

Характеристика каменного литья и стеклогранулята

№ состава	Состав шихты	Каменное литье			$\alpha \cdot 10^{-3}$ стеклогранулята
		$\alpha \cdot 10^{-2}$	Плотность, кг/м ³	Микроструктура	
1	Пироксеновый порфирит	1,9	2,78	Стекло с редкими сферолитами пироксена	0,045
2	Порфирит + отходы обогащения хромита (5%)			Сферолиты пироксена с дендритами Мт в центре, в тонкозернистой Мт-Ру массе	
3	Порфирит + отходы обогащения хромита (10%)	3,6	2,85	Между дендритами Мт тонкозернистый пироксен	
4	Порфирит (70%) + отходы обогащения сиенитов (30%)	1,6	2,82	Сферолиты пироксена в тонкозернистой магнетит-пироксеновой массе	1,5
5	Состав 4 + отходы обогащения хромита (5%)	3,4	2,93	Между дендритами магнетита – тонкозернистый пироксен	
6	Порфирит (60%) + отходы обогащения сиенитов (40%)	2,6	2,86	Сферолиты пироксена с точечными кристаллами Мт в центре	8
7	Состав 6 + 5% отходов обогащения хромита	4,7	2,93	Между дендритами магнетита – тонкозернистый пироксен	
8	Порфирит (50%) + отходы обогащения сиенитов (50%)	8,4	2,94	Радиально-лучистые агрегаты пироксена с изометричными образованиями магнетита в центре. Вокруг агрегатов – каемки остаточного стекла	

Добавка 5% хромита в составы 4, 6 интенсифицирует процесс выделения магнетита, что отражается на микроструктуре (образование сетки дендритов магнетита), увеличении плотности и α материала (табл.). По данным р.ф.а. каменное литье всех изученных составов содержит остаточное стекло, что отражается в поднятии фона (гало) на дифрактограммах.

Таким образом, проведенные исследования показали, что хвосты обогащения хромовой руды являются эффективным катализатором кристаллизации петругических расплавов.

Преимуществом хромосодержащих хвостов пе-

ред хромистым железняком Саранского месторождения является малый размер зерен, что исключает необходимость помола.

Хвосты обогащения щелочных сиенитов способствуют повышению скорости объемной кристаллизации расплава пироксенового порфирита и поэтому являются перспективной добавкой при производстве средне- и мелкогабаритного каменного литья. Количество добавки должно определяться номенклатурой производимой продукции. Для подтверждения результатов лабораторных исследований необходимо проведение испытаний в заводских условиях.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРСЕНОПИРИТОВОГО И АРСЕНОПИРИТ-СФАЛЕРИТОВОГО ГЕОТЕРМОМЕТРОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУР РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ КАРЕЛИИ

И. В. Панфилова¹, Л. В. Кулешевич²

¹ Петрозаводский государственный университет, ФТФ

² Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск; kuleshev@krc.karelia.ru

Среди распространенных сульфидов лучше изучены и наиболее пригодны для целей геотермометрии арсенопирит и сфалерит. Составы этих минералов обычно фиксируют условия равновесия при образовании гидротермальных жильных месторождений, охлаждающихся относительно быстро (без наложенных ретроградных изменений), тогда как в метаморфизованных сульфидах равновесные составы не всегда могут сохраняться. Достоверность арсенопиритового геотермометра при оценке гидротермальных и метаморфизованных руд вызвала многочисленные споры и обсуждалась рядом исследователей. Мнения ученых о возможности использования этого геотермометра разделились. Исследования К. Сунбланда [1], проведенные для семи месторождений Швеции,

локализованных в каледонидах и образовавшихся в породах хлоритовой зоны зеленосланцевой фации, показали вполне приемлемые результаты: температура формирования руд составила 371 ± 45 °С (давление, при котором происходит метаморфизм, оценивалось по сфалеритовому геобарометру, а температура – по арсенопиритовому геотермометру). Полученные значения хорошо согласуются с РТ-параметрами формирования метаморфического пород, вмещающих руды. Это послужило основанием для заключения, что арсенопиритовый геотермометр и сфалеритовый геобарометр могут успешно применяться для реконструкции условий метаморфизма сульфидных руд.

Кроме этого были проведены исследования по оценке возможности применения арсенопи-

ритового геотермометра для метаморфизованных руд и гидротермальных месторождений [2]. Авторы этой работы пришли к выводу, что арсенопиритовый геотермометр можно использовать при определении температур формирования месторождений, подвергшихся метаморфизму зеленосланцевой и низкой ступени амфиболитовой фации. Однако применение его к месторождениям, локализованным в породах гранулитовой фации, дает заниженные температуры, а применение его при оценке образования гидротермальных руд — явно завышенные результаты. В первом случае, по мнению авторов, причиной расхождения послужило изменение состава арсенопирита при охлаждении (т. е. было достигнуто новое равновесное состояние, не соответствующее пику метаморфизма), а во втором случае при кристаллизации арсенопирита и сульфидов железа равновесие не было достигнуто. Поэтому при высоких давлениях следует учитывать влияние этого параметра на состав арсенопирита.

Работы С. Скотта [3], разработавшего арсенопиритовый и арсенопирит-сфалеритовый геотермометры, позволили определить температуры на месторождениях района Шелефтео (Швеция), в железорудных толщах в Австралии, серебряного жильного месторождения в Неваде. Результаты изучения полиметаллических жил на медно-порфировом месторождении в Британской Колумбии дали интервал температур 425–360 °С, вполне сопоставимый с результатами изучения флюидных включений 440–300 °С. Составы сфалерита и арсенопирита, сосуществующих с пиритом или/и пирротинном (при $P_{\text{общ.}} = 1$ кбар), автором были рассмотрены на диаграмме в координатах состав — температура. Данную диаграмму можно использовать также для установления равновесности или неравновесности составов сфалерита и арсенопирита.

Данные исследований Н. С. Бортникова [4] не позволяют согласиться с заключением З. Д. Шарпа [2] о том, что при гидротермальном минералообразовании не устанавливается равновесие состава арсенопирита с пиритом или/и пирротинном. Автором сравнивались температуры образования, полученные при использовании арсенопиритового и арсенопирит-сфалеритового геотермометров, с данными, полученными другими методами, в частности, по газовой-жидким включениям. Им было установлено, что содержание As в арсенопирите с пиритом меняется от 28 до 33,3 ат. %, а в ассоциации с пирротинном — от 30,5 до 33 ат. %. Несоответствие было обнаружено лишь при низких температурах. Для высоко- и среднетемпературных гидротермальных месторождений арсенопиритовый геотермометр был рекомендован для оценки условий формирования. В целом было установлено, что корреляция состава арсенопирита из различных парагенезисов и температур существует, полученные температуры минералообразования

были подтверждены другими методами оценки. Слабая достоверность результатов использования арсенопиритового геотермометра, устанавливаемая другими авторами, по-видимому, вызвана иными причинами. Прежде всего, недостаточная надежность этого геотермометра вытекает из его слабой экспериментальной изученности, особенно при температурах, соответствующих гидротермальному минералообразованию. С другой стороны, это обусловлено сложностью экспериментальных исследований фазовых соотношений в системе Fe-As-S из-за низких скоростей реакции с участием арсенопирита. Кроме того, одна из причин кроется в точности определения состава арсенопирита разными способами. Как показала практика применения рентгеновского и рентгеноспектрального микрозондового анализов, состав этих минералов вряд ли можно определить точнее $\pm 0,45$ ат. % As. Поскольку наклон моновариантных реакций на T-X диаграмме достаточно крутой, то неопределенность оценки по составу арсенопирита, равновесного с пиритом и пирротинном, может составлять до 50 °С. Таким образом, проведенные исследования показали, что арсенопиритовый геотермометр вполне возможно использовать для оценки минералообразования для высокотемпературных гидротермальных слабо метаморфизованных месторождений. Однако было отмечено и то, что для его успешного применения при температурах менее 400 °С необходимы дополнительные экспериментальные определения положения моновариантных равновесий. Дальнейшее совершенствование этого геотермометра, как отмечает автор, требует значительного улучшения определения химического состава арсенопирита.

В связи с неравновесностью образования арсенопирита и сфалерита в большинстве случаев, арсенопирит-сфалеритовый геотермометр признан непригодным для расчета температур. Температуры, полученные по этому геотермометру, оказались выше определенных по газовой-жидким включениям. Но, тем не менее, он может служить в целом для оценки неравновесности процесса. Использование сфалеритового геобарометра [5, 6] вообще представляется проблематичным.

Арсенопирит является достаточно распространенным минералом в разных типах рудной минерализации в архейских и протерозойских рудах Карелии. Он встречается в виде вкрапленности в колчеданных и колчеданно-полиметаллических проявлениях (Северо-Вожминское), в гнездовых и прожилковых скоплениях в зонах сурьмяно-мышьяковой минерализации (Северная Карелия), в золото-сульфидных и золото-сульфосольно-арсенидных месторождениях и проявлениях Карелии (Золотые Пороги, Южно-Костомукшское, Пякюля) и Финляндии (Корвилансуо, Осиконмяки и др.). Условия на-

чала рудообразования на этих проявлениях и месторождениях нами оцениваются по наиболее высокотемпературному минералу – арсенопириту (табл. 1). Результаты микронзондовых анализов арсенопиритов и температуры их образования определены по диаграмме из работы С. Скотта [3]. Выбор равновесных парагенезисов

арсенопирита с пиритом и/или пирротинном либо леллингитом осуществлялся при просмотре аншлифов по взаимоотношениям этих минералов или по указаниям других авторов в литературе. Признаком равновесия считается отсутствие коррозии или замещений одних минералов другими.

Таблица 1
Состав арсенопиритов некоторых месторождений и проявлений Карелии и Финляндии

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
As %	43,23	44,20	43,00	44,87	45,22	43,95	44,19	44,82	45,05	43,82	46,40	47,50	47,30
S	21,34	21,10	21,20	21,06	20,81	21,59	20,40	20,47	20,20	20,97	19,00	18,90	18,20
Sb	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,05	0	0	1,20	1,30	0,90
Fe	34,95	33,20	31,40	33,72	33,96	33,39	32,48	33,33	32,60	32,07	33,00	32,50	33,00
Ni	0,01	0,77	2,10	0,02	0,04	0,11	0,90	0,29	0,46	2,33	0,30	0,60	1,40
Co	0,20	0,22	0,49	0	0	0,19	0,53	0,03	1,90	0	0	0,00	0
Cu	0,02	0	0	0,04	0,03	0	0	0,01	0,02	0,02	0	0	0
Сумма	99,75	99,49	98,19	99,71	100,06	99,24	98,18	99,00	100,23	99,21	99,90	100,8	100,80
As ф.ед.	0,92	0,95	0,94	0,97	0,97	0,94	0,97	0,98	0,97	0,95	1,02	1,04	1,04
S	1,07	1,06	1,08	1,06	1,05	1,08	1,04	1,04	1,02	1,06	0,98	0,97	0,94
Sb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0,01
Fe	1,00	0,96	0,92	0,97	0,98	0,96	0,95	0,97	0,94	0,93	0,98	0,96	0,97
Ni	0	0,02	0,06	0	0	0	0,03	0,01	0,01	0,06	0,01	0,02	0,04
Co	0,01	0,01	0,01	0	0	0,01	0,01	0	0,05	0	0	0	0
As мол. %	30,82	31,73	31,17	32,20	32,43	31,31	32,19	32,53	32,41	31,57	34,07	34,72	34,67
T обр.	385	420	405	440	445	410	440	450	445	410	460	490	490

Окончание табл. 1

Компонент	14	15	16	17	18	19*	20*	21*	22*	23	24	25	26
As %	46,10	46,20	45,90	47,10	45,30	41,47	42,90	46,95	47,08	43,72	43,23	43,6	44,78
S	17,80	18,30	18,40	18,40	19,10	18,85	19,17	15,35	19,52	19,77	20,48	22,25	20,05
Sb	1,70	1,40	0,80	1,30	1,20	0,1	0,10	0	0	0,015	0	0	0,01
Fe	31,90	32,80	33,40	32,60	33,60	35,64	35,30	37,01	32,95	34,57	34,73	35,45	33,87
Ni	1,20	1,20	0,90	1,30	0,80	0	0	0,21	0	0,29	0,12	0,01	0,73
Co	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0	0,92	1,5	0,04	0,43
Cu	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0
Сумма	98,70	99,90	99,40	100,70	100,0	96,06	97,47	99,62	99,55	99,32	100,2	100,35	99,93
As ф.ед.	1,04	1,02	1,02	1,04	0,99	1,07	1,1	1,1	1,03	0,95	0,93	0,91	0,97
S	0,94	0,95	0,95	0,95	0,98	0,94	0,98	1,01	1,0	1,01	1,03	1,09	1,01
Sb	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	0,96	0,98	0,99	0,95	0,99	0,99	0,92	0,89	0,97	0,01	0	0	0,02
Ni	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0	0	0,01	0	0	0,4	0	0
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
As мол. %	34,65	34,13	33,91	34,56	33,12	31,09	31,75	35,35	34,39	31,72	30,93	30,45	32,32
T обр.	485	460	450	480	410	370	415	440	470	420	390	370	450

Примечание. Карелия (1–22): 1 – Северо-Вожминское; 2–10 – Золотые Пороги; 11–18 – Степанова Ламба; 19–21 – Костомукшский карьер; 22 – Пякюля. Финляндия (23–26): 23 – Корвилансуо, 24 – Келокорпи, 25 – Кивисуо, 26 – Мууринсуо, район Иломанси (Au 0,03–0,14 %). (Микронзондовые анализы. Ссылки в тексте). * – определения выполнены на МАР, ИГ КарНЦ РАН.

Колчеданно-полиметаллические руды Северо-Вожминского проявления Восточной Карелии содержат арсенопирит в ассоциации с пиритом, пирротинном, сфалеритом, галенитом и другими более низкотемпературными минералами [7]. Пирит и арсенопирит образовались близко одновременно, между их хорошо ограниченными кристаллами нет реакционных взаимоотношений. Нерудные минералы представлены кварцем, хлоритом, турмалином. В арсенопирите содержится 30,82 ат. % As, его $T_{обр.}$ была около 385 °С. По пириту, находящемуся в парагенезисе с арсенопиритом, максимальная $T_{обр.}$ определена в 390 °С (330–390 °С) [8]. Сфалерит Северо-Вожмин-

ского проявления цементирует пирит, в том числе в брекчированных рудах, и единичные выделения арсенопирита. Он содержит 4,07–10,86 ат. % FeS (табл. 2). Условия образования этих двух минералов отчетливо неравновесны. С подобным сфалеритом должен был бы сосуществовать арсенопирит с ~29,5–30,5 ат. % As, чего не наблюдается при изучении аншлифов. Соответственно, температура их совместного образования должна была бы быть ниже 350 °С. Геобарометр к данному парагенезису не применим. Сфалериты других колчеданных месторождений отличаются более высокими содержаниями железа, на Хаутоваарском месторождении – до 14,56% FeS.

Таблица 2

Состав сфалеритов некоторых рудных объектов Карелии

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fe %	2,36	6,23	3,90	5,88	6,70	8,32	7,65	7,02	6,7	6,15	6,88	6,52	7,19	6,05
Zn	56,45	59,72	62,8	60,51	58,10	57,17	59,02	57,39	57,2	59,75	56,03	60,14	55,16	57,27
Mn	0	0	—	—	—	0	0,38	0,09	0,06	—	—	0,31	—	—
Cu	8,51	0,09	0,85	0	0,79	0	0,076	1,29	2	—	—	—	—	—
Cd	0,22	0,16	0,22	0,11	0,53	0	0,015	1,29	2,4	0,29	0	—	1,98	1,25
Ag	0,12	0,01	—	—	—	0	0	0	—	—	—	—	—	—
S	31,83	33,26	32,8	32,61	32,80	34,29	33,14	33,3	32,4	33,59	34,81	32,68	33,1	29,7
Сумма	99,59	99,46	100,6	100,2	98,92	99,78	100,4	99,19	100,8	99,78	97,72	99,65	97,76	94,48
Fe ф.ед.	0,04	0,11	0,07	0,10	0,12	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,13	0,11
Zn	0,85	0,88	0,92	0,90	0,87	0,84	0,87	0,85	0,85	0,88	0,83	0,89	0,83	0,91
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu	0,13	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0
Ag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0,98	1,0	0,99	0,99	1,0	1,02	1,0	1,01	0,98	1,01	1,05	0,99	1,02	0,96
FeS мол.%	4,06	10,86	6,69	10,22	11,75	14,56	13,16	12,37	11,45	10,73	12,57	11,26	13,01	10,9
N	1	1	1	1	1	13	9	7	1	1	1	2	1	1

Примечание. N – количество анализов. 1–2 – Северо-Вожминское; 3–4 – Золотые Пороги (3 – Ni–0,02 %); 5 – Рыбозеро; 6 – Хаутоваара; 7 – Ялонваара; 8 – Кивисуо, Келокорпи, Рамепуро; 9 – Лобаш; 10–11 – Нигалма; 12 – Пякюля; 13–14 – Майское (13 – Co 0,27, Se 0,06%; 14 – Co 0,18, As 0,03%). (Микрозондовые анализы. Ссылки в тексте.)

Золото-сурьмяно-мышьяковая минерализация участка Золотые Пороги в Восточной Карелии представлена арсенопиритом, пиритом, халькопиритом, пирротином, бертьеритом, антимонитом, самородной сурьмой [9]. Для арсенопиритов этого участка характерно содержание As 31,17–32,53 ат. % и повышенные концентрации Co и Ni. Арсенопирит находится в парагенезисе с пиритом и содержит единичные включения проникающего по трещинкам пирротина. $T_{обр.}$ арсенопирита была около 405–450 °С. Вслед за арсенопиритом выделяются минералы, содержащие Sb. В условиях высокой концентрации серы (присутствие колчеданов) образуется тетраэдрит, привнос сурьмы сопровождается выделением бертьерита совместно с пирротином либо самородной сурьмы и антимонита. Формирование лиственитов с пиритом, сульфидов полиметаллов и золота происходит уже при снижении температуры. Появление сфалерита с содержанием Fe 6,69–10,22 ат. % в ассоциации с Sb-As минерализацией позволяет сказать, что он не равновесен с арсенопиритом и выделяется в условиях снижающейся температуры от 370 °С.

На участке Рыбозеро арсенопирит образуется совместно с пиритом, они встречаются совместно со сфалеритом и сульфосолями в первой золото-рудной залежи [10]. По $K_{гэлс}$ пирита $T_{обр.}$ раннего парагенезиса лежит в интервале 350–400 °С [8]. Сфалерит содержит 11,75 ат. % FeS. С ним при $T \leq 390$ °С должен был бы выделяться арсенопирит не менее чем с 30,8 ат. % As, но так как в данной ассоциации арсенопирит образуется раньше сфалерита, то его $T_{обр.}$ должна быть выше (микрозондовый анализ отсутствует).

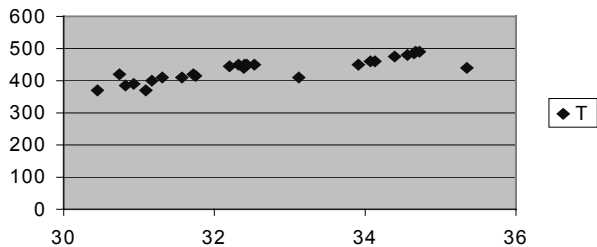
Сурьмяно-мышьяковая минерализация Северной Карелии (Винга, Еловое, Хизоваара) представлена арсенопиритом, халькопиритом, пирро-

тином, на участке Степанова Ламба развит более широкий спектр минералов, включающий леллингит, самородную сурьму, бертьерит, гудмундит, тетраэдрит, парараммельсбергит [11]. Для арсенопиритов этого проявления характерно присутствие Sb (от 0,3 до 17,7%) и зональное ее распределение – увеличение в кайме кристаллов арсенопирита. Для оценки $T_{обр.}$ использовались анализы с содержанием Sb не более 1,7%. Содержание As (в ат. %) в арсенопирите участка Степанова Ламба равно 33,12–34,72, $T = 400$ –480 °С (парагенезис с леллингитом). Условия метаморфизма на этих участках достигали амфиболитовой фации.

Золото-арсенопиритовая вкрапленная и прожилково-вкрапленная рудная минерализация Южно-Костомукшского рудопроявления содержит арсенопирит двух генераций, халькопирит, пирит и пирротин или пирротин и леллингит. Содержание As в арсенопирите составляет 31,1–31,7 и 35,5 ат. % [12]. Условия выделения арсенопирита в этих ассоциациях были определены интервалом $T = 370$ –440 °С. Температура образования кварцевых прожилков, вероятно, могла быть и выше (до 530 °С), судя по парагенезису роговой обманки и граната в околожильном ореоле.

Золото-сульфидно-кварцевые месторождения Финляндии в зеленокаменном поясе Ялонваара – Хатту – Тулос связаны с зонами расщепления и изменений в тоналитах и в их ореолах [13]. Арсенопирит месторождений Корвилансуо, Келокорпи, Кивисуо содержит от 29,9 до 34,3 ат. % As. Средние значения, рассчитанные по 2–15 анализам, для этих рудных объектов находятся в интервале 30,45–32,32 ат. % As. Соответственно, $T_{обр.}$ арсенопирита в парагенезисе с пирротинном и пирритом составляет 370–450 °С, причем более низкотемпературные арсенопириты распространены

на месторождениях Кивисуо и Келокорпи (по [13] их $T = 500\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$). Сфалериты с этих же месторождений характеризуются близкими составами и средним содержанием FeS 12,37 мол. %. На участке Ялонваара сфалериты содержат 13,16 мол. % FeS (пересчет по работе [14]). Сфалериты выделяются после арсенопирита (ниже $405\text{--}415\text{ }^\circ\text{C}$). Арсенопирит, равновесный с ними, судя по рис., должен был бы содержать не менее 31 ат. % As.



Зависимость температуры (Т) от содержания As (ат. %) в арсенопиритах

Для золото-полисульфидных проявлений Лехтинской структуры и месторождения Лобаш [15] характерны сфалериты в парагенезисе с пирротинном либо на участке Нигалма – с пиритом и ед-

ничными выделениями арсенопирита. Для сфалеритов этих участков установлено содержание FeS 10,73–12,57 мол. %. Так как на участке Нигалма состав арсенопирита не определен, то можно лишь предположить, что температура их совместной кристаллизации находится в интервале $410\text{--}370\text{ }^\circ\text{C}$.

Среди протерозойских рудных объектов в свекофеннской области на территории Северного Приладожья золото-сульфо-арсенидные проявления Пякюля содержат от 31,4–36,6 и до 40,1 ат. % As, что, скорее всего, связано с неточностью анализа, превышающего ошибку в $\pm 2\%$ [16]. По наиболее точному из анализов начальная $T_{\text{обр}}$ участка Пякюля, по-видимому, была около $470\text{ }^\circ\text{C}$ (табл. 1). Среднее содержание FeS в сфалерите составляет 11,26 мол. %, он образуется после дисульфидов (T ниже $380\text{ }^\circ\text{C}$).

Таким образом, проведенный анализ позволяет сказать, что наиболее низкая температура начала рудообразования, установленная по арсенопириту, равна для участка Северо-Вожминского 385, Золотые Пороги – $405\text{--}450$, Костомукша – $415\text{--}440$ (возможно, несколько выше), Винга, Степанова Ламба – $410\text{--}490$, Пякюля – до 470, для Финляндии (зеленокаменный пояс Хатту) – $390\text{--}450\text{ }^\circ\text{C}$ (рис.).

1. Sunblond K., Zachrisson E., Smieds S. A. et al. Sphalerite geobarometry and arsenopyrite geothermometry applied to metamorphosed sulfide ores in Swedish Caledonides // *Econ. Geol.* 1984. V. 79. P. 1660–1668.

2. Sharp Z. D., Essene E. J., Kelly W. C. A re-examination of the arsenopyrite geothermometer: pressure consideration and applications to natural assemblages // *Canad. Mineralogist.* 1985. V. 23. P. 517–534.

3. Скотт С. Д. Использование сфалерита и арсенопирита для оценки температур и активности серы в гидротермальных месторождениях // Физико-химические модели петрогенеза и рудообразования. Новосибирск, 1984. С. 41–49.

4. Бортников Н. С. О достоверности арсенопиритового и арсенопирит-сфалеритового геотермометров // *Геология рудных месторождений.* 1993. Т. 35, № 2. С. 177–191.

5. Hutchison M. N., Scott S. D. Sphalerite geobarometry in the Cu-Fe-Zn-S system // *Econ. Geol.* 1981. V. 76. P. 143–153.

6. Tornroos R. Sphalerite geobarometry of some metamorphosed sulphide ore deposits in Finland // *Geol. Survey of Finland. Bul.* 323. Espoo, 1982. P. 42.

7. Кулешевич Л. В., Фурман В. Н., Федюк З. Н. Перспективы золотоносности Каменноозерской структуры Сумозерско-Кенозерского зеленокаменного пояса // *Геология и полезные ископаемые Карелии.* Вып. 8. Петрозаводск, 2005. С. 50–67.

8. Кулешевич Л. В., Белашев Б. З. Колчеданное оруденение Восточной Карелии (опыт изучения состава и электрофизических свойств пиритов) // *Геология и полезные ископаемые Карелии.* Вып. 1. Петрозаводск, 1998. С. 57–72.

9. Кулешевич Л. В. Минералогия докембрийского золоторудного месторождения Рыбозеро (Восточная Карелия) // *Записки РМО.* 2003. № 6. С. 34–44.

10. Кулешевич Л. В., Фурман В. Н., Кортаева Н. Н. Редкая сурьмяная минерализация докембрийского рудопроявления Золотые Пороги в Восточной Карелии // *Записки РМО.* 1998. № 6. С. 89–98.

11. Кулешевич Л. В., Слюсарев В. Д., Гришин А. С., Земцов В. А. Новые данные по минералогии и геохимии сурьмяно-мышьякового оруденения Северной Карелии // *Новое в минералогии Карело-Кольского региона.* Петрозаводск, 1990. С. 141–160.

12. Кулешевич Л. В., Васюкова О. В., Фурман В. Н. Минералогия и условия формирования золоторудных проявлений Костомукшской структуры по данным газово-жидких включений // *Записки РМО.* 2005. № 5. С. 19–31.

13. *Geological development, gold mineralization and exploration methods in the Late Archean Hattu Shist belt, Pomantsi, eastern Finland.* Ed. by Pekka A. Nurmi and P. Sorjonen-Ward // *Geol. Survey of Finland. Sp. paper* 17. Espoo, 1993. 386 p.

14. Кулешевич Л. В., Тытык В. М., Кортаева Н. Н. Минералогия руд и околорудно-измененных пород золото-полиметаллического месторождения Лобаш-1 (Карелия) // *Записки РМО.* 2004. № 4. С. 39–51.

15. Иващенко В. И., Лавров О. Б. Магματοгенно-рудная (Mo, W, Cu, Au) система ялонварского вулканоплутонического комплекса архея Карелии. Петрозаводск, 1994. 128 с.

16. Иващенко В. И., Ручьев А. М., Лавров О. Б. и др. Эндогенная золоторудная система Суйстамского плутонического комплекса (Северное Приладожье) // *Геология и полезные ископаемые Карелии.* Вып. 7. Петрозаводск, 2004. С. 127–146.