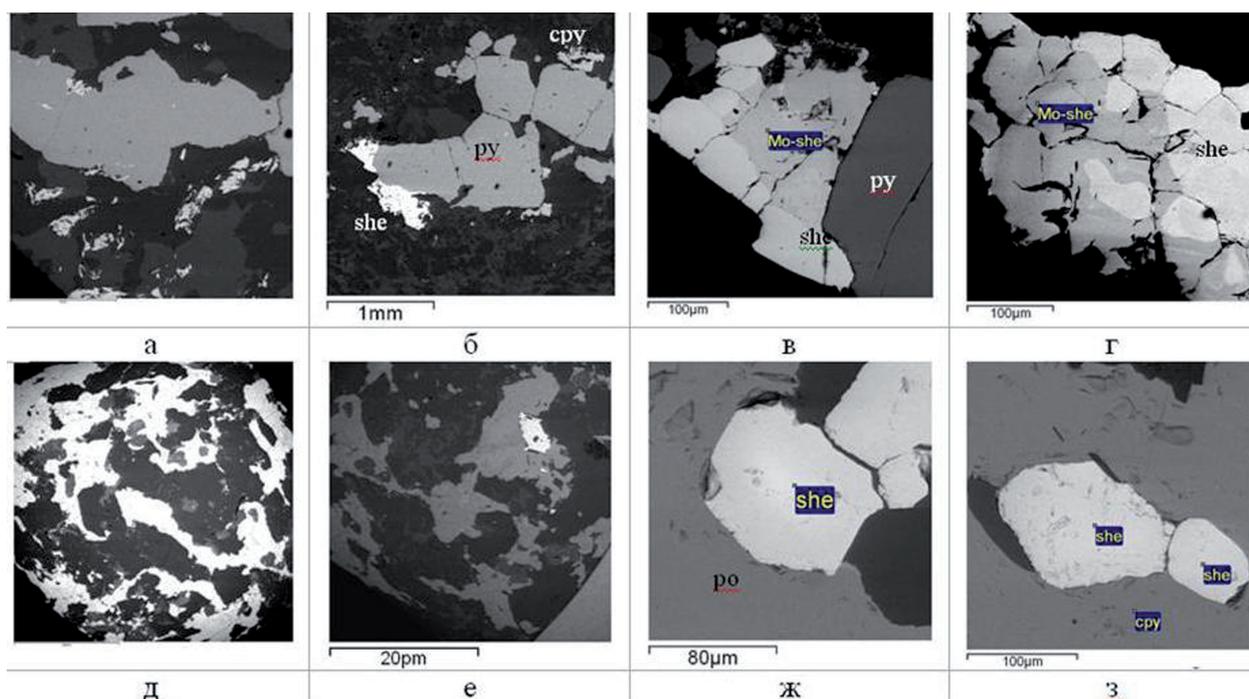


Рис. 3. Шеелиты-молибдошеелиты в рудах месторождений Лобаш (а-г), Лобаш-1 (д-е):

а – соотношение пирита и молибденита в рудах, б – пирит, шеелит, халькопирит, в – зональный шеелит-молибдошеелит в сростании с пиритом, г – молибдошеелит зональный; д – золото-содержащие полиметаллические (галенит-сфалерит-халькопирит-пирротиновые) руды, е – шеелит в сростании с пирротинном и халькопиритом, ж-з – шеелит в сростании с халькопиритом.

Fig. 3. Scheelite-molybdscheelite in ores from Lobash (a-d) and Lobash-1 (e-f) deposits:

a – pyrite-molybdenite ratio in ores, b – pyrite, scheelite, chalcopyrite, c – zonal scheelite-molybdscheelite intergrown with pyrite, d – zonal molybdscheelite; e – auriferous base-metal (galena-sphalerite-chalcopyrite-pyrrhotite) ores, f – scheelite intergrown with pyrrhotite and chalcopyrite, g-h – scheelite intergrown with chalcopyrite.

Молибдошеелит обрастает шеелитом, одновременно с этим выделяется основная масса молибденита. Иногда в шеелитах встречаются гораздо более светлые пятнистые включения Re-содержащего шеелита (до 3-4 мас. % Re в составе шеелита) (рис. 4 з).

Кроме того, в кварц-пиритовых золото-содержащих прожилках среди вышеупомянутых диоритов, а также в сдвиговых зонах с окварцеванием и обильной пиритовой минерализацией в экзоконтакте гранитоидов установлены отдельные однородные зерна шеелита.

*Геохимия руд.* Содержание W в рудах молибденитового штокверка месторождения Лобаш (по изученным образцам) составляет 18-180 г/т, в шеелит-молибденит пиритовых – 435 г/т, в золото-содержащих полиметаллических от 1-3 г/т – иногда до 89 г/т. В богатых молибденитовых рудах Ялонвары установлено 2-33 г/т W, в шеелит-молибденитовых – 133-1398 г/т, в золотосодержащих медно-полиметаллических 1-46 г/т (данные ICP-MS-анализа). Максимальные содержания  $WO_3$  в рудах достигают 1 %. Для рудопроявления Ялонварское рассчитаны ресурсы вольфрама категории РЗ – 4 тыс. т (Минерально..., 2005).

### Заключение

Вольфрамовая минерализация архейских золото-содержащих Cu-Mo-порфировых месторождений/рудопроявлений рудных полей Лобаш и Ялонвара представлена шеелитами и молибдошеелитами.

На месторождении Лобаш существующая в шеелите зональность, указывает на кристаллизацию с пульсационной сменой концентрации растворов: в шеелитах наблюдается зональность от чистых вольфрамовых – к Mo-содержащим и последующее отложение молибденита во вкрапленности

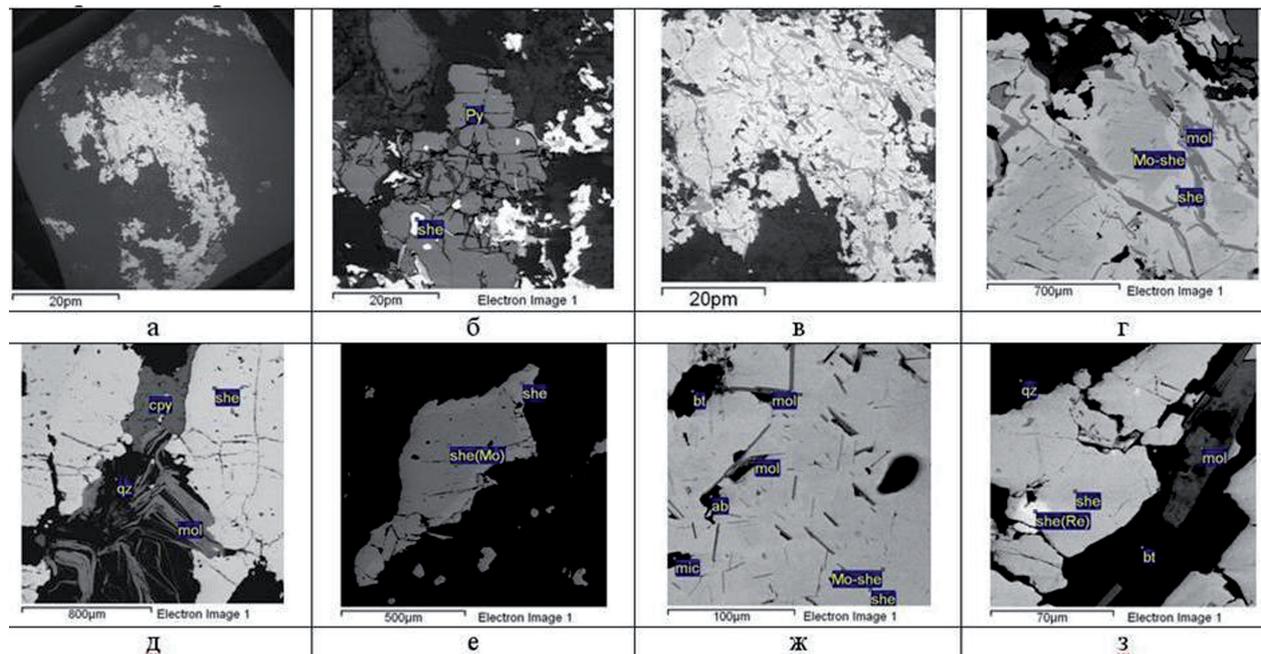


Рис. 4. Шеелиты в Cu-W-Mo-рудах проявления Ялонвара:

а – прожилково-гнездовые пирит-молибденит-шеелитовые руды, б – сростание пирита и шеелита, в – шеелит-молибдошеелитовые гнезда с вростками молибденита, г – соотношение молибдошеелита, шеелита и молибденита-1 и 2, д – сростание халькопирита, молибденита-2 и шеелита, е – зональный шеелит, ж – тонкие пластинки молибденита-1 в молибдошеелите, з – включения Re-содержащего шеелита в шеелите.

Fig. 4. Scheelites in Cu-W-Mo-ores from the Jalonvaara occurrence:

а – streaky-pocket pyrite-molybdenite-scheelite ores, б – pyrite-scheelite intergrowth, в – scheelite-molybdo-scheelite pockets with molybdenite ingrowths, д – molybdo-scheelite-scheelite-molybdenite-1 and 2 ratio, е – chalcopyrite - molybdenite-2 – scheelite intergrowth, ж – zonal scheelite, г – thin molybdenite-1 lamellae in molybdo-scheelite, з – Re-bearing inclusions in scheelite.

и жилах. В рудах золото-полиметаллического месторождения Лобаш-1 вкрапленные шеелиты более однородны по составу. W-минерализация более редкая, чем в Ялонваре.

На проявлениях рудного поля Ялонвара наблюдается смена состава шеелитов: от молибдошеелитов с избыточными концентрациями Мо, сопровождающимися выпадением тонких ламелл молибденита-1, до чистых шеелитов в сростании с мелкочешуйчатым молибденитом-2. Руды проявлений рудного поля Ялонвара более обогащены вольфрамом. Формирование (W)-Мо и благороднометаллической минерализации в них совмещено и сближено по времени. Шеелиты золото-пирит-кварцевого типа руд однородны.

Содержание Мо в молибдошеелитах колеблется и составляет 5-27.5 %. Рений как примесь установлен в молибдените обоих типов рудных объектов (Богачев и др., 1999), также он обнаружен в молибдошеелитах. Однако вопрос о вхождении Re в состав молибдошеелитов требует дополнительного изучения.

Работа выполняется в рамках темы НИР № ГР АААА-А18-118020290084-7.

## Литература

1. Богачев В.А. и др. 1999. Осмий и рений в молибденитах гранит-порфировых проявлений Карелии // Минерал. геол. журнал. 1999. № 1. С. 13–15.
2. Иващенко В.И., Лавров О.Б. Магматогенно-рудная система Ялонварского вулcano-плутонического комплекса архея Карелии. Петрозаводск. Изд-во: КарНЦ РАН. 1994. 127 с.
3. Иващенко В.И., Лавров О.Б. Комплексное порфировое месторождение Ялонвара в архее Карелии (Россия) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38. № 5. С. 412–423.

4. Кулешевич Л.В., Тытык В.М., Коротаяева Н.Н. Минералогия руд и околорудно-измененных пород золото-полиметаллического месторождения Лобаш-1 (Карелия) // Записки РМО. 2004. № 4. С. 39–51.
5. Кулешевич Л.В., Тытык В.М., Коротаяева Н.Н. Золото-полиметаллическое месторождение Лобаш-1 в докембрии Карелии // Геология и полезные ископаемые. 2004. С. 111–126.
6. Минерально-сырьевая база Р. Карелия. Петрозаводск. Изд-во: Карелия. 2005. 278 с.
7. Тытык В.М., Фролов П.В. Молибденовое месторождение Лобаш – крупный перспективный объект в Республике Карелия // Труды КарНЦ РАН. 2014. № 1. С. 56–62.