



<https://doi.org/10.35597/2313-545X-2026-12-3-1>

УДК 549.02 + 549.6 (470.22)

Цинк- и оловосодержащие силикаты в метасоматитах Питкярантского рудного района (Южная Карелия, Россия)

М.О. Булах¹, Е.И. Герасимова², В.О. Япаскерт¹, С.А. Ушакова^{1,3}, Н.Н. Коротаева¹

¹Московский государственный университет, Ленинские горы 1, г. Москва,
119991 Россия; aregon27@mail.ru

²Российский федеральный центр судебной экспертизы им. проф. А.Р. Шляхова при Министерстве юстиции РФ,
4-й Крутицкий пер. 10/1, г. Москва, 109044 Россия

³Институт экспериментальной минералогии РАН, ул. Академика Осипьяна 4,
г. Черноголовка, Московская область, 142432 Россия

Статья поступила в редакцию 06.04.2026 г., после доработки 23.04.2026 г., принята к печати 31.07.2026 г

Аннотация. Концентраторами Sn и Zn в рудоносных скарнах и апоскарновых метасоматитах Питкярантского рудного района (Южная Карелия) наряду с оксидами и сульфидами выступают силикаты. Олово концентрируется, преимущественно, в силикатах известково-скарновых ассоциаций: в гранатах ряда андрадит-гроссуляр (до 2.6 мас. % SnO₂), эпидоте (до 0.55 мас. % SnO₂) и магнезиогастингите (до 1.0 мас. % SnO₂). Во флюорит-везувиановых метасоматитах встречается редкая в природе обогащенная оловом (до 1.0 мас. % SnO₂) разновидность диопсида. Примесный цинк отмечается в силикатах как скарновых, так и апоскарновых пневматолито-гидротермальных парагенезисов: в диопсиде (до 0.3 мас. % ZnO), гранатах ряда андрадит-гроссуляр, везувиане, хондродите (до 0.4 мас. % ZnO), кальциевых амфиболах (до 0.7 мас. % ZnO), фтористом флогопите (до 1.2 мас. % ZnO), клинохлоре (до 1.4 мас. % ZnO), антигорите (до 3.1 мас. % ZnO), серпентинах серии лизардит-амезит (до 3.7 мас. % ZnO), гриналите (до 18.7 мас. % ZnO), а также в бериллосиликатах группы гельвина (до 41.2 мас. % ZnO, т. е. до гентгельвина). Обсуждаются схемы изоморфизма с участием Sn и Zn в различных силикатах.

Ключевые слова: изоморфизм, оловоносные скарны, Sn-содержащий андрадит, Sn-содержащий диопсид, Zn-содержащий серпентин.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (г. Москва, Россия), государственная бюджетная тема № 121061600049-4.

Благодарности. Авторы благодарны Н.Н. Кононковой и И.А. Брызгалову за участие в проведении микрорентгеноспектральных исследований, И.В. Пекову и И.А. Бакшееву – за консультации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. М.О. Булах – разработка концепции, исследования, написание черновика и редактирование финального варианта рукописи; Е.И. Герасимова – исследования, редактирование финального варианта рукописи; В.О. Япаскерт, С.А. Ушакова, Н.Н. Коротаева – электронно-зондовые исследования. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Для цитирования. Булах М.О., Герасимова Е.И., Япаскерт В.О., Ушакова С.А., Коротаева Н.Н. Цинк- и оловосодержащие силикаты в метасоматитах Питкярантского рудного района (Южная Карелия, Россия). *Минералогия*, 2026, 12(3), 5–27. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2026-12-3-1>

Zinc- and tin-bearing silicates in metasomatites of the Pitkäranta ore district (South Karelia, Russia)

M.O. Bulakh¹, E.I. Gerasimova², V.O. Yapaskurt¹, S.A. Ushakova^{1,3}, N.N. Korotaeva¹

¹ Moscow State University, Leninskie gory 1, Moscow, 119991 Russia; aregon27@mail.ru

² Professor Shlyakhov Russian Federal Center for Forensic Expertise of the Ministry of Justice of the Russian Federation, 4i Krutitsky per. 10/1, Moscow, 109044 Russia

³ Institute of Experimental Mineralogy RAS, ul. Akademika Osipyana 4, Chernogolovka, Moscow region, 142432 Russia

Received 06.04.2026, revised 23.04.2026, accepted 31.07.2026

Abstract. Together with oxides and sulfides, silicates host Sn and Zn in ore-bearing skarns and metasomatites after skarns of the Pitkäranta ore district (South Karelia). Tin is mainly hosted in silicates of calcareous skarn assemblages: garnets of the andradite-grossular series (up to 2.6 wt. % SnO₂), epidote (up to 0.55 wt. % SnO₂) and magnesiohastingsite (up to 1.0 wt. % SnO₂). A rare Sn-rich diopside (up to 1.0 wt. % SnO₂) is found in fluorite-vesuvianite metasomatites. Zinc is detected in silicates of both skarn and pneumatolytic-hydrothermal (after skarn) assemblages: diopside (up to 0.3 wt. % ZnO), garnets of the andradite-grossular series, vesuvianite, chondrodite (up to 0.4 wt. % ZnO), Ca amphiboles (up to 0.7 wt. % ZnO), F-rich phlogopite (up to 1.2 wt. % ZnO), clinocllore (up to 1.4 wt. % ZnO), antigorite (up to 3.1 wt. % ZnO), serpentines of the lizardite-amesite series (up to 3.7 wt. % ZnO), greenalite (up to 18.7 wt. % ZnO), as well as helvine group beryllosilicates (up to 41.2 wt. % ZnO, i.e., up to genthelvite). Isomorphism schemes involving Sn and Zn in various silicates are discussed.

Keywords: isomorphism, Sn-bearing skarns, Sn-bearing andradite, Sn-bearing diopside, Zn-bearing serpentine.

Funding. This work was supported by state contract of the Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia), project no. 121061600049-4.

Acknowledgements. The authors are grateful to N.N. Kononkova and I.A. Bryzgalov for their participation in microprobe studies and I.V. Pekov and I.A. Baksheev for consultations.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Author contribution. M.O. Bulakh – concept development, research, writing the draft and editing the final version of the manuscript; E.I. Gerasimova – research, editing the final version of the manuscript; V.O. Yapaskurt, S.A. Ushakova, N.N. Korotaeva – microprobe studies. All the authors approved the final version of the article before publication.

For citation: Bulakh M.O., Gerasimova E.I., Yapaskurt V.O., Ushakova S.A., Korotaeva N.N. Zinc- and tin-bearing silicates in metasomatites of the Pitkäranta ore district (South Karelia, Russia). *Mineralogy*, 2026, 12(3), 5–27. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2026-12-3-1>

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, в Sn-полиметаллических месторождениях скарновой формации халькофильные металлы (Sn, Zn, Cu, Pb) не только образуют собственные минералы, но и находятся в виде изоморфных примесей в силикатах – кальциевых гранатах, пироксенах, амфиболах, слюдах. Особенно высоких значений в скарновых силикатах достигают концентрации цинка и олова. Так, для многих оловоносных скарнов характерно широкое развитие богатых оловом (иногда до 6 мас. % SnO₂) гранатов ряда андрадит-гроссуляра (Dadak, Novak, 1965; McIver, Mihalik, 1975; Mulholland, 1984; Plimer, 1984; Кононов и др., 1989; Chen et al., 1992; Scribner

et al., 2017; Deidda et al., 2023; Meyer et al., 2025) и членов серии титанит CaTi[SiO₄]O – малаяит CaSn[SiO₄]O (Александров, 1982; Mulholland, 1984; Plimer, 1984; Александров, Тронева, 2003; Meyer et al., 2025), Sn-содержащих разновидностей эпидота (до 7.8 мас. % SnO₂), клиноцоизита (до 3.0 мас. % SnO₂), везувиана (до 1.0 мас. % SnO₂) и различных амфиболов (до 2.7 мас. % SnO₂) (Brown et al., 1984; Van Marcke, 1986; Chen et al., 1992; Yuan et al., 2018; Ordosch et al., 2019; Meyer et al., 2025). В некоторых скарновых объектах кальциевые гранаты, амфиболы и везувиан концентрируют цинк. Например, в известковых скарнах Тельбесского железорудного района в Горной Шории известен андрадит, содержащий до 2.8 мас. % ZnO (Казанцева и др., 2025).

Опубликованные данные по скарновым объектам разных регионов показывают, что каждый объект индивидуален по содержанию Sn и Zn в силикатах. Изоморфные замещения с участием Sn и Zn в природных силикатах редки и потому представляют интерес с точек зрения как кристаллохимии, так и генетической минералогии. Кроме того, исследование форм нахождения рудных компонентов важно для достоверной оценки экономического потенциала конкретных месторождений.

В настоящей работе рассмотрены обогащенные Sn и Zn разновидности главных и второстепенных силикатов рудоносных скарнов и апоскарновых метасоматитов Питкярантского рудного района в Южной Карелии. В европейской части России это единственный район с промышленным оловянным оруденением. Питкярантские рудные залежи обрабатывались на олово, медь и железо (с попутным извлечением золота и серебра) в XIX – начале XX вв. В ходе комплексных геологоразведочных работ второй половины XX в. в Питкярантском районе были открыты Китильское оловорудное месторождение, а также ряд проявлений флюорита, Zn, W, Sn, Be и других редких металлов, в т. ч. In. Прогнозные ресурсы Zn по рудному району составляют 2646 тыс. т, что соответствует среднему месторождению, олова – 87 тыс. т (Минерально-сырьевая..., 2005).

В качестве силикатных концентраторов олова в питкярантских скарнах давно известны гранаты ряда андрадит-гроссуляр (Хазов, 1973; Долгашева, Зуев, 1979; Гайдукова и др., 1980; Gerasimova, 2007; Иващенко, Голубев, 2015). Содержание олова в них по данным (Иващенко, Голубев, 2015) достигает 3 мас. % SnO₂. Вместе с тем, опубликованные химические анализы этих гранатов немногочисленны, а основная их часть относится к материалу из Китильского Sn месторождения. Недавно (Иващенко, 2024) были охарактеризованы минералы серии титанит–малайит из проявлений Валкеалампи и Кулисмайоки, а также из Китильского месторождения. Собственные силикаты Sn помимо малайита здесь представлены редкими стокезитом $\text{Ca}_2\text{Sn}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и икеритом $\text{Ca}_2\text{Sn}[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Гайдукова и др., 1980; Волошин, Пахомовский, 1988). Из числа цинковых силикатов в питкярантских метасоматитах известны виллемит $\text{Zn}[\text{SiO}_4]$, гардистонит $\text{Ca}_2\text{Zn}[\text{Si}_2\text{O}_7]$ (Нефедов, 1973), а также бериллосиликат гентгельвин (Булах и др., 2025б).

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Питкярантский рудный район находится на юге Балтийского щита в области сочленения архейского Карельского кратона с раннепротерозойским Свекофенским подвижным поясом. Геологическое строение района показано на рис. 1. Рудные объекты размещаются в северо-западном экзоконтакте раннерифейского Салминского батолита, прорывающего глубокометаморфизованные толщи сортавальской и ладожской серий раннепротерозойского возраста и ремобилизованные фрагменты архейского кристаллического фундамента, т. н. гранито-гнейсовые купола. Оруденение локализуется преимущественно в двух скарнированных карбонатных горизонтах питкярантской свиты сортавальской серии в зоне сравнительно пологого погружения кровли гранитов-рапакиви под вмещающие породы (Щипцов и др., 2020).

Первый этап скарнообразования, затронувший, главным образом, магнезиально-кальциевые известковые породы нижнего горизонта, связывают с ремобилизацией гранито-гнейсовых куполов и, в меньшей степени, с внедрением в супракрустальную толщу небольших тел плагиогранитов, гранодиоритов и гранитных пегматитов в течение свекофенского тектонометаморфического цикла (1.9–1.8 млрд лет). Эти синорогенные магнезиальные скарны подверглись интенсивному известковоскарновому замещению, предположительно, в период внедрения гранитоидов Салминского интрузива (1.55–1.53 млрд лет), вызвавшего одновременно новую волну скарнирования доломитовых мраморов в верхнем карбонатном горизонте. На постмагматическом этапе по зонам трещиноватости развивались апогранитные и апокарбонатные (в т. ч. апоскарновые) грейзены. Кроме того, магнезиально- и известково-скарновые ассоциации в разной степени подверглись преобразованию в карбонатили кварц-гидросиликатные гидротермалиты (Хазов, 1973; Ларин и др., 1991; Щипцов и др., 2020). Развитие оловянного оруденения связывают с известково-скарновым и грейзеновым процессами, а для рудной цинковой (в основном, сфалеритовой) минерализации предполагается еще более широкий диапазон обстановок образования (Иващенко, Голубев, 2015). Подробно вопросы минералогии и генезиса рудоносных метасоматитов Питкярантского района рассматриваются в работах (Никольская, Ларин, 1972; Хазов, 1973; Иващенко, 1987; Ларин и

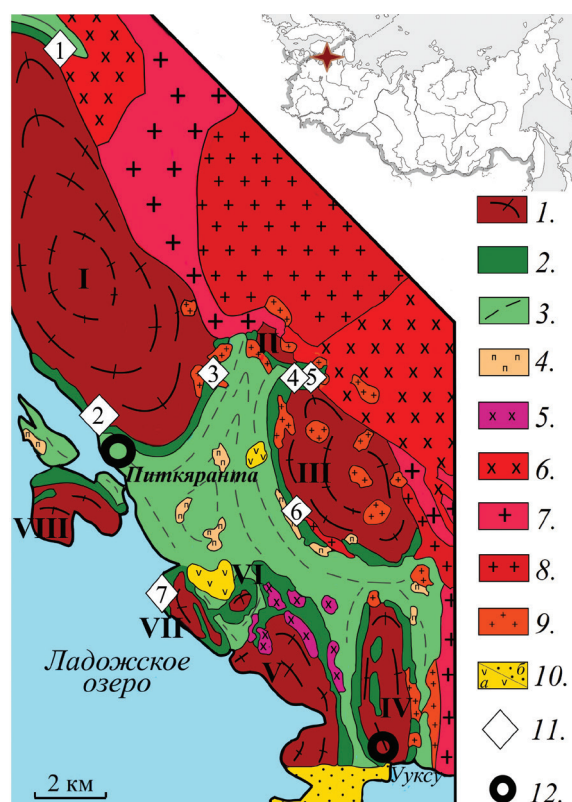


Рис. 1. Схема геологического строения Питкярантского рудного района по (Ларин и др., 1991).

1 – гранито-гнейсовые купола: I – Питкярантский, II – Винбергский, III – Люпикковский, IV – Уксинский, V – Ристиниемский, VI – Хепосельский, VII – Юляристинский, VIII – Пусунсаарский; 2 – амфиболиты, амфиболовые сланцы, мраморы питкярантской свиты сортавальской серии; 3 – слюдяные сланцы и кварциты ладожской серии; 4 – синорогенные гранитные пегматиты керамического типа; 5 – синорогенные плагиограниты и гранодиориты; 6 – 9 – гранитоиды Салминского интрузива: 6 – биотит-амфиболовые граниты I фазы; 7 – мелкозернистые порфиридные биотитовые граниты II фазы; 8 – крупнозернистые биотитовые граниты II фазы; 9 – высокодифференцированные литий-фтористые граниты III фазы; 10 – салминская свита: а – базальты; б – песчаники; 11 – объекты, материал из которых изучен в рамках настоящей работы: 1 – Кительское оловянное месторождение; 2 – Старое рудное поле; 3 – Новое рудное поле; 4 – Известковая ломка (Хопунваара); 5 – Клара (Хопунваара); 6 – Люпикко; 7 – проявление хондродитовых кальцифиров на мысе Риситиниеми; 12 – населенные пункты. На карте-врезке показано местонахождение Питкярантского рудного района.

Fig. 1. Scheme of geological structure of the Pitkäranta ore district after (Larin et al., 1991).

1 – granite-gneiss domes: I – Pitkäranta; II – Vinberg; III – Lupikko; IV – Uksa; V – Ristiniemi; VI – Heposelk; VII – Yulyaristi; VIII – Pusunsaari; 2 – amphibolite, amphibole shale, marble of the Pitkäranta Formation, Sortavala Group; 3 – mica shale and quartzite of the Ladoga Group; 4 – synorogenic ceramic granitic pegmatite; 5 – synorogenic plagiogranite and granodiorite; 6–9 – granitoids of the Salmi intrusive: 6 – phase I biotite-amphibole granite; 7 – phase II fine-grained porphyritic biotite granite; 8 – phase II coarse-grained biotite granite; 9 – phase III Li-F granite; 10 – Salmi Formation: a – basalt; б – sandstone; 11 – studied objects: 1 – Kiteel Sn deposit; 2 – Staroe rudnoe pole (Old ore field); 3 – Novoe rudnoe pole (New ore field); 4 – Izvestkovaya lomka mine (Hopunvaara); 5 – Klara mine (Hopunvaara); 6 – Lupikko mine; 7 – occurrence of chondrodite calciphyre at Cape Ristiniemi; 12 – settlements. The inset shows the location of the Pitkäranta ore district on the map of Russia.

др., 1991; Gerasimova, 2007; Иващенко и др., 2011; Иващенко, Голубев, 2015; Ivashchenko, 2021; Булах и др., 2025a).

В настоящей статье представлены данные исследований материала из семи объектов Питкярантского района (табл. 1), расположение которых

показано на рис. 1. Детальные сведения о геологическом строении, минералогии и историческом значении конкретных участков можно найти в работах (Булах, Франк-Каменецкий, 1961; Хазов, 1973; Печков и др., 2008; Борисов, 2017).

Таблица 1. Проявления и месторождения Питкярантского рудного района, материал из которых изучен в настоящей работе

Table 1. Occurrences and deposits of the Pitkäranta ore district, the material from which is studied in our work

Объект	Краткая характеристика метасоматитов (Булах, Франк-Каменецкий, 1961; Никольская, Ларин, 1972; Нефедов, 1973; Хазов, 1973; Пеков и др., 2008; Иващенко и др., 2011; Иващенко, Голубев, 2015; Булах и др., 2025a)
Кительское оловорудное месторождение (61°40'55" с.ш., 31°24'59" в.д.)	Апомагнезиальные известковые скарны: гранаты ряда андрадит–гроссулярь, диопсид, кальциевые амфиболы, эпидот, члены ряда титанит–малаяит, тальк, хлориты, кальцит, касситерит, шеелит, магнетит, халькопирит, пирит, молибденит, сфалерит, галенит, самородные висмут и серебро
Старое рудное поле (61°34'45" с.ш., 31°27'25" в.д.)	
Люпикко (61°33'37" с.ш., 31°33'6" в.д.)	Магнезиальные скарны, апомагнезиальные известковые скарны, апоскарновые грейзены (слюдиты) и гидротермалиты: диопсид, хондродит, гранаты ряда андрадит–гроссулярь (редко), везувиан, фторвезувиан, кальциевые амфиболы, слюды ряда флогопит–аннит, минералы группы гельвина (редко – берtrandит, фенакит и др. минералы Be), тальк, серпентин, хлориты, флюорит, кальцит, доломит, магнетит, шпинелиды ряда ганит–герцинит, касситерит, шеелит, халькопирит, арсенопирит, пирит, лёллингит, сфалерит, галенит, кубанит, пирротин, гессит, алтаит, самородные висмут и серебро
Известковая ломка, ЮЗ оконечность (Хопунваара) (61°35'30" с.ш., 31°33'3" в.д.)	Ритмично-тонкополосчатые метасоматиты, образующие трубообразные тела в хондродитовых кальцифирах: везувиан, флюорит, магнетит, шпинелиды ряда ганит–герцинит, хондродит, серпентин, флогопит, самородный висмут
Клара (Хопунваара) (61°35'26" с.ш., 31°33'33" в.д.)	Серпентинизированные магнезиальные скарны со слабо проявленной грейзенизацией: диопсид, хондродит, норбергит, шпинель, флогопит, тальк, антофиллит, серпентин, хлориты, флюорит, кальцит, доломит, магнетит, пиррофанит, сфалерит, касситерит, шеелит, галенит, арсенопирит, акантит
Гербертц-1 (Новое рудное поле) (61°35'3" с.ш., 31°30'25" в.д.)	
Ристиниеми (61°32'29" с.ш., 31°29'26" в.д.)	Безрудные силикатно-карбонатные породы (кальцифиры) неясного (метаморфического/метасоматического) генезиса: кальцит, хондродит, норбергит, флогопит, фторфлогопит, диопсид, кальциевые амфиболы

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе приведены данные изучения более 250 образцов, часть из которых собрана лично авторами в разные годы полевых исследований, а часть предоставлена кафедрой минералогии геологического факультета Московского государственного университета (МГУ, г. Москва, Россия).

Химический состав минералов проанализирован в Лаборатории локальных методов исследования вещества на кафедре петрологии и вулканологии геологического факультета МГУ с помощью сканирующих электронных микроскопов (СЭМ) Jeol JSM-648LV и Jeol JSM-IT500 с комбинированными системами на основе волновых и энергодисперсионных спектрометров (ВДС и ЭДС). Основ-

ная часть анализов выполнена энергодисперсионным методом. Количественные анализы получены при следующих условиях: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток электронного зонда 7 нА, время накопления спектра 70–100 с, диаметр зонда около 3 мкм. Предел обнаружения для разных элементов при выбранных условиях измерений составлял 0.05–0.20 мас. % (в частности, для Zn – 0.08 мас. %, Sn – 0.15 мас. %, Na – 0.10 мас. %, F – 0.12 мас. %). Для определяемых элементов использовались следующие стандарты: Zn – ZnS ($K\alpha$), Sn – SnO₂ ($L\alpha$), K – микроклин ($K\alpha$), Na – альбит ($K\alpha$), Mg – диопсид ($K\alpha$), Ca – CaSiO₃ ($K\alpha$), Fe – Fe/FeS₂ ($K\alpha$), Mn – MnTiO₃ ($K\alpha$), Al – жадеит ($K\alpha$), S–SrSO₄ ($K\alpha$), Si – анортит/диопсид ($K\alpha$), Ti – TiO₂/Ti ($L\alpha$), V – V ($K\alpha$), Cr – Cr ($K\alpha$), F – флюорит ($K\alpha$), Cl – галит ($K\alpha$).

Условия получения спектров оптимизировались по $K\alpha$ -линии металлического Co . При определении концентраций элементов с перекрытием аналитических линий (F/Fe , Na/Zn) вводились специальные поправки. В спорных случаях измерения проводились с помощью волнового спектрометра.

Для дополнительной диагностики минералов использовались порошковая рентгенография и колебательная (инфракрасная и рамановская) спектроскопия. Рентгенографические исследования проводились на дифрактометре STOE-STADI MP (геометрия Дебая-Шеррера, $CuK\alpha$ -излучение, скорость съемки $2^\circ/\text{мин}$) на кафедре кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета МГУ. Регистрация инфракрасных (ИК) спектров выполнена с помощью ИК-Фурье-спектрометра ФСМ-1201 (диапазон $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$, спектральное разрешение 2 см^{-1} , режим “пропускание”), рамановских (КРС) спектров – с помощью рамановского спектрометра EnSpectr R532 (диапазон $200\text{--}4000\text{ см}^{-1}$, длина волны 532 нм , мощность лазерного луча от 5 до 15 мВт (подбиралась индивидуально для каждого минерала), время накопления сигнала – 1 с , усреднение по $80\text{--}200$ экспозициям); оба прибора установлены на кафедре минералогии геологического факультета МГУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гранаты ряда андрадит–гроссуляр являются типичными минералами апомагнезиальных известковых скарнов Питкярантского района и одними из главных концентраторов Sn в этих метасоматитах. Они встречаются в тесной ассоциации с диопсидом, кальциевыми амфиболами, эпидотом, касситеритом и поздними сульфидами (рис. 2А). В скарнах Кительского оловорудного месторождения и Старого рудного поля выделено несколько генераций гранатов. Ранний гранат представлен андрадитом ($67\text{--}97\text{ \% Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$); он образует зеленовато-черные, буро-зеленые или красновато-коричневые кристаллы размером от 1 мм до 1 см , обычно собранные в щетки и нарастающие на диопсид. Желтовато-зеленые и желто-коричневые гранаты поздних генераций, наблюдающиеся в виде корок из кристаллов до 1 мм на раннем андрадите и залечивающие в его индивидах трещины, относятся к гроссуляру или промежуточным членам ряда андрадит–гроссуляр ($45\text{--}75\text{ \% Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$). Представительные анализы оловосодержащих гранатов из отвалов Кительского оловорудного месторож-

дения, Старого рудного поля и проявления Люпикко приведены в таблице 2. Примесь Sn характерна как для ранних, так и для поздних гранатов, но, в целом, ее концентрация выше в андрадите (рис. 3А). Наибольшее содержание Sn в исследованных нами образцах составило $2.6\text{ мас. \% SnO}_2$ (0.09 а.ф. Sn), оно зафиксировано в андрадите из скарнов Старого рудного поля. В кристаллах часто отмечается осцилляционная зональность, выраженная чередованием тонких зон с различными соотношениями минералов андрадита и гроссуляра, а также других компонентов. Распределение Sn тоже подчиняется этой зональности: зоны, где Sn не фиксируется СЭМ-ЭДС анализом, чередуются с обогащенными Sn зонами. Иногда в гранатах отмечается до $0.4\text{ мас. \% ZnO}$ (0.03 а.ф. Zn) (рис. 3Б).

Диопсид. Обогащенный Sn (до $1.0\text{ мас. \% SnO}_2$) диопсид описан в измененных магнезиальных скарнах участков Хопунваара (Известковая ломка) и Люпикко. На проявлении Люпикко он встречается в реликтовых пироксеновых агрегатах среди везувиан-флюоритовых метасоматитов массивной текстуры, а на Хопунвааре – в реликтах жильного диопсидового скарна среди тонкополосчатой магнетит-везувиан-флюоритовой породы. Богатый Sn пироксен развивается по массивным агрегатам раннего диопсида, образуя по его краям заливообразные участки размером до 0.5 мм (рис. 4а). Типичный химический состав раннего диопсида в исследованных образцах (мас. %): $SiO_2\ 55.35$, $CaO\ 25.47$, $MgO\ 18.31$, $FeO\ 0.50$, $Al_2O_3\ 0.35$, $Na_2O\ 0.10$, сумма 100.08 , эмпирическая формула: $Ca_{0.99}(Mg_{0.98}Fe^{2+}_{0.02}Al_{0.01})_{\Sigma 1.01}[Si_{2.00}O_6]$. Новообразованный Sn -содержащий диопсид по сравнению с ним более богат Fe , которое при вычислении формульных коэффициентов катионным методом рассчитывается преимущественно как Fe^{3+} . В хопунваарских образцах Sn -содержащий диопсид обогащен Al (табл. 3).

В ассоциирующем с гранатами диопсиде из апомагнезиальных известковых скарнов Кительского месторождения изредка фиксируется $0.1\text{--}0.2\text{ мас. \% SnO}_2$ (табл. 3), чаще же концентрация этого компонента находится ниже предела обнаружения СЭМ-ЭДС методом (рис. 3В). Примесь Zn в питкярантском диопсиде не превышает $0.3\text{ мас. \% ZnO}$ (рис. 3Г).

Амфиболы. Кальциевые (тремолит, магнезиогорнблендит, магнезиогастингсит, гастингсит, саданагаит) и магнезиально-железистые (антофиллит) амфиболы присутствуют в различных типах питкярантских метасоматитов. Существенное содержание SnO_2 до $1.0\text{ мас. \%}$ (0.06 а.ф. Sn)

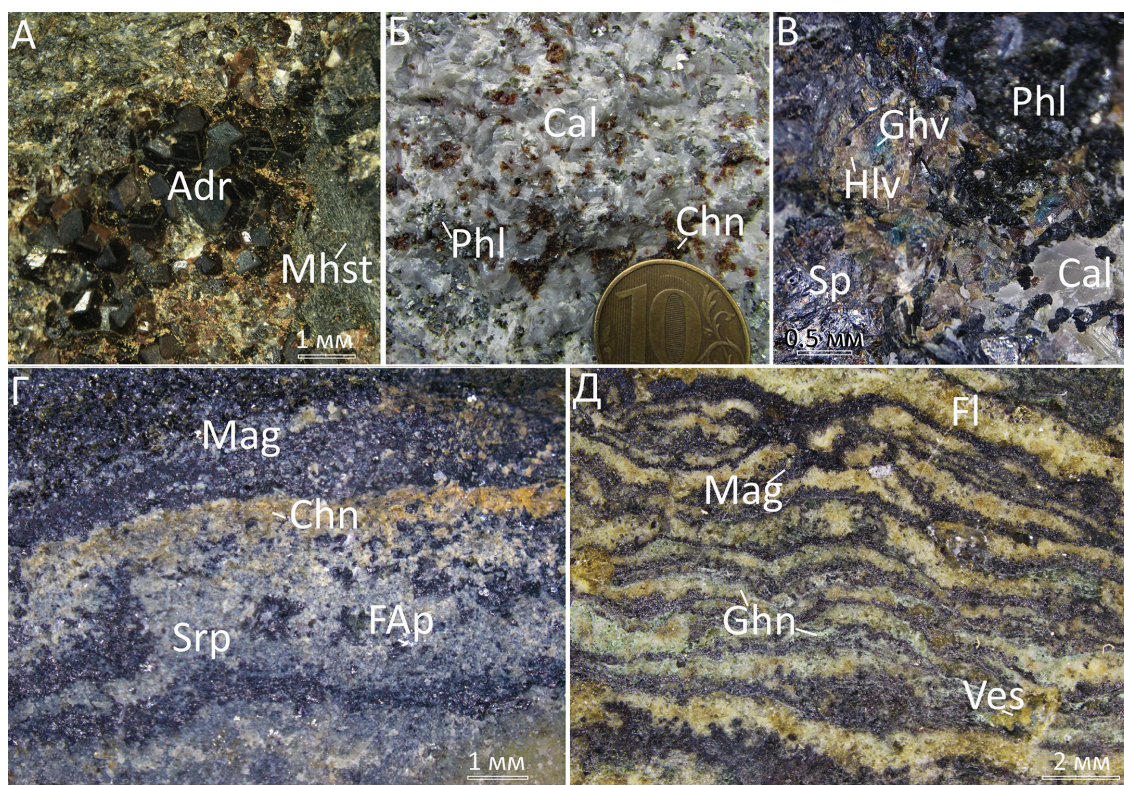


Рис. 2. Некоторые минеральные ассоциации метасоматитов Питкярантского рудного района: А – андрадит (Adr), нарастающий на магнезиогастингсит (Mhst) по диопсиду (скарны Кительского Sn месторождения); Б – хондродит (Chn) и флогопит (Phl) среди кальцита (Cal) (кальцифиты мыса Ристиниеми); В – кристаллы гельвина (Hlv) с гентгельвиновыми (Ghv) ядрами в ассоциации с флогопитом, кальцитом и сфалеритом (Sp) (апоскарновые грейзены проявления Люпикко); Г – полосчатая порода, состоящая из хондродита, серпентина (Srp), фторапатита (FAp) и магнетита (Mag) (измененные магнезиальные скарны проявления Люпикко); Д – тонко-полосчатые метасоматиты, состоящие из флюорита (Fl), везувияна (Ves), магнетита и ганита (Ghn) (Хопунваара).

Fig. 2. Some mineral assemblages of metasomatites of the Pitkäranta ore district: A – andradite (Adr) on magnesiohastingsite (Mhst) after diopside (skarns of the Kitel Sn deposit); Б – chondrodite (Chn) and phlogopite (Phl) among calcite (Cal) (calciphyres of Cape Ristiniemi); В – helvine crystals (Hlv) with genthelvite cores among phlogopite, calcite and sphalerite (Sp) (greisen after skarn, Lupikko ore occurrence); Г – banded rock consisting of chondrodite, serpentine (Srp), fluorapatite (FAp) and magnetite (Mag) (altered magnesian skarns, Lupikko ore occurrence); Д – thin-banded metasomatites consisting of fluorite (Fl), vesuvianite (Ves), magnetite and gahnite (Ghn) (Hopunvaara).

(рис. 3д) характерно, в первую очередь, для амфиболов, развитых в апомагнезиальных известковых скарнах Кительского Sn месторождения и представленных преимущественно магнезиогастингситом. Он образует темно-зеленые и черные длиннопризматические кристаллы размером до 5 мм и шестоватые и волокнистые агрегаты, развивающиеся по диопсиду (рис. 2а, 4б). Представительные анализы Sn-содержащего магнезиогастингсита приведены в таблице 3. В апоскарновых метасоматитах участка Люпикко встречается ферроферрисаданагаит с содержанием SnO_2 до 0.25 мас. % (0.02 а.ф. Sn). Он образует черные призматические кристаллы длиной до 1 мм и ассоциирует с железистым флогопитом, эпидотом, флюоритом и даналитом.

Значимое содержание ZnO до 0.7 мас. % (0.07 а.ф. Zn) обычно для тремолита, наблюдающегося в виде травяно-зеленых тонкокристаллических агрегатов в метасоматитах Люпикко совместно с тальком, флогопитом, флюоритом и сфалеритом. В гранат-диопсидовых скарнах Кительского месторождения отмечен амфибол, промежуточный по составу между железистым тремолитом и магнезиогорнблендитом и содержащий 0.5 мас. % ZnO (0.05 а.ф. Zn). В магнезиогастингситах, гастингситах и саданагаитах концентрация Zn в большинстве образцов не превышает 0.3 мас. % ZnO (рис. 3е).

Эпидот, содержащий до 0.55 мас. % SnO_2 (0.02 а.ф. Sn), отмечен в скарнах Старого рудного поля, Кительского Sn месторождения и прояв-

Таблица 2. Химический состав оловосодержащих гранатов ряда андрадит-гроссуляр из скарнов Питкярантского рудного района (мас. %)

Table 2. Chemical composition of Sn-bearing garnets of the andradite-grossular series from skarns of the Pitkäranta ore district (wt. %)

№ п/п	Объект	CaO	MgO	FeO	MnO	ZnO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	SnO ₂	Сумма
1	СРП	32.46	0.40	0.40	0.27	нпо	0.57	28.80	нпо	0.07	35.00	нпо	2.43	100.40
2	СРП	32.08	0.22	2.27	0.20	нпо	2.01	25.00	0.05	0.07	35.79	нпо	2.58	100.27
3	СРП	33.04	0.13	0.62	0.27	нпо	3.22	26.27	нпо	нпо	35.89	нпо	1.19	100.63
4	СРП	32.70	0.08	1.05	0.68	0.08	6.39	21.80	нпо	нпо	36.20	0.32	0.62	99.92
5	СРП	32.70	0.19	–	0.36	0.34	6.56	21.21	0.09	0.08	35.16	0.08	1.32	98.09
6	СРП	33.14	0.26	0.52	0.55	нпо	11.01	18.17	0.05	нпо	36.52	0.22	0.36	100.80
7	СРП	34.60	0.12	0.75	0.53	нпо	13.96	11.50	нпо	нпо	37.95	0.28	0.52	100.21
8	Ки	32.63	0.23	1.04	0.38	0.22	4.38	23.70	0.05	0.12	35.78	0.53	1.13	100.19
9	Ки	33.60	0.07	0.31	0.50	0.08	5.56	23.60	нпо	нпо	36.48	0.09	0.67	100.96
10	Ки	32.74	0.30	–	0.45	0.12	5.67	25.31	нпо	нпо	34.23	0.43	1.28	100.53
11	Люп	33.10	0.09	1.10	0.44	нпо	5.46	23.23	нпо	нпо	36.52	нпо	1.03	100.97
12	Люп	33.25	нпо	1.53	0.43	нпо	6.09	21.53	нпо	нпо	36.75	нпо	1.28	100.86
13	Люп	32.67	нпо	1.76	0.43	нпо	6.34	20.70	нпо	нпо	36.47	нпо	0.98	99.35
14	Люп	33.26	0.36	0.44	0.22	нпо	4.58	23.68	нпо	нпо	35.38	1.46	0.56	99.94
15	Люп	33.54	0.16	0.57	0.24	нпо	7.16	20.80	нпо	нпо	36.54	0.19	0.30	99.50
Эмпирические формулы в расчете на сумму всех катионов, равную 8														
1	СРП	$(\text{Ca}_{2.95}\text{Mg}_{0.05})_{\Sigma 3.00}(\text{Fe}^{3+}_{1.81}\text{Sn}_{0.08}\text{Al}_{0.06}\text{Fe}^{2+}_{0.03}\text{Mn}_{0.02})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{2.97}\text{Fe}^{3+}_{0.03}\text{O}_{12.00}]$												
2	СРП	$(\text{Ca}_{2.90}\text{Fe}^{2+}_{0.04}\text{Mg}_{0.03}\text{Mn}_{0.01})_{\Sigma 2.98}(\text{Fe}^{3+}_{1.59}\text{Al}_{0.20}\text{Fe}^{2+}_{0.12}\text{Sn}_{0.09})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{3.02}\text{O}_{12.00}]$												
3	СРП	$(\text{Ca}_{2.94}\text{Fe}^{2+}_{0.02}\text{Mg}_{0.02}\text{Mn}_{0.02})_{\Sigma 3.00}(\text{Fe}^{3+}_{1.62}\text{Al}_{0.32}\text{Sn}_{0.04}\text{Fe}^{2+}_{0.02})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{2.98}\text{Fe}^{3+}_{0.02}\text{O}_{12.00}]$												
4	СРП	$(\text{Ca}_{2.88}\text{Fe}^{2+}_{0.06}\text{Mn}_{0.05}\text{Mg}_{0.01})_{\Sigma 3.00}(\text{Fe}^{3+}_{1.33}\text{Al}_{0.62}\text{Ti}_{0.02}\text{Sn}_{0.02}\text{Fe}^{2+}_{0.01})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{2.98}\text{Fe}^{3+}_{0.02}\text{O}_{12.00}]$												
5	СРП	$(\text{Ca}_{2.94}\text{Mg}_{0.02}\text{Mn}_{0.03}\text{Zn}_{0.02})_{\Sigma 2.99}(\text{Fe}^{3+}_{1.28}\text{Al}_{0.65}\text{Sn}_{0.04}\text{Zn}_{0.02}\text{Cr}_{0.01}\text{V}_{0.01}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma 2.01}[\text{Si}_{2.94}\text{Fe}^{3+}_{0.06}\text{O}_{12.00}]$												
6	СРП	$(\text{Ca}_{2.83}\text{Mn}_{0.04}\text{Mg}_{0.03}\text{Fe}^{2+}_{0.04})_{\Sigma 2.94}(\text{Al}_{1.04}\text{Fe}^{3+}_{1.00}\text{Ti}_{0.01}\text{Sn}_{0.01})_{\Sigma 2.06}[\text{Si}_{2.91}\text{Fe}^{3+}_{0.09}\text{O}_{12.00}]$												
7	СРП	$(\text{Ca}_{2.91}\text{Fe}^{2+}_{0.04}\text{Mn}_{0.04}\text{Mg}_{0.01})_{\Sigma 3.00}(\text{Al}_{1.29}\text{Fe}^{3+}_{0.66}\text{Ti}_{0.02}\text{Sn}_{0.02}\text{Fe}^{2+}_{0.01})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{2.98}\text{Fe}^{3+}_{0.02}\text{O}_{12.00}]$												
8	Ки	$(\text{Ca}_{2.90}\text{Fe}^{2+}_{0.03}\text{Mg}_{0.03}\text{Mn}_{0.03}\text{Zn}_{0.01})_{\Sigma 3.00}(\text{Fe}^{3+}_{1.45}\text{Al}_{0.43}\text{Fe}^{2+}_{0.04}\text{Sn}_{0.04}\text{Ti}_{0.03}\text{Cr}_{0.01})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{2.97}\text{Fe}^{3+}_{0.03}\text{O}_{12.00}]$												
9	Ки	$(\text{Ca}_{2.94}\text{Mn}_{0.03}\text{Fe}^{2+}_{0.02}\text{Mg}_{0.01})_{\Sigma 3.00}(\text{Fe}^{3+}_{1.43}\text{Al}_{0.54}\text{Sn}_{0.02}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{2.98}\text{Fe}^{3+}_{0.02}\text{O}_{12.00}]$												
10	Ки	$(\text{Ca}_{2.90}\text{Mg}_{0.04}\text{Mn}_{0.03}\text{Zn}_{0.01})_{\Sigma 2.98}(\text{Fe}^{3+}_{1.41}\text{Al}_{0.55}\text{Sn}_{0.04}\text{Ti}_{0.03})_{\Sigma 2.02}[\text{Si}_{2.83}\text{Fe}^{3+}_{0.17}\text{O}_{11.96}]$												
11	Люп	$(\text{Ca}_{2.90}\text{Fe}^{2+}_{0.06}\text{Mn}_{0.03}\text{Mg}_{0.01})_{\Sigma 3.00}(\text{Fe}^{3+}_{1.42}\text{Al}_{0.53}\text{Sn}_{0.03}\text{Fe}^{2+}_{0.02})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{2.99}\text{Fe}^{3+}_{0.01}\text{O}_{12.00}]$												
12	Люп	$(\text{Ca}_{2.91}\text{Fe}^{2+}_{0.05}\text{Mn}_{0.03})_{\Sigma 3.00}(\text{Fe}^{3+}_{1.32}\text{Al}_{0.59}\text{Fe}^{2+}_{0.05}\text{Sn}_{0.04})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{3.00}\text{O}_{12.00}]$												
13	Люп	$(\text{Ca}_{2.89}\text{Fe}^{2+}_{0.06}\text{Mn}_{0.03})_{\Sigma 2.98}(\text{Fe}^{3+}_{1.29}\text{Al}_{0.62}\text{Fe}^{2+}_{0.06}\text{Sn}_{0.03})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{3.02}\text{O}_{12.00}]$												
14	Люп	$(\text{Ca}_{2.95}\text{Mg}_{0.04}\text{Mn}_{0.01})_{\Sigma 3.00}(\text{Fe}^{3+}_{1.40}\text{Al}_{0.45}\text{Ti}_{0.09}\text{Fe}^{2+}_{0.03}\text{Sn}_{0.02}\text{Mn}_{0.01})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{2.93}\text{Fe}^{3+}_{0.07}\text{O}_{12.00}]$												
15	Люп	$(\text{Ca}_{2.94}\text{Fe}^{2+}_{0.02}\text{Mg}_{0.02}\text{Mn}_{0.02})_{\Sigma 3.00}(\text{Fe}^{3+}_{1.27}\text{Al}_{0.69}\text{Fe}^{2+}_{0.02}\text{Ti}_{0.01}\text{Sn}_{0.01})_{\Sigma 2.00}[\text{Si}_{2.99}\text{Fe}^{3+}_{0.01}\text{O}_{12.00}]$												

Примечание. * – Соотношение Fe²⁺ и Fe³⁺ рассчитано по балансу зарядов. Позиции в эмпирических формулах заполнены согласно рекомендациям (Grew et al., 2013). Здесь и далее, СРП – Старое рудное поле, Ки – Кительское оловорудное месторождение, Люп – Люпикко; нпо – ниже предела обнаружения; прочерк – отсутствие компонента по данным расчета.

Note. * – The Fe²⁺/Fe³⁺ ratio is calculated based on the charge balance. Positions in empirical formulas follow the recommendations of (Grew et al., 2013). Hereinafter, СРП – Staroe rudnoe pole (Old ore field), Ки – Kitel Sn deposit, Люп – Lupikko; нпо – below detection limit; dash – no component according to calculations.

ния Люпикко (табл. 3). В первых двух объектах он широко распространен и находится в ассоциации с диопсидом, гранатами ряда андрадит-гроссуляр и амфиболами, образуя кристаллы до 1 см (рис. 4б). В метасоматитах проявления Люпикко эпидот встречен в виде единичных кристаллов размером <0.5 мм в амфибол-флюорит-магнетитовой породе с андрадитом и гельвином. Содержание Zn в пит-

кярантском эпидоте обычно не превышает 0.1 мас. % ZnO.

Везувиан. Небольшая примесь ZnO до 0.35 мас. % (0.13 а.ф. Zn) часто присутствует в везувиане из метасоматитов проявления Люпикко (табл. 3). Везувиан этого объекта представлен несколькими генерациями, отличающимися по соотношениям Al, Mg, Fe и по содержанию F, и находится в различ-

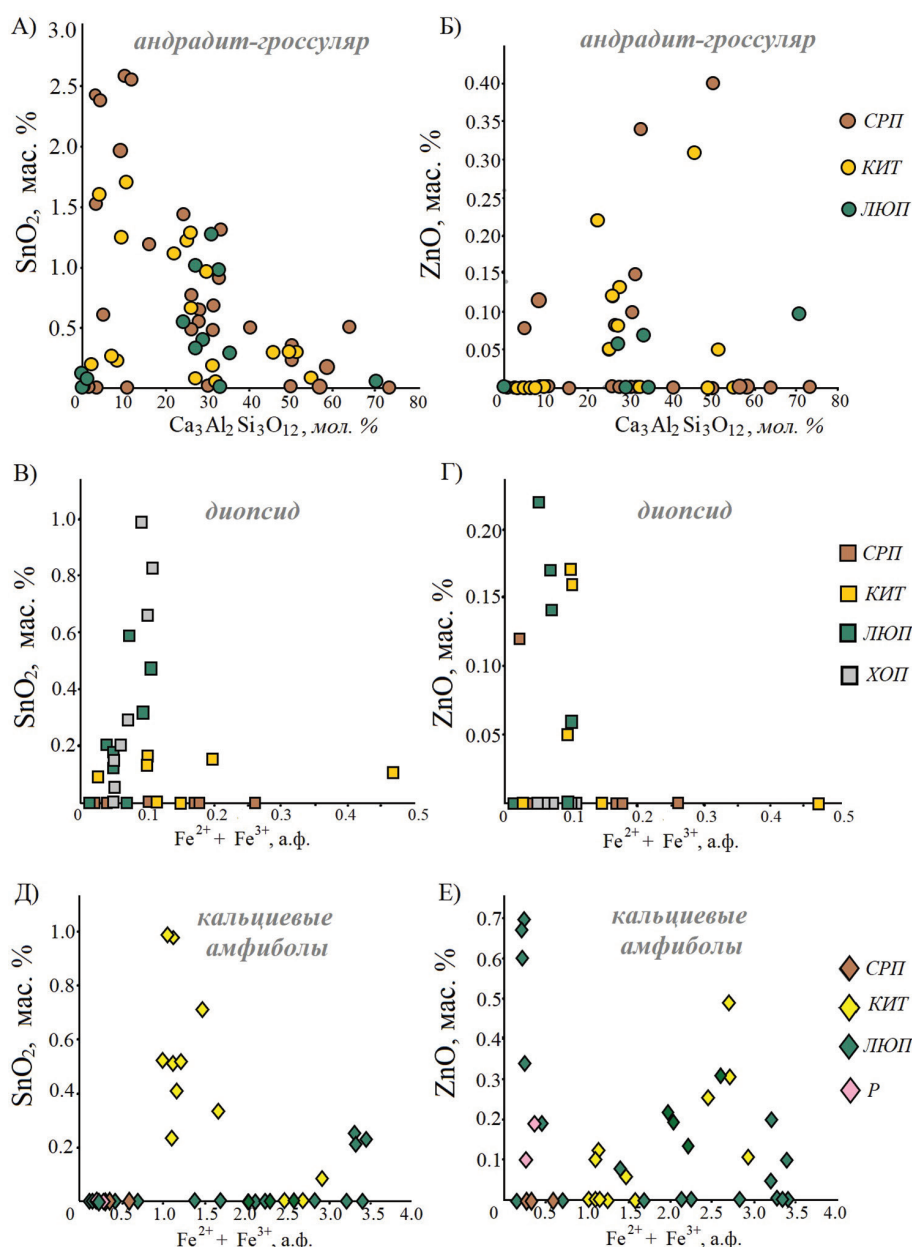


Рис. 3. Соотношение концентраций Sn (А) и Zn (Б) с содержанием гроссулярового компонента в гранатах ряда андрадит-гроссулярь; Sn (В) и Zn (Г) и общего содержания железа в диопсиде; Sn (Д) и Zn (Е) и общего содержания Fe в кальциевых амфиболах.

Здесь и далее, СРП – Старое рудное поле, КИТ – Кительское Sn месторождение, ЛЮП – Люпикко, ХОП – Известковая ломка (Хопунваара), Р – Ристиниеми.

Fig. 3. Correlation between content of Sn (A) and Zn (Б) and grossular end-member in garnets of the andradite-grossular series; Sn (В) and Zn (Г) and total Fe content in diopside; Sn (Д) and Zn (Е) and total Fe content in Ca amphiboles.

Hereinafter, СРП – Staroe rudnoe pole (Old ore field), КИТ – Kitel Sn deposit, ЛЮП – Lupikko, ХОП – Izvestkovaya lomka (Hopunvaara), Р – Ristiniemi.

ных ассоциациях. Подробно он охарактеризован в работе (Герасимова и др., 2006). Цинк отмечается во всех генерациях везувиана. Для везувиана из тонкополосчатых высокофторных метасоматитов Известковой ломки (рис. 2д, 4г, д) Zn, напротив, не характерен. Концентрация Sn в везувиане из обо-

их объектов оказалась ниже предела обнаружения СЭМ-ЭДС методом.

Минералы группы гумита. Наиболее распространенным в питкярантских объектах представителем группы гумита является хондродит. Многочисленные реликты хорошо оформленных

Таблица 3. Химический состав олово- и цинкосодержащих диопсидов (1–8), амфиболов (9–14), эпидота (15–16), везувинита (17–19) и флогопита (20–24) из различных объектов Питкярантского рудного района (мас. %)

Table 3. Chemical composition of Sn- and Zn-bearing diopside (1–8), amphiboles (9–14), epidote (15–16), vesuvianite (17–19), and phlogopite (20–24) from various objects of the Pitkäranta ore district (wt %)

№ п/п	Объект	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	MnO	FeO	ZnO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	SnO ₂	F	Cl	H ₂ O	–O = (F ₃ Cl) ₂	Сумма
1	Люп	нпо	нпо	25.55	18.81	0.17	нпо	нпо	0.55	1.70	нпо	54.43	нпо	0.17	н/о	н/о	–	–	101.38
2	Люп	нпо	нпо	24.88	18.32	0.27	–	0.14	0.12	2.52	нпо	53.87	0.11	0.59	н/о	н/о	–	–	100.82
3	Хоп	нпо	0.06	25.60	16.66	0.30	0.75	нпо	1.51	1.75	нпо	53.25	нпо	0.29	н/о	н/о	–	–	100.17
4	Хоп	нпо	нпо	25.30	15.32	0.19	0.99	нпо	3.65	2.67	нпо	50.94	нпо	0.66	н/о	н/о	–	–	99.72
5	Хоп	нпо	0.06	25.27	15.37	0.21	1.15	нпо	3.88	2.58	нпо	51.03	нпо	0.82	н/о	н/о	–	–	100.37
6	Хоп	нпо	нпо	25.38	15.83	0.17	0.73	нпо	2.77	2.34	нпо	51.16	нпо	0.99	н/о	н/о	–	–	99.37
7	Ки	нпо	0.41	22.74	10.28	0.38	11.16	нпо	0.71	3.88	нпо	50.91	нпо	0.10	н/о	н/о	–	–	100.57
8	Ки	нпо	нпо	22.97	17.27	0.05	3.16	0.17	1.18	–	нпо	53.09	0.05	0.15	н/о	н/о	–	–	98.09
9	Ки	1.44	2.27	12.39	16.15	0.11	1.39	0.10	13.74	8.53	нпо	39.45	0.24	0.98	1.17	нпо	1.47	0.49	98.92
10	Ки	1.48	2.35	12.45	15.95	0.13	0.80	0.12	14.40	10.30	нпо	38.88	0.24	0.51	1.28	нпо	1.32	0.54	99.66
11	Люп	1.79	1.71	11.61	4.75	0.31	15.39	нпо	16.93	10.66	нпо	33.92	нпо	0.25	н/о	0.51	1.77	0.12	99.49
12	Люп	0.16	0.14	12.70	23.31	0.27	нпо	0.70	0.22	2.29	нпо	56.66	нпо	нпо	1.12	нпо	1.64	0.47	98.74
13	Люп	0.16	0.12	13.41	22.98	0.39	1.99	0.34	0.29	0.08	нпо	58.94	нпо	нпо	0.81	нпо	1.83	0.34	101.00
14	Ки	0.14	0.18	11.45	9.42	3.18	12.69	0.49	1.64	9.24	нпо	48.43	нпо	нпо	н/о	нпо	1.96	–	98.82
15	СРП	нпо	нпо	22.85	нпо	0.21	–	0.10	21.47	15.30	0.12	37.28	нпо	0.55	нпо	нпо	1.85	–	99.73
16	Люп	нпо	нпо	23.33	нпо	0.20	–	нпо	25.06	14.42	нпо	36.94	нпо	0.46	нпо	нпо	1.91	–	102.32
17	Люп	нпо	нпо	35.82	2.88	0.36	0.77	0.21	16.81	4.80	нпо	35.50	0.07	нпо	1.37	0.29	2.05	0.65	100.29
18	Люп	нпо	нпо	35.40	2.41	0.40	–	0.24	15.13	8.14	нпо	32.79	нпо	нпо	2.85	0.51	1.18	1.32	97.73
19	Люп	нпо	нпо	35.16	3.55	0.28	1.15	0.35	15.34	4.39	нпо	36.25	нпо	нпо	2.24	0.29	1.62	1.01	99.61
20	Клара	9.24	нпо	0.14	26.29	н.п.о.	3.29	1.20	11.30	–	нпо	43.36	нпо	нпо	4.23	нпо	2.23	1.78	99.50
21	Люп	10.20	0.23	нпо	25.90	0.08	3.62	0.30	14.25	–	нпо	38.13	нпо	нпо	3.08	0.06	2.61	1.28	97.18
22	Люп	10.41	0.10	нпо	24.46	0.35	7.10	0.17	11.98	–	нпо	39.69	нпо	нпо	2.56	нпо	2.88	1.08	98.62
23	Люп	9.96	0.15	нпо	14.97	0.41	16.80	0.32	15.24	–	нпо	35.98	нпо	нпо	н/о	0.18	3.83	0.04	97.80
24	Р	8.87	0.43	нпо	25.25	н.п.о.	4.92	0.18	13.30	–	нпо	39.32	нпо	нпо	3.38	нпо	2.49	1.42	97.73
Эмпирические формулы диопсидов в расчете на сумму всех катионов, равную 4																			
1	Люп	$\text{Ca}_{0.98}(\text{Mg}_{1.00}\text{Fe}^{3+}_{0.01}\text{Mn}_{0.01})_{\Sigma 1.02}[\text{Si}_{1.94}\text{Al}_{0.02}\text{Fe}^{3+}_{0.04}\text{O}_6]$																	
2	Люп	$\text{Ca}_{0.96}(\text{Mg}_{0.99}\text{Fe}^{3+}_{0.03}\text{Mn}_{0.01}\text{Sn}_{0.01})_{\Sigma 1.04}[\text{Si}_{1.95}\text{Al}_{0.01}\text{Fe}^{3+}_{0.04}\text{O}_6]$																	
3	Хоп	$\text{Ca}_{1.00}(\text{Mg}_{0.91}\text{Fe}^{3+}_{0.05}\text{Fe}^{2+}_{0.02}\text{Mn}_{0.01}\text{Al}_{0.01})_{\Sigma 1.00}[\text{Si}_{1.94}\text{Al}_{0.06}\text{O}_6]$																	
4	Хоп	$\text{Ca}_{1.00}(\text{Mg}_{0.85}\text{Fe}^{3+}_{0.07}\text{Fe}^{2+}_{0.03}\text{Al}_{0.03}\text{Mn}_{0.01}\text{Sn}_{0.01})_{\Sigma 1.00}[\text{Si}_{1.87}\text{Al}_{0.13}\text{O}_6]$																	
5	Хоп	$\text{Ca}_{0.99}(\text{Mg}_{0.84}\text{Fe}^{3+}_{0.07}\text{Fe}^{2+}_{0.04}\text{Al}_{0.04}\text{Mn}_{0.01}\text{Sn}_{0.01})_{\Sigma 1.00}[\text{Si}_{1.87}\text{Al}_{0.13}\text{O}_6]$																	

Покончание таблицы 3

6	Хоп	$\text{Ca}_{1,01}(\text{Mg}_{0,87}\text{Fe}^{3+}_{0,07}\text{Fe}^{2+}_{0,02}\text{Mn}_{0,01}\text{Al}_{0,01}\text{Sn}_{0,01})_{\Sigma 1,00}[\text{Si}_{1,89}\text{Al}_{0,11}\text{O}_6]$
7	Ки	$(\text{Ca}_{0,93}\text{Na}_{0,03})_{\Sigma 0,96}(\text{Mg}_{0,59}\text{Fe}^{2+}_{0,36}\text{Fe}^{3+}_{0,08}\text{Mn}_{0,01})_{\Sigma 0,97}[\text{Si}_{1,94}\text{Al}_{0,03}\text{Fe}^{3+}_{0,03}\text{O}_6]$
8	Ки	$\text{Ca}_{0,91}(\text{Mg}_{0,96}\text{Fe}^{2+}_{0,10}\text{Al}_{0,02})_{\Sigma 1,08}[\text{Si}_{1,97}\text{Al}_{0,03}\text{O}_6]$
Эмпирические формулы амфиболов в расчете на $\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Mn}+\text{Zn}+\text{Al}+\text{Si}+\text{Ti}+\text{Sn} = 13$ (9–11 – магнетитогастингит, 12 – ферроферрисиданагаит, 14, 15 – тремолит)		
9	Ки	$(\text{Na}_{0,61}\text{K}_{0,27})_{\Sigma 0,88}(\text{Ca}_{1,96}\text{Na}_{0,04})_{\Sigma 2,00}(\text{Mg}_{3,56}\text{Fe}^{3+}_{0,95}\text{Al}_{0,22}\text{Fe}^{2+}_{0,17}\text{Sn}_{0,06}\text{Ti}_{0,03}\text{Mn}_{0,01}\text{Zn}_{0,01})_{\Sigma 5,01}[\text{Si}_{5,83}\text{Al}_{2,17}\text{O}_{22}](\text{OH}_{1,46}\text{F}_{0,54})_{\Sigma 2,00}$
10	Ки	$(\text{Na}_{0,63}\text{K}_{0,28})_{\Sigma 0,91}(\text{Ca}_{1,96}\text{Na}_{0,04})_{\Sigma 2,00}(\text{Mg}_{3,49}\text{Fe}^{3+}_{1,14}\text{Fe}^{2+}_{0,10}\text{Al}_{0,19}\text{Sn}_{0,03}\text{Ti}_{0,03}\text{Mn}_{0,02}\text{Zn}_{0,01})_{\Sigma 5,01}[\text{Si}_{5,70}\text{Al}_{2,30}\text{O}_{22}](\text{OH}_{1,40}\text{F}_{0,60})_{\Sigma 2,00}$
11	Люп	$(\text{Na}_{0,49}\text{K}_{0,36})_{\Sigma 0,85}(\text{Ca}_{1,97}\text{Na}_{0,03})_{\Sigma 2,00}(\text{Fe}^{2+}_{2,03}\text{Fe}^{3+}_{1,27}\text{Mg}_{1,12}\text{Al}_{0,52}\text{Sn}_{0,02}\text{Mn}_{0,04})_{\Sigma 5,00}[\text{Si}_{5,36}\text{Al}_{2,64}\text{O}_{22}](\text{OH}_{1,86}\text{Cl}_{0,14})_{\Sigma 2,00}$
12	Люп	$\text{K}_{0,03}(\text{Ca}_{1,88}\text{Na}_{0,04})_{\Sigma 1,92}(\text{Mg}_{4,80}\text{Fe}^{3+}_{0,10}\text{Zn}_{0,07}\text{Mn}_{0,03})_{\Sigma 5,00}[\text{Si}_{7,82}\text{Fe}^{3+}_{0,14}\text{Al}_{0,04}\text{O}_{22}](\text{OH}_{1,51}\text{F}_{0,49})_{\Sigma 2,00}$
13	Люп	$\text{K}_{0,03}(\text{Ca}_{1,95}\text{Na}_{0,03})_{\Sigma 1,98}(\text{Mg}_{4,64}\text{Fe}^{2+}_{0,23}\text{Al}_{0,05}\text{Mn}_{0,04}\text{Zn}_{0,03}\text{Fe}^{3+}_{0,01})_{\Sigma 5,00}[\text{Si}_{8,00}\text{O}_{22}](\text{OH}_{1,63}\text{F}_{0,35})_{\Sigma 2,00}$
14	Ки	$\text{K}_{0,03}(\text{Ca}_{1,88}\text{Na}_{0,05})_{\Sigma 1,93}(\text{Mg}_{2,15}\text{Fe}^{2+}_{1,62}\text{Fe}^{3+}_{0,77}\text{Mn}_{0,41}\text{Zn}_{0,05})_{\Sigma 5,00}[\text{Si}_{7,41}\text{Al}_{0,30}\text{Fe}^{3+}_{0,29}\text{O}_{22}](\text{OH})_{2,00}$
Эмпирические формулы эпидота в расчете на $\text{O}_{12}(\text{OH}) = 25$ единиц заряда		
15	Люп	$(\text{Ca}_{1,98}\text{Mn}_{0,01})_{\Sigma 1,99}(\text{Fe}^{3+}_{0,93}\text{Al}_{0,05}\text{Sn}_{0,02}\text{Cr}_{0,01})_{\Sigma 1,01}\text{Al}_{2,00}[\text{Si}_{3,01}\text{O}_{11}]\text{O}(\text{OH})$
16	Люп	$(\text{Ca}_{1,96}\text{Mn}_{0,01})_{\Sigma 1,97}(\text{Fe}^{3+}_{0,85}\text{Al}_{0,20}\text{Sn}_{0,01})_{\Sigma 1,06}\text{Al}_{2,00}[\text{Si}_{2,89}\text{Al}_{0,11}\text{O}_{11}]\text{O}(\text{OH})$
Эмпирические формулы везувияна в расчете на $\text{Ca}+\text{Mn}+\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Zn}+\text{Al}+\text{Si}+\text{Ti} = 50^{**}$		
17	Люп	$(\text{Ca}_{18,67}\text{Mn}_{0,15})_{\Sigma 18,82}(\text{Al}_{8,92}\text{Mg}_{2,09}\text{Fe}^{3+}_{1,76}\text{Fe}^{2+}_{0,31}\text{Zn}_{0,08}\text{Ti}_{0,03})_{\Sigma 13,19}[\text{Si}_{17,28}\text{Al}_{0,72}\text{O}_{68}](\text{OH}_{7,65}\text{F}_{2,11}\text{Cl}_{0,24})_{\Sigma 10,00}$
18	Люп	$\text{Ca}_{19,20}(\text{Al}_{7,63}\text{Mg}_{1,82}\text{Mn}_{0,17}\text{Fe}^{3+}_{3,10}\text{Zn}_{0,09})_{\Sigma 12,81}\text{B}_{0,23}[\text{Si}_{16,60}\text{Al}_{1,40}\text{O}_{68}](\text{OH}_{5,00}\text{F}_{4,56}\text{Cl}_{0,44})_{\Sigma 10,00}$
19	Люп	$(\text{Ca}_{18,46}\text{Mn}_{0,12})_{\Sigma 18,58}(\text{Al}_{8,62}\text{Mg}_{2,59}\text{Fe}^{3+}_{1,62}\text{Fe}^{2+}_{0,47}\text{Zn}_{0,13})_{\Sigma 13,43}[\text{Si}_{17,76}\text{Al}_{0,24}\text{O}_{68}](\text{OH}_{6,29}\text{F}_{3,47}\text{Cl}_{0,24})_{\Sigma 10,00}$
Эмпирические формулы флогопита в расчете на $\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2 = 22$ единицы заряда		
20	Клара	$(\text{K}_{0,83}\text{Ca}_{0,01})_{\Sigma 0,85}(\text{Mg}_{2,77}\text{Fe}^{2+}_{0,19}\text{Zn}_{0,06}\text{Al}_{0,01})_{\Sigma 3,03}[\text{Si}_{3,07}\text{Al}_{0,93}\text{O}_{10}](\text{OH}_{1,05}\text{F}_{0,95})_{\Sigma 2,00}$
21	Люп	$(\text{K}_{0,95}\text{Na}_{0,03})_{\Sigma 0,98}(\text{Mg}_{2,83}\text{Fe}^{2+}_{0,22}\text{Al}_{0,02}\text{Zn}_{0,02}\text{Mn}_{0,01})_{\Sigma 3,10}[\text{Si}_{2,79}\text{Al}_{1,21}\text{O}_{10}](\text{OH}_{1,57}\text{F}_{0,62}\text{Cl}_{0,01})_{\Sigma 2,00}$
22	Люп	$(\text{K}_{0,95}\text{Na}_{0,01})_{\Sigma 0,96}(\text{Mg}_{2,62}\text{Fe}^{2+}_{0,43}\text{Mn}_{0,02}\text{Zn}_{0,01})_{\Sigma 3,08}[\text{Si}_{2,96}\text{Al}_{1,01}\text{O}_{10}](\text{OH}_{1,42}\text{F}_{0,58})_{\Sigma 2,00}$
23	Люп	$(\text{K}_{0,98}\text{Na}_{0,02})_{\Sigma 1,00}(\text{Mg}_{1,72}\text{Fe}^{2+}_{1,09}\text{Al}_{0,17}\text{Mn}_{0,03}\text{Zn}_{0,02})_{\Sigma 3,03}[\text{Si}_{2,78}\text{Al}_{1,22}\text{O}_{10}](\text{OH}_{1,98}\text{Cl}_{0,02})_{\Sigma 2,00}$
24	Р	$(\text{K}_{0,83}\text{Na}_{0,06})_{\Sigma 0,89}(\text{Mg}_{2,76}\text{Fe}^{2+}_{0,30}\text{Zn}_{0,01}\text{Al}_{0,03})_{\Sigma 3,10}[\text{Si}_{2,88}\text{Al}_{1,12}\text{O}_{10}](\text{OH}_{1,22}\text{F}_{0,78})_{\Sigma 2,00}$

Примечание. Соотношение Fe^{2+} и Fe^{3+} для диопсида, амфиболов и везувияна рассчитано по балансу зарядов; в слюдах и эпидоте все железо принято как Fe^{2+} и Fe^{3+} , соответственно; недостаток положительного заряда в эмпирических формулах везувияна компенсировался введением бора. Содержание H_2O рассчитано по стехиометрии. Хоп – Хопунваара (Известковая ломка). Здесь и далее, н/о – не определено, прочерк – отсутствие компонента/поправки по данным расчета.

Note. The Fe^{2+} and Fe^{3+} ratio for diopside, amphiboles, and vesuvianite is calculated from the charge balance; Fe in mica and epidote is accepted as Fe^{2+} and Fe^{3+} , respectively; the lack of positive charge in empirical formulas of vesuvianite is compensated by the introduction of boron. The H_2O content is calculated by stoichiometry. Хоп – Hopunvaara (Izvestkovaya lomka). Hereinafter, n/o – not determined, dash – no component/correction according to calculations.

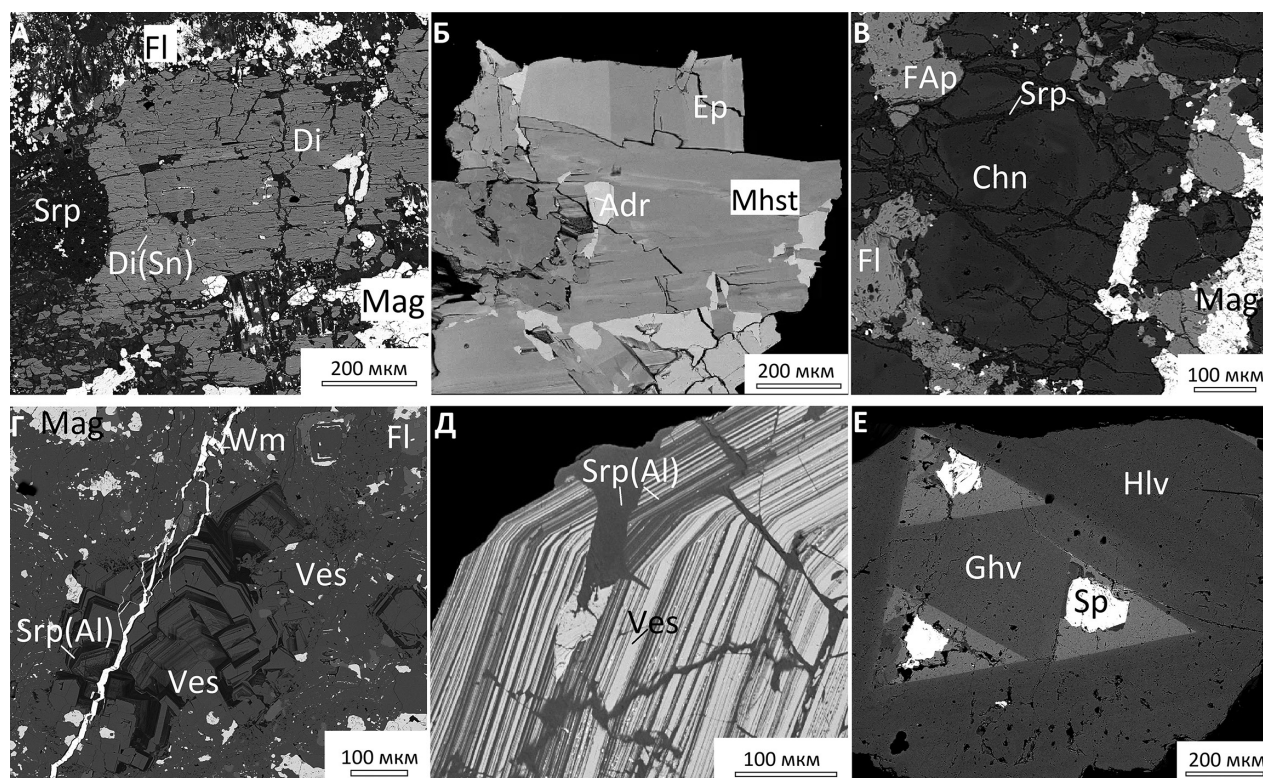


Рис. 4. Олово- и цинксодержащие силикаты из метасоматитов Питкярантского рудного района: А – обогащенный Sn диопсид (Di), развитый по диопсиду без значимой примеси Sn (реликты среди серпентина (Srp), флюорита (Fl) и магнетита (Mag) в тонкополосчатых метасоматитах рудного поля Хопунваара); Б – Sn-содержащий магнезиогастингсит (Mhst) в ассоциации с эпидотом (Ep) и андрадитом (Adr) (Кительское Sn месторождение); В – рассеченные серпентином кристаллы Zn-содержащего хондродита (Chn) среди магнетита, флюорита и фторапатита (Fap) (Хопунваара); Г – Zn-содержащий высокоглиноземистый серпентин, маркирующий зоны роста в кристаллах везувияна (Ves) с прожилком викманита (Wm) (Хопунваара); Д – то же (Люпикко); Е – кристалл гентельвина (Ghv) с вростками сфалерита (Sp), обрастающий гельвином (Hlv).

Fig. 4. Sn and Zn-bearing silicates from metasomatites of the Pitkäranta ore district: A – Sn-enriched diopside (Di) after Sn-free diopside (relics among serpentine (Srp), fluorite (Fl) and magnetite (Mag) in thin-banded metasomatites of the Hopunvaara ore field); Б – Sn-bearing magnesio-hastingsite (Mhst) in assemblage with epidote (Ep) and andradite (Adr) (Kitel Sn deposit); В – Zn-bearing chondrodite (Chn) crystals crossed by serpentine among magnetite, fluorite and fluorapatite (Fap) (Hopunvaara); Г – Zn-bearing high-Al serpentine marking growth zones in vesuvianite (Ves) crystals crossed by wickmanite vein (Wm) (Hopunvaara); Д – the same (Lupikko); Е – genthelvite (Ghv) crystal with sphalerite (Sp) ingrowths rimmed by helvite (Hlv).

коричнево-желтых кристаллов этого минерала размером до 2 мм отмечаются в флюорит-серпентиновых гидротермалитах, развитых по магнезиальным скарнам рудопроявлений Клара (участок Хопунваара), Гербертц (Новое рудное поле) и Люпикко (рис. 2г). Хондродит в виде красно-коричневых зерен до 3 мм, обычно с выраженным двойникованием, наблюдается в кальцифирах мыса Ристиниеми, где он ассоциирует с кальцитом, норбергитом, флогопитом, диопсидом и тремолитом (рис. 2б). Минерал также развит в подобных кальцифирах, обнажающихся в западной оконечности выработок Известковой ломки на участке Хопунваара и

вмещающих тела тонкополосчатых магнетит-везувиан-флюоритовых метасоматитов. Гнезда хондродита встречаются здесь и в самих высокофторных метасоматитах (рис. 4в). Существенных отличий по химическому составу между образцами из разных объектов, в целом, нет (табл. 4). В кристаллах часто наблюдается осцилляционная зональность, выраженная в изменении содержания Fe и Mn. Наибольшая концентрация ZnO до 0.4 мас. % (0.02 а.ф. Zn) характерна для хондродита из хопунваарских «рудных трубок». До 0.3 мас. % ZnO иногда фиксируется в образцах из кальцифиров мыса Ристиниеми и апоскарновых метасоматитов Люпикко.

Таблица 4. Химический состав Zn-содержащих хондродита (1–7), серпентина (8–19) и клинохлора (20–22) из различных объектов Питкярантского рудного района (мас. %)

Table 4. Chemical composition of Zn-bearing chondrodite (1–7), serpentine (8–19) and clinocllore (20–22) from various objects of the Pitkaranta ore district (wt. %)

№ п/п	Объект	MgO	MnO	FeO	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	F	Cl	H ₂ O	–O = (F,Cl) ₂	Сумма	
1	Хоп	53.20	1.27	6.28	0.26	нпо	33.14	нпо	6.23	нпо	2.19	2.62	99.95	
2	Хоп	53.16	1.22	6.15	0.35	нпо	33.87	нпо	6.60	нпо	2.01	2.78	100.58	
3	Хоп	52.70	1.12	7.07	0.40	нпо	33.24	нпо	6.32	нпо	2.14	2.66	100.33	
4	Люп	52.64	1.00	6.50	0.26	нпо	33.70	нпо	6.61	нпо	1.96	2.78	99.89	
5	Люп	52.90	0.89	6.47	0.17	нпо	33.88	нпо	6.81	нпо	1.88	2.87	100.13	
6	Р	48.82	0.88	11.42	0.27	нпо	33.49	0.13	8.07	нпо	1.17	3.40	100.85	
7	Р	52.95	0.63	6.94	0.16	нпо	33.81	0.07	6.67	нпо	1.96	2.81	100.38	
8	Люп	39.42	0.16	1.58	0.41	0.26	43.87	нпо	0.71	0.16	12.35	0.35	98.57	
9	Люп	38.18	0.25	3.24	0.79	0.19	42.24	нпо	0.51	0.31	12.11	0.28	97.54	
10	Люп	34.34	0.44	4.45	1.68	0.44	44.16	нпо	1.31	нпо	11.84	0.55	98.11	
11	Люп	31.40	1.07	9.28	3.11	нпо	41.68	нпо	нпо	нпо	12.08	–	98.62	
12	Клара	36.68	0.17	4.30	0.86	0.27	43.91	нпо	2.09	нпо	11.62	0.88	99.02	
13	Клара	37.03	0.18	2.33	2.30	0.65	44.08	нпо	1.20	нпо	12.13	0.51	99.39	
14	Хоп	37.92	1.15	5.04	0.31	0.41	41.30	нпо	нпо	0.06	12.42	0.01	98.60	
15	Хоп	35.33	1.12	7.01	0.62	0.37	40.38	нпо	нпо	нпо	12.10	–	96.93	
16	Хоп	31.31	3.01	4.18	1.25	13.54	33.66	нпо	нпо	0.11	12.38	0.03	99.41	
17	Хоп	29.51	0.28	6.65	2.11	13.09	35.09	нпо	нпо	0.08	12.36	0.02	99.15	
18	Хоп	29.57	0.69	4.05	3.66	17.47	30.29	нпо	нпо	0.26	12.11	0.06	98.04	
19	Люп	0.19	4.74	31.72	18.66	0.15	31.46	нпо	нпо	нпо	9.23	–	96.15	
20	Люп	24.66	0.68	6.32	1.40	14.92	32.78	нпо	нпо	нпо	11.61	–	92.37	
21	Люп	31.99	0.12	4.05	0.62	19.14	31.11	нпо	0.32	нпо	12.49	0.13	99.70	
22	Люп	19.19	0.68	22.53	0.76	17.31	27.91	нпо	нпо	нпо	11.56	–	99.95	
Эмпирические формулы хондродита в расчете на Mg+Fe+Mn+Zn+Ti = 5*														
1	Хоп		(Mg _{4.62} Fe _{0.31} Mn _{0.06} Zn _{0.01}) _{Σ5.00} [Si _{1.93} B _{0.08} O ₈](F _{1.15} OH _{0.85}) _{Σ2.00}											
2	Хоп		(Mg _{4.62} Fe _{0.30} Mn _{0.06} Zn _{0.02}) _{Σ5.00} [Si _{1.98} B _{0.03} O ₈](F _{1.22} OH _{0.78}) _{Σ2.00}											
3	Хоп		(Mg _{4.58} Fe _{0.34} Mn _{0.06} Zn _{0.02}) _{Σ5.00} [Si _{1.94} B _{0.08} O ₈](F _{1.17} OH _{0.83}) _{Σ2.00}											
4	Люп		(Mg _{4.62} Fe _{0.34} Mn _{0.03} Zn _{0.01}) _{Σ5.00} [Si _{1.98} B _{0.02} O ₈](F _{1.23} OH _{0.77}) _{Σ2.00}											
5	Люп		(Mg _{4.63} Fe _{0.32} Mn _{0.04} Zn _{0.01}) _{Σ5.00} [Si _{1.99} B _{0.01} O ₈](F _{1.26} OH _{0.74}) _{Σ2.00}											
6	Р		(Mg _{4.37} Fe _{0.57} Mn _{0.04} Zn _{0.01} Ti _{0.01}) _{Σ5.00} [Si _{2.01} O _{8.02}](F _{1.53} OH _{0.47}) _{Σ2.00}											
7	Р		(Mg _{4.62} Fe _{0.34} Mn _{0.03} Zn _{0.01}) _{Σ5.00} [Si _{1.98} B _{0.02} O ₈](F _{1.23} OH _{0.77}) _{Σ2.00}											
Эмпирические формулы минералов подгруппы серпентина в расчете на O ₅ (OH,F,Cl) ₄ = 14 единиц заряда														
8	Люп		(Mg _{2.77} Fe _{0.06} Al _{0.02} Mn _{0.01} Zn _{0.01}) _{Σ2.87} [Si _{2.06} O ₅](OH _{3.88} F _{0.11} Cl _{0.01}) _{Σ4.00}											
9	Люп		(Mg _{2.74} Fe _{0.13} Zn _{0.03} Mn _{0.01} Al _{0.01}) _{Σ2.92} [Si _{2.04} O ₅](OH _{3.89} F _{0.08} Cl _{0.03}) _{Σ4.00}											
10	Люп		(Mg _{2.46} Fe _{0.18} Zn _{0.06} Mn _{0.02} Al _{0.03}) _{Σ2.75} [Si _{2.12} O ₅](OH _{3.80} F _{0.20}) _{Σ4.00}											
11	Люп		(Mg _{2.32} Fe _{0.39} Zn _{0.11} Mn _{0.05}) _{Σ2.87} [Si _{2.07} O ₅](OH) _{4.00}											
12	Клара		(Mg _{2.60} Fe _{0.17} Zn _{0.03} Al _{0.02} Mn _{0.01}) _{Σ2.83} [Si _{2.09} O ₅](OH _{3.69} F _{0.31}) _{Σ4.00}											
13	Клара		(Mg _{2.61} Fe _{0.09} Zn _{0.08} Al _{0.04} Mn _{0.01}) _{Σ2.83} [Si _{2.08} O ₅](OH _{3.82} F _{0.18}) _{Σ4.00}											
14	Хоп		(Mg _{2.72} Fe _{0.20} Mn _{0.05} Zn _{0.01} Al _{0.01}) _{Σ2.99} [Si _{1.99} Al _{0.01} O ₅](OH _{3.99} Cl _{0.01}) _{Σ4.00}											
15	Хоп		(Mg _{2.54} Fe _{0.20} Al _{0.08} Mn _{0.07} Zn _{0.02}) _{Σ2.95} [Si _{2.02} O ₅](OH) _{4.00}											
16	Хоп		(Mg _{2.26} Al _{0.40} Fe _{0.17} Mn _{0.12} Zn _{0.05}) _{Σ3.00} [Si _{1.63} Al _{0.37} O ₅](OH _{3.99} Cl _{0.01}) _{Σ4.00}											
17	Хоп		(Mg _{2.17} Al _{0.45} Fe _{0.27} Zn _{0.08} Mn _{0.03}) _{Σ2.94} [Si _{1.70} Al _{0.30} O ₅](OH _{3.99} Cl _{0.01}) _{Σ4.00}											
18	Хоп		(Mg _{2.13} Al _{0.50} Fe _{0.17} Zn _{0.13} Mn _{0.01}) _{Σ3.00} [Si _{1.49} Al _{0.51} O ₅](OH _{3.98} Cl _{0.02}) _{Σ4.00}											
19	Люп		(Fe _{1.72} Zn _{0.90} Mn _{0.26} Mg _{0.02} Al _{0.01}) _{Σ2.91} [Si _{2.04} O ₅](OH) _{4.00}											
Эмпирические формулы клинохлора в расчете на O ₁₀ (OH,F,Cl) ₈ = 28 единиц заряда														
20	Люп		(Mg _{4.12} Al _{1.02} Fe _{0.53} Zn _{0.10} Mn _{0.06}) _{Σ5.83} [Si _{3.27} Al _{0.73} O ₁₀](OH) _{8.00}											
21	Люп		(Mg _{4.52} Al _{1.09} Fe _{0.32} Zn _{0.04} Mn _{0.01}) _{Σ5.98} [Si _{2.95} Al _{1.05} O ₁₀](OH _{7.90} F _{0.10}) _{Σ8.00}											
22	Люп		(Mg _{2.97} Fe _{1.95} Al _{1.01} Zn _{0.06} Mn _{0.06}) _{Σ6.05} [Si _{2.89} Al _{1.11} O ₁₀](OH) _{8.00}											

Примечание. Все железо рассчитано как Fe²⁺; * – недостаток положительного заряда в эмпирических формулах хондродита компенсировался добавлением в тетраэдрическую позицию бора по (Герасимова и др., 2013). Содержание H₂O рассчитано по стехиометрии. Клара – Клара (Хопунваара), Р – Ристиниemi.

Note. Fe is calculated as Fe²⁺; * – the positive charge lack in empirical formulas of chondrodite was compensated by boron in the tetrahedral site (Gerasimova et al., 2013). The H₂O content is calculated by stoichiometry. Клара – Klara (Hopunvaara), Р – Ristiniemi.

Таблица 5. Химический состав гельвина (1–5), гентгельвина (6–8) и даналита (9–10) из метасоматитов рудопроявления Люпикко (мас. %)

Table 5. Chemical composition of helvine (1–5), genthelvite (6–8) and danalite (9–10) from metasomatites of the Lupikko ore occurrence (wt. %)

№ п/п	MgO	MnO	FeO	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	BeO*	S	–O = S	Сумма
1	нпо	43.64	5.92	2.40	нпо	32.80	13.65	5.52	2.75	101.18
2	нпо	42.18	6.20	4.61	нпо	32.51	13.53	5.79	2.89	101.93
3	0.10	35.22	12.51	4.77	нпо	32.03	13.33	5.80	2.89	100.87
4	нпо	27.43	20.48	4.34	нпо	32.27	13.44	5.67	2.83	100.81
5	0.37	24.84	13.87	13.72	0.06	31.91	13.28	5.73	2.86	100.92
6	0.43	16.56	13.86	22.20	0.06	31.65	13.18	5.66	2.82	100.77
7	0.40	2.48	9.96	41.21	0.12	30.85	12.84	5.46	2.72	100.50
8**	0.13	7.59	8.26	37.81	0.11	30.79	12.82	5.53	2.76	100.28
9**	0.17	2.71	34.75	14.58	0.19	32.07	13.35	5.77	2.88	99.60
10	0.37	2.28	42.70	6.73	нпо	31.95	13.30	5.58	2.78	100.13
Эмпирические формулы в расчете на Mn+Fe+Zn+Mg = 8										
1	(Mn _{6.77} Fe _{0.91} Zn _{0.32}) _{Σ8.00} [Si _{6.01} Be _{6.01} O _{24.12}]S _{1.89}									
2	(Mn _{6.45} Fe _{0.94} Zn _{0.61}) _{Σ8.00} [Si _{5.87} Be _{5.87} O _{23.64}]S _{1.96}									
3	(Mn _{5.43} Fe _{1.90} Zn _{0.64} Mg _{0.03}) _{Σ8.00} [Si _{5.83} Be _{5.83} O _{23.50}]S _{1.98}									
4	(Mn _{4.27} Fe _{3.15} Zn _{0.59}) _{Σ8.00} [Si _{5.93} Be _{5.93} O _{23.83}]S _{1.95}									
5	(Mn _{3.89} Fe _{2.14} Zn _{1.87} Mg _{0.10}) _{Σ8.00} [Si _{5.89} Be _{5.89} Al _{0.01} O _{23.71}]S _{1.98}									
6	(Zn _{3.07} Mn _{2.63} Fe _{2.17} Mg _{0.12}) _{Σ8.00} [Si _{5.94} Be _{5.94} Al _{0.01} O _{23.84}]S _{1.99}									
7	(Zn _{5.88} Fe _{1.59} Mn _{0.41} Mg _{0.12}) _{Σ8.00} [Si _{5.97} Be _{5.97} Al _{0.03} O _{23.96}]S _{1.98}									
8	(Zn _{5.39} Fe _{1.33} Mn _{1.24} Mg _{0.03}) _{Σ8.00} [Si _{5.94} Be _{5.94} Al _{0.04} O _{23.87}]S _{2.00}									
9	(Fe _{5.49} Zn _{2.03} Mn _{0.43} Mg _{0.05}) _{Σ8.00} [Si _{6.05} Be _{6.05} Al _{0.04} O _{24.19}]S _{2.04}									
10	(Zn _{0.92} Fe _{6.62} Mn _{0.36} Mg _{0.10}) _{Σ8.00} [Si _{5.92} Be _{5.92} O _{23.83}]S _{1.94}									

Примечание. * – Содержание BeO рассчитано, исходя из предположения о равенстве атомных количеств Si и Be. Количество кислорода рассчитано по балансу зарядов. Все железо принято в форме Fe²⁺. ** – Анализы из работы (Булах и др., 2025б).

Note. * – The BeO content is calculated assuming equal Si and Be atomic contents. The oxygen content is calculated from the charge balance. Fe is taken as Fe²⁺. ** – Analyses from (Bulakh et al., 2025b).

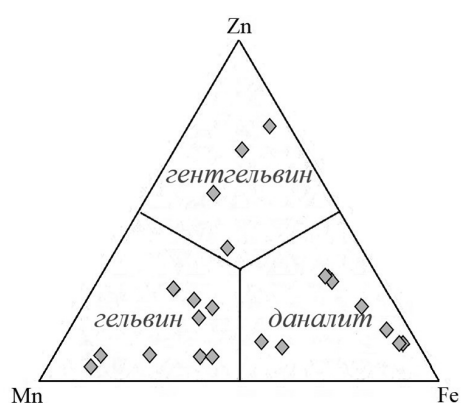


Рис. 5. Соотношение главных катионов в бериллосиликатах системы гельвин–гентгельвин–даналит из метасоматитов проявления Люпикко.

Fig. 5. Correlation between main cations in beryllosilicates of the helvine-genthelvite-danalite system from metasomatites of the Lupikko occurrence.

В хондродите из других питкьярантских проявлений содержание Zn обычно ниже предела обнаружения электронно-зондовым методом.

Норбергит из кальцифиров мыса Ристиниеми, образующий рыжевато-желтые зерна до 1 мм и ассоциирующий с хондродитом, содержит не более 0.1 мас. % ZnO (табл. 4).

Минералы группы гельвина (члены системы гельвин–даналит–гентгельвин) развиты в апоскарновых грейзенах проявления Люпикко. Для этих бериллосиликатов обычна ассоциация с флюоритом, слюдами серии флогопит–аннит, щелочными амфиболами, фтористым везувианом, магнетитом, шпинелидами ряда ганит–герцинит и сфалеритом. Соотношения Mn, Fe и Zn широко варьируют (табл. 5, рис. 5). Наиболее распространены даналит и гельвин, образующие крупные (размером иногда в несколько сантиметров) тетраэдрические кристаллы. Для даналита характерны красно-коричневые

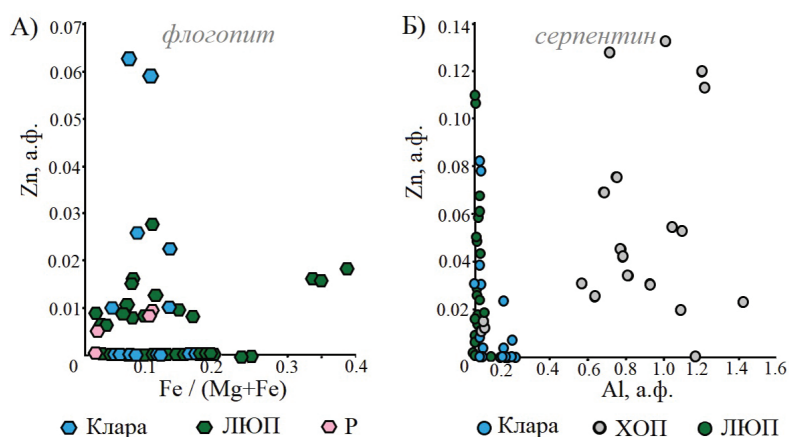


Рис. 6. Соотношение железистости $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ и концентрации Zn во флогопите (А) и концентрации Al (IV+VI) и Zn в магнезиальных серпентинах (Б).

Клара – Клара (Хопунваара).

Fig. 6. Correlation between $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ ratio and Zn content of phlogopite (A) and Al (IV+VI) and Zn content of magnesian serpentines (B).

Клара – Klara mine (Hopunvaara).

и густо-розовые цвета, для гельвина – медово-желтые и желто-коричневые. Гентгельвин встречен в двух образцах метасоматитов: в одном из них он составляет темно-красные зоны в крупном (3×2 см) кристалле даналита, а в другом образует зеленовато-голубые ядра в мелких (до 1.5 мм) кристаллах медово-желтого гельвина (рис. 2в, 4е).

Слюды. Цинксодержащий (до 1.2 мас. % ZnO, или до 0.06 а.ф. Zn) фтористый флогопит выявлен в апоскарновых грейзенах проявлений Клара и Люпикко (табл. 4, рис. 6а). Слюды наблюдаются здесь в виде агрегатов из мелких (не более 5 мм в сечении) чешуек, цвет которых в зависимости от содержания Fe меняется от чайного и золотисто-коричневого до густо-черного. Для раннего скарнового флогопита, развитого в диопсидовых скарнах и околоскарновых форстеритовых кальцифирах Люпикко, Хопунваары и Нового рудного поля, Zn нехарактерен, однако он отмечен в членах серии флогопит-фторфлогопит из кальцифиров мыса Ристиниеми.

Клинохлор с широкими вариациями железистости, содержащий до 1.4 мас. % ZnO (до 0.10 а.ф. Zn) (табл. 4), отмечается в виде густо-зеленых чешуйчатых агрегатов и сферолитов в метасоматитах проявления Люпикко, где ассоциирует с флогопитом, даналитом, флюоритом и шпинелидами ряда ганит-герцинит.

Серпентин. Магнезиальные члены подгруппы серпентина являются одними из главных минералов в измененных магнезиальных скарнах и околоскарновых кальцифирах Хопунваары, Нового

рудного поля и Люпикко. Существенно серпентиновые породы здесь представлены как типичными для магнезиально-скарновой формации апофорстеритовыми лизардитовыми гидротермалитами, так и богатыми флюоритом антигоритовыми и хризотил-антигоритовыми серпентинитами, образующимися за счет ранних лизардитизированных скарнов при прогрессивных контактово-метаморфических и пневмолито-гидротермальных процессах. Содержание ZnO, достигающее 3.1 мас. % (0.11 а.ф. Zn) (табл. 4, рис. 6б), характерно, в первую очередь, для антигорита из серпентинитов, по которым развиты грейзеновые ассоциации с фтористыми магнезиально-железистыми слюдами и флюоритом. Особенно распространена Zn-содержащий антигорит на участке Люпикко (табл. 4, ан. 8–11) и, в меньшей степени, на рудопроявлении Клара (табл. 4, ан. 12–13). В магнетит-везувиан-флюоритовых «рудных трубках» Известковой ломки выявлен обогащенный Zn лизардит (до 0.6 мас. % ZnO = до 0.02 а.ф. Zn; табл. 4, ан. 14, 15), образующий псевдоморфозы по хондриту. Наиболее богат Zn (до 3.7 мас. % ZnO = до 0.13 а.ф. Zn) высокоглиноземистый серпентин (30–70 мол. % амезитового компонента $\text{Mg}_2\text{Al}[\text{SiAlO}_5](\text{OH})_4$) из этих метасоматитов, развитый по зонам роста в кристаллах везувиана и заполняющий интерстиции флюорит-везувиановых агрегатов (рис. 4г, д, табл. 4, ан. 16–18). Изначально эта фаза была описана как клинохлор, однако рентгенографические исследования позволили идентифицировать ее как слоистый силикат с двухслойным (7 Å)-пакетом. Полиморфную мо-

дификацию этого серпентина определить затруднительно, но обычно глиноземистые члены серии $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4\text{--Mg}_2\text{Al}[\text{SiAlO}_5](\text{OH})_4$ имеют, как и сам амезит, лизардитовую структуру (Минералы, 1992).

Железистый член подгруппы серпентина – гриналит, содержащий 18.7 мас. % ZnO (0.90 а.ф. Zn), встречен в метасоматитах участка Люпикко в виде оливковых чешуек размером <0.5 мм, рассеянных среди магнетита, в ассоциации с флюоритом, сфалеритом и даналитом (табл. 4, ан. 19).

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Силикатами-концентраторами Sn в питкьярантских объектах выступают, главным образом, минералы известково-скарнового комплекса, наложенного на магнезиальные скарны – гранаты ряда андрадит-гроссуляр, щелочные кальциевые амфиболы, эпидот и обогащенный Fe диопсид.

В структуре гранатов ряда андрадит-гроссуляр, как показано (Amthauer et al., 1979), Sn^{4+} находится, главным образом, в октаэдрической позиции. Изоморфные замещения в этом случае осуществляются, предположительно, по схемам $2^{\text{VI}}\text{R}^{3+} \rightarrow ^{\text{VI}}\text{Sn}^{4+} + ^{\text{VI}}\text{R}^{2+}$ или $^{\text{VI}}\text{R}^{3+} + ^{\text{IV}}\text{Si}^{4+} \rightarrow ^{\text{VI}}\text{Sn}^{4+} + ^{\text{IV}}\text{R}^{2+}$ (Кононов и др., 1989). В гроссуляре концентрация Sn заметно меньше, чем в андрадите, что объясняется, по-видимому, существенной разницей ионных радиусов Sn^{4+} и Al^{3+} в VI координации – 0.69 и 0.535 Å, соответственно (Shannon, 1976). Катион Sn^{4+} ближе по размеру к Fe^{3+} , радиус которого (VI) 0.645 Å.

Диопсид в питкьярантских объектах относится, по большей части, к раннему магнезиально-скарновому парагенезису, но в известково-скарновом процессе он частично замещается более богатыми Fe (согласно расчетам формул – как Fe^{2+} , так и Fe^{3+}) разностями, и на данном этапе, вероятно, происходит обогащение пироксена Sn. Возможная схема изоморфизма: $^{\text{VI}}\text{Mg}^{2+} + 2^{\text{IV}}\text{Si}^{4+} \rightarrow ^{\text{VI}}\text{Sn}^{4+} + 2^{\text{IV}}(\text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+})$. Впрочем, при развитии типичного известково-скарнового парагенезиса с кальциевыми гранатами Sn предпочтительнее входит в последние, а в пироксене концентрация Sn редко превышает предел обнаружения СЭМ-ЭДС методом. Появление обогащенного оловом (до 1.0 мас. % SnO_2) диопсида связано, по-видимому, с определенной обстановкой преобразования скарнов, в которой начинается развитие флюорит-везувиянового парагенезиса. Температура формирования питкьярантских флюорит-везувияновых метасоматитов оценивает-

ся в 500–550 °C (Щипцов и др., 2020), т. е. их можно рассматривать либо как высокофтористые известковые скарны, либо как высокотемпературные апо-скарновые грейзены. Стоит отметить, что настолько обогащенные Sn пироксены в природе редки. По сводным данным (Александров, 1982), содержание этого компонента в пироксенах из магнезиальных и апомагнезиальных известковых скарнов (в т. ч. оловоносных) обычно составляет первые десятки грамм на тонну. В диопсиде из скарново-оловорудных месторождений Фурон в Китае (Chen et al., 1992) и Дорадила-виа-Бурк в Австралии (Plimer, 1984) содержание Sn на уровне предела обнаружения электронно-зондовым методом (около 0.1 мас. % SnO_2). Диопсид с содержанием до 0.36 мас. % SnO_2 описан в оловоносных скарнах района Монте Тамара (о. Сардиния, Италия) (Deidda et al., 2023), а геденбергит с 0.27 мас. % SnO_2 – в скарнах олово-полиметаллического месторождения Дачан на юге Китая (He et al., 2024). Наиболее богатый (до 7.0 мас. % SnO_2) природный диопсид известен в высокотемпературных (>600 °C) фумарольных эксгалициях Толбачинского вулканического комплекса на Камчатке (Shchipalkina et al., 2020a; Булах и др., 2023). До 12.0 мас. % SnO_2 содержит техногенный аналог геденбергита из шлаков оловоплавильных заводов (Bulter, 1978).

Самая богатая Sn (до 7.8 мас. % SnO_2) из известных в природе разновидность эпидота описана в скарнах проявления Гейер в Рудных горах (Германия) (Meyer et al., 2025). До 2.8 мас. % SnO_2 содержит эпидот из скарнов рудного района Сент-Джаст в Корнуолле (Великобритания) (Van Marcke, 1986). По данным этой работы, Sn входит в минерал по схеме $2^{\text{VI}}(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}^{3+}) \rightarrow ^{\text{VI}}\text{Sn}^{4+} + ^{\text{VI}}\text{Fe}^{2+}$. Вероятно, аналогичная схема изоморфизма появляется и в амфиболах, с чем может быть связано избирательное вхождение Sn в гастингсит и отсутствие его значимых содержаний в тремолите, в структуре которого трехвалентные катионы не играют существенной роли. Гастингсит, содержащий до 2.7 мас. % SnO_2 , ранее отмечался в вышеупомянутом проявлении Гейер; там же известен ферропаргасит с содержанием SnO_2 до 1.7 мас. % (Meyer et al., 2025).

По мере снижения температуры минералообразования изоморфная емкость силикатов в отношении Sn уменьшается. В грейзеновом и высокотемпературном гидротермальном процессах Sn концентрируется, преимущественно, в касситерите. При постепенном остывании флюидов появляются сульфиды (станнин, станноидит), гидростан-

наты (члены ряда викманит-шёнфлисита), а также собственные водные силикаты Sn (стокезит и икерит). Икерит крайне редок и рассматривается как продукт распада оловоносного граната (Гайдукова и др., 1980). Стокезит встречается чаще. Нами он отмечен в образцах из Люпикко и Старого рудного поля в виде прожилков, секущих гранат-диопсидовые скарны. Вместе с ним в прожилках находятся кальцит и железистый клинохлор. Температура образования этой ассоциации по разным хлоритовым геотермометрам оценивается в 180–220 °С. Согласно (Волошин, Пахомовский, 1988) стокезит является продуктом гидротермального изменения касситерита.

Цинк в количествах, определяемых электронно-зондовым методом, фиксируется в главных силикатах как скарновых, так и пневматолито-гидротермальных ассоциаций, но Zn-содержащие силикаты развиты не во всем объеме метасоматитов, а локально. В большинстве рассмотренных минералов (за исключением гранатов ряда андрадит-гроссуляра и членов группы гельвина) Zn^{2+} изовалентно замещает Mg^{2+} или Fe^{2+} в октаэдрической координации: ионные радиусы этих металлов в VI координации близки между собой и равны 0.74, 0.72 и 0.78 Å, соответственно (Shannon, 1976). Не исключена также возможность вхождения небольшой доли Zn^{2+} в тетраэдрические позиции Si и Al^I, однако широко такой изоморфизм, очевидно, проявляться не может в силу существенных различий и в зарядах, и в ионных радиусах: 0.60 Å для Zn^{2+} (IV), 0.39 Å для Al³⁺ (IV) и 0.40 Å для Si⁴⁺ (IV) (Shannon, 1976).

Вхождение цинка в силикаты происходило в обстановках невысокой активности сульфидной серы, т. к. ее повышение приводит к перераспределению этого халькофильного металла в пользу сфалерита (Фурсенко, 1989). Высокоцинковые разновидности везувиана (до 2.3 мас. % ZnO), хондрита (4.5 мас. % ZnO), клинопироксенов (до 12.6 мас. % ZnO – вплоть до петедуннита $CaZn[Si_2O_6]$), амфиболов (до 23 мас. % ZnO), триоктаэдрических слюд (до хендриксита $KZn_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2$), талька

(до 6.2 мас. % ZnO) и серпентина (до 4.1 мас. % ZnO) характерны именно для рудоносных скарноидов, скарнов и сопряженных с ними гидротермалитов особого бессульфидного типа, известных в Пелагонийском массиве (Македония), в месторождениях Франклин и Стерлинг Хилл (Нью-Джерси, США) (Palache, 1937; Frondel, Einaudi, 1968; Essene, Peacor, 1987; Groat et al., 1992; Jančev, 1997; Chukanov et al., 2015, 2020). Богатые цинком флогопит и фторфлогопит (до 15.4 мас. % ZnO) совместно с хендрикситом выявлены в субщелочных фonoлитах Октябрьского массива в Восточном Приазовье (Sharygin, 2015). Питкярантские метасоматиты заметно уступают этим объектам по максимальным концентрациям Zn в пороодообразующих силикатах, приближаясь в этом отношении ко многим другим скарново-полиметаллическим месторождениям.

Особо можно выделить только минералы подгруппы серпентина. В литературных источниках удалось найти очень мало анализов магнезиального серпентина с содержанием ZnO более 1 мас. %. Кроме вышеупомянутого месторождения Франклин и Питкярантского рудного района серпентин с содержанием ZnO до 3.2 мас. % отмечен в аподолмитовых серпентинитах Алмалыкского рудного поля в Узбекистане (Бадалов, 1958). Обогащенные Zn высокоглиноземистые разновидности серпентина, выявленные в тонкополосчатых метасоматитах Хопунваары, в других объектах не описаны; собственно цинковый серпентин – фрепонтит $(Zn,Al)_3[(Si,Al)_2O_5](OH)_4$ – рассматривается исключительно как продукт гипергенеза (Минералы, 1992).

Виллемит $Zn[SiO_4]$ и гардистонит $Ca_2Zn[Si_2O_7]$ отмечались только в отвалах одной из шахт Старого рудного поля (Нефедов, 1973). Оба силиката находились в своеобразной ассоциации с франклинитом и кнебелитом; в целом, для Питкярантского рудного района эти минералы не характерны.

ЛИТЕРАТУРА

- Александров С.М. (1982) Геохимия бора и олова в месторождениях магнезиально-скарновой формации. М., Наука, 272 с.
- Александров С.М., Тронева М.А. (2003) Геохимия титана и формы его нахождения в метасоматитах скарновых месторождений. *Геохимия*, (1), 25–42.
- Бадалов С.Т. (1958) Пироксеноид, цинк-содержащий серпентин и аллофан из месторождения Алмалык (УзССР). *Записки Всесоюзного минералогического общества*, 87(6), 698–701.

¹ Нахождение Zn^{2+} в тетраэдрической координации установлено, в частности, в некоторых полевых шпатах, фельдшпатоидах и амфиболах вулканогенно-эксталяционного происхождения; особенно ярко изоморфизм с участием Zn (IV) проявлен в членах серии санидин $K[AlSi_3O_8]$ – филатовит $K[(Al,Zn)_2(As,Si)_2O_8]$ фумарольного генезиса (Vergasova et al., 2004; Shchipalkina et al., 2020a, b).

- Борисов И.В. (2017) Подземные выработки Питкярантского комплекса (Северное Приладожье) / Спелеология и спелестология: сборник материалов VIII Международной научной конференции. Набережные Челны, НГПУ, 234–243.
- Булах А.Г., Франк-Каменецкий В.А. (1961) Геологическая экскурсия в окрестностях Питкяранты. Петрозаводск, КАССР, 107 с.
- Булах М.О., Пеков И.В., Кошлякова Н.Н., Назарова М.А. (2023) Изменение базальта в высокотемпературных фумаролах окислительного типа на вулкане Толбачик (Камчатка). Часть 2. Газовые метасоматиты. *Записки Российского минералогического общества*, 152(5), 14–65. <https://doi.org/10.31857/S0869605523050039>
- Булах М.О., Бакшеев И.А., Япаскурт В.О. (2025a) Минералогия и генезис апокарбонатных серпентинитов Питкярантского рудного района, Северное Приладожье. Часть 2. Серпентиниты рудопоявления Клара. *Литосфера*, 25(5), 1176–1200. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-5-1176-1200>
- Булах М.О., Пеков И.В., Щербаков В.Д., Вигасина М.Ф., Карпов А.О., Чуканов Н.В. (2025b) Новые данные о минералах группы гельвина: изоморфные замещения, форма нахождения серы, КР-спектроскопия. *Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология*, (2), 94–105. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-2-94-105>
- Волошин А.В., Пахомовский Я.А. (1988) О стоке из гранитных пегматитов Кольского полуострова и скарноидов Карелии (Питкяранта). *Труды минералогического музея. Новые данные о минералах СССР*, 35, 36–39.
- Гайдукова В.С., Григорьев И.М., Дубинчук В.Т., Ильясов А.М., Кузьмин В.И., Сидоренко Г.А. (1980) Распад твердого раствора оловосодержащих гранатов. *Доклады Академии наук СССР*, 250(3), 694–697.
- Герасимова Е.И., Пеков И.В., Кононкова Н.Н. (2006) Везувиан рудного поля Люпикко, Питкяранта, Карелия: минеральные ассоциации, эволюция состава и геохимическое значение. *Труды III Ферсмановской научной сессии Кольского отделения Российского минералогического общества*. Апатиты, К & М, 111–113.
- Герасимова Е.И., Пеков И.В., Кононкова Н.Н., Вигасина М.Ф., Чуканов Н.В., Гусева Е.В. (2013) Бор в магнезиальных минералах группы гумита. *Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология*, (1), 43–49.
- Долгашева Т.Н., Зуев В.В. (1979) О природе примеси олова в составе гранатов Кителеского месторождения / Минералы и парагенезисы минералов горных пород и руд. Л., Наука, 141–146.
- Иващенко В.И. (1987) Скарновое оруденение олова и вольфрама южной части Балтийского щита. Л., Наука, 240 с.
- Иващенко В.И. (2024) Вариации химического состава минералов группы титанита из рудных скарнов Приладожья (Южная Карелия, Россия). *Записки Российского минералогического общества*, 153(3), 76–96. <https://doi.org/10.31857/S0869605524030053>
- Иващенко В.И., Голубев А.И. (2015) Новые аспекты минералогии и металлогении Питкярантского рудного района. *Труды КарНЦ РАН*, (7), 127–148. <https://doi.org/10.17076/geo149>
- Иващенко В.И., Валкама М., Сундблад К., Голубев А.И., Алексеев В.Ю. (2011) Новые данные по минералогии и металлогении скарнов Питкярантского рудного района. *Доклады Академии наук*, 440(2), 229–233.
- Казанцева Д.В., Маслова Д.А., Маюнова Д.А., Наставко Е.В. (2025) Составы гранатов из железорудных скарнов и магнетитовых руд Сухаринского рудного поля (Тельбесский железорудный район, Горная Шория). *Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции «Россия молодая»*. Кемерово, КузГТУ, 10212.
- Кононов О.В., Евлевская Л.Д., Ключарева С.М., Коровкин М.А., Кабалов Ю.К. (1989) Олово в гранате Тырныаузского месторождения. *Доклады Академии наук СССР*, 307(1), 206–211.
- Ларин А.М., Амелин Ю.В., Неймарк Л.А. (1991) Возраст и генезис комплексных скарновых руд Питкярантского рудного района. *Геология рудных месторождений*, (6), 15–32.
- Минералы: справочник. Т. 4, вып. 1: Силикаты со структурой, переходной от цепочечной к слоистой. Слоистые силикаты (1992) М., Наука, 598 с.
- Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 1. (2005) Петрозаводск, Карелия, 278 с.
- Нефедов Е.И. (1973) Минералогия месторождения Питкяранта. Металлоносность и минералогия скарноидов юга Карелии и запада Кольского полуострова. Л., ВСЕГЕИ, 326 с.
- Никольская Ж.Д., Ларин А.М. (1972) Грейзеновые образования Питкярантского рудного поля. *Записки Всесоюзного минералогического общества*, 101(5), 291–297.
- Пеков И.В., Власов Е.А., Герасимова Е.И. (2008) Питкярантская учебная минералогическая практика: Учебно-методическое пособие. М., МАКС Пресс, 60 с.
- Фурсенко Д.А. (1989) Условия синтеза минералов группы гельвина. Новосибирск, Наука, 78 с.
- Хазов Р.А. (1973) Геологические особенности оловянного оруденения Северного Приладожья. Л., Наука, 87 с.
- Щипцов В.В., Шаров Н.В., Рязанцев П.А. и др. (2020) Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и металлогения). Петрозаводск, КарНЦ РАН, 435 с.
- Amthauer G., McIver J.R., Viljoen E.A. (1979) ⁵⁷Fe and ¹¹⁹Sn Mössbauer studies of natural tin-bearing garnets. *Physics and Chemistry of Minerals*, (4), 235–244. <https://doi.org/10.1007/BF00307947>
- Brown W.M., Kwak T.A.P., Askins P.W. (1984) Geology and geochemistry of a F-Sn-W skarn system – The Hole 16 deposits, Mt Garnet, North Queensland, Australia.

Australian Journal of Earth Science, 31, 317–340. <https://doi.org/10.1080/14400958408527934>

Bulter B.C. (1978) Ti-rich garnet, pyroxene, and spinel from a slag. *Mineralogical Magazine*, 42, 487–492. <https://doi.org/10.1180/minmag.1978.042.324.11>

Chen J., Halls C., Stanley C.J. (1992) Tin-bearing skarns of South China: Geological setting and mineralogy. *Ore Geology Reviews*, 7(3), 225–248. [https://doi.org/10.1016/0169-1368\(92\)90006-7](https://doi.org/10.1016/0169-1368(92)90006-7)

Chukanov N.V., Jančev S., Pekov I.V. (2015) The association of oxygen bearing minerals of chalcophile elements in the orogenetic zone related to the «Mixed Series» complex near Nežilovo, Republic of Macedonia. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 34(1), 115–124. <https://doi.org/10.20450/mjce.2015.612>

Chukanov N.V., Zubkova N.V., Jančev S., Pekov I.V., Ermolaeva V.N., Varlamov D.A., Belakovskiy D.I., Britvin S.N. (2020) Zinc-rich and copper-bearing amphiboles from sulfide-free ore occurrences of the Pelagonian Massif, Republic of North Macedonia. *Mineralogy and Petrology*, 114, 129–140. <https://doi.org/10.1007/s00710-020-00694-z>

Dadak V., Novak F. (1965) Tin containing andradite from Plavno Mine in the Krusne Hory Mts, Czechoslovakia. *Mineralogical Magazine*, 35, 379–385.

Deidda M.L., Naitza S., Moroni M., De Giudici G.B., Fancello D., Idini A., Risplendente A. (2023) Mineralogy of scheelite-bearing ores of Monte Tamara, SW Sardinia: insights for the evolution of a Late Variscan W-Sn skarn system. *Mineralogical Magazine*, 87(1), 86–108. <https://doi.org/10.1180/mgm.2022.119>

Essene E.J., Peacor D.R. (1987) Petedunnite ($\text{CaZnSi}_2\text{O}_6$), a new zinc clinopyroxene from Franklin, New Jersey, and phase equilibria for zincian pyroxene. *American Mineralogist*, 72, 157–166. <https://doi.org/10.2138/am.2012.3836>

FrondeL C., Einaudi M. (1968) Zinc-rich micas from Sterling Hill, New Jersey. *American Mineralogist*, 51, 1107–1123.

Gerasimova E.I. (2007) Mineral variety of metasomatic rocks and late hydrothermal formations of the ore deposits of Pitkaranta district (South Karelia, Russia). *IV International symposium “Mineral Diversity: Research and Preservation”*. Sofia, Earth and Man National Museum, 67–74.

Grew E.S., Locock A.J., Mills S.J., Galuskin I.O., Galuskin E.V., Halenius U. (2013) Nomenclature of the garnet supergroup (IMA Report). *American Mineralogist*, 98, 785–811. <https://doi.org/10.2138/am.2013.4201>

Groat L.A., Hawthorne F.C., Ercit T.S. (1992) The chemistry of vesuvianite. *The Canadian Mineralogist*, 30, 19–48.

He L., Liang T., Wang D., Zhang J., Liu B. (2024) Skarn formation and Zn-Cu mineralization in the Dachang Sn polymetallic ore field, Guangxi: insights from skarn rock assemblage and geochemistry. *Minerals*, 14, 193. <https://doi.org/10.3390/min14020193>

Ivashchenko V.I. (2021) Rare-metal (In, Bi, Te, Se, Be) mineralization of skarn ores in the Pitkaranta mining district, Ladoga Karelia, Russia. *Minerals*, 11(2), 124. <https://doi.org/10.3390/min11020124>

Jančev S. (1997) Zn-rich pyroxenes from the ore occurrences in the mixed series in the upper part of the Babuna river, Macedonia. *Geologija*, 40(1), 283–289. <https://doi.org/10.5474/geologija.1997.013>

McIver J.R., Mihalik P. (1975) Stannian andradite from Davib Ost, South West Africa. *The Canadian Mineralogist*, 13, 217–221.

Meyer N., Burisch M., Gutzmer J., Krause J., Scheibert H., Markl G. (2025) Mineral chemistry of the Geyer SW tin skarn deposit: understanding variable fluid/rock ratios and metal fluxes. *Mineralium Deposita*, 60, 85–111. <https://doi.org/10.1007/s00126-024-01297-w>

Mulholland I.R. (1984) Malayaite and tin-bearing garnet from a skarn at Gumble, NSW, Australia. *Mineralogical Magazine*, 48, 27–30. <https://doi.org/10.1180/minmag.1984.048.346.04>

Ordosch A., Raith J.G., Schmidt S., Aupers K. (2019) Polyphase scheelite and stanniferous silicates in a W-(Sn) skarn close to Felbertal tungsten mine, Eastern Alps. *Mineralogy and Petrology*, 113, 703–725. <https://doi.org/10.1007/s00710-019-00675-x>

Palache Ch. (1937) The minerals of Franklin and Sterling Hill, Sussex County, New Jersey. U.S. Geological Survey Professional Paper, 180, 135 p.

Plimer I.R. (1984) Malayaite and tin-bearing silicates from a skarn at Doradilla via Bourke, New South Wales. *Australian Journal of Earth Science*, 31, 147–153. <https://doi.org/10.1080/08120098408729286>

Scribner E.D., Groat L.A., Cempirek J. (2017) Mineralogy of the Ash mountain Sn-bearing skarn, Tuya Range, Northern British Columbia, Canada. *The Canadian Mineralogist*, 55, 333–347. <https://doi.org/10.3749/canmin.1600064>

Shannon R.D. (1976) Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallographica*, A32, 751–767. <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551>

Sharygin V.V. (2015) Zincian micas from peralkaline phonolites of the Oktyabrsky massif, Azov Sea region, Ukrainian Shield. *European Journal of Mineralogy*, 27(4), 521–533. <https://doi.org/10.1127/ejm/2015/0027-2460>

Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Britvin S.N., Zubkova N.V., Varlamov D.A., Sidorov E.G. (2020a) Unusual silicate mineralization in fumarolic sublimates of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia Part 1: Neso-, cyclo-, ino- and phyllosilicates. *European Journal of Mineralogy*, 32(1), 101–119. <https://doi.org/10.5194/ejm-32-101-2020>

Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Britvin S.N., Zubkova N.V., Varlamov D.A., Sidorov E.G. (2020b) Unusual silicate mineralization in fumarolic sublimates of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia

Part 2: Tectosilicates. *European Journal of Mineralogy*, 32(1), 121–136. <https://doi.org/10.5194/ejm-32-121-2020>

Yuan J., Hou Q., Yang Z., Jiang H., Hu Z., Yu T. (2018) Distribution and mobilization of Sn in silicate minerals from the Mesozoic Shizhuyuan W-dominated polymetallic deposit, South China. *Ore Geology Reviews*, 101, 595–608. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.07.027>

Van Marcke G.L. (1986) Tin-bearing epidote from skarn in the Land's End aureole, Cornwall, England. *The Canadian Mineralogist*, 24, 411–415.

Vergasova L.P., Krivovichev S.V., Britvin S.N., Burns C.P., Ananiev V.V. (2004) Filatovite, $K[(Al,Zn)_2(As,Si)_2O_8]$, a new mineral species from the Tolbachik volcano, Kamchatka peninsula, Russia. *European Journal of Mineralogy*, 16, 533–536. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2004/0016-0533>

REFERENCES

Aleksandrov S.M. (1982) Geochemistry of boron and tin in magnesian skarn deposits. Moscow, Nauka, 272 p. (in Russian)

Aleksandrov S.M., Troneva M.A. (2003) Geochemistry of titanium and its modes of occurrence in metasomatically altered rocks. *Geochemistry International*, 41(1), 21–37.

Amthauer G., McIver J.R., Viljoen E.A. (1979) ^{57}Fe and ^{119}Sn Mössbauer studies of natural tin-bearing garnets. *Physics and Chemistry of Minerals*, (4), 235–244. <https://doi.org/10.1007/BF00307947>

Badalov S.T. (1958) Pyrochroite, Zn-bearing serpentine and allophane from the Almalı deposit (UzSSR). *Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*, 87(6), 698–701 (in Russian).

Borisov I.V. (2017) Underground mines of the Pitkyaranta complex (Northern Ladoga region). In: *Speleologia i spelestologiya: Sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Speleology and Speleology: Proceedings of the VIII International Scientific Conference)*. Naberezhnye Chelny, NGPU, 234–243. (in Russian)

Brown W.M., Kwak T.A.P., Askins P.W. (1984) Geology and geochemistry of a F-Sn-W skarn system – The Hole 16 deposits, Mt Garnet, North Queensland, Australia. *Australian Journal of Earth Science*, 31, 317–340. <https://doi.org/10.1080/14400958408527934>

Bulakh A.G., Frank-Kamenetsky V.A. (1961) Geological excursion in the vicinity of Pitkyaranta. Petrozavodsk, KASSR, 107 p. (in Russian)

Bulakh M.O., Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Nazarova M.A. (2023) Basalt alteration in high-temperature oxidizing-type fumaroles at the Tolbachik volcano (Kamchatka, Russia). Part 2. Gas metasomatites. *Zapiski Vserossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*,

152(5), 14–65 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869605523050039>

Bulakh M.O., Baksheev I.A., Yapaskurt V.O. (2025a) Mineralogy and genesis of apocarbonate serpentinites of the Pitkärinta mining district, Northern Ladoga region. Part 2. Serpentinites of the Klara ore occurrence. *Litosfera (Lithosphere (Russia))*, 25(5), 1176–1200 (in Russian). <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-5-1176-1200>

Bulakh M.O., Pekov I.V., Shcherbakov V.D., Vigasina M.F., Karpov A.O., Chukanov N.V. (2025b) New data on helvine-group minerals: Isomorphic substitutions, sulfur species, and Raman spectroscopy. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*, 80(3), 392–403. <https://doi.org/10.3103/S0145875225700528>

Bulter B.C. (1978) Ti-rich garnet, pyroxene, and spinel from a slag. *Mineralogical Magazine*, 42, 487–492. <https://doi.org/10.1180/minmag.1978.042.324.11>

Chen J., Halls C., Stanley C.J. (1992) Tin-bearing skarns of South China: Geological setting and mineralogy. *Ore Geology Reviews*, 7(3), 225–248. [https://doi.org/10.1016/0169-1368\(92\)90006-7](https://doi.org/10.1016/0169-1368(92)90006-7)

Chukanov N.V., Jančev S., Pekov I.V. (2015) The association of oxygen bearing minerals of chalcophile elements in the orogenic zone related to the «Mixed Series» complex near Nežilovo, Republic of Macedonia. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 34(1), 115–124. <https://doi.org/10.20450/mjce.2015.612>

Chukanov N.V., Zubkova N.V., Jančev S., Pekov I.V., Ermolaeva V.N., Varlamov D.A., Belakovskiy D.I., Britvin S.N. (2020) Zinc-rich and copper-bearing amphiboles from sulfide-free ore occurrences of the Pelagonian Massif, Republic of North Macedonia. *Mineralogy and Petrology*, 114, 129–140. <https://doi.org/10.1007/s00710-020-00694-z>

Dadak V., Novak F. (1965) Tin containing andradite from Plavno Mine in the Krusne Hory Mts, Czechoslovakia. *Mineralogical Magazine*, 35, 379–385.

Deidda M.L., Naitza S., Moroni M., De Giudici G.B., Fancello D., Idini A., Risplendente A. (2023) Mineralogy of scheelite-bearing ores of Monte Tamara, SW Sardinia: insights for the evolution of a Late Variscan W-Sn skarn system. *Mineralogical Magazine*, 87(1), 86–108. <https://doi.org/10.1180/mgm.2022.119>

Dolgasheva T.N., Zuev V.V. (1979) Nature of Sn in garnets of the Kitel deposit. In: *Mineraly i paragenезisы mineralnyh gornyh porod i rud (Minerals and Mineral Parageneses of Rocks and Ores)*. Leningrad, Nauka, 141–146 (in Russian).

Essene E.J., Peacor D.R. (1987) Petedunnite ($CaZnSi_2O_6$), a new zinc clinopyroxene from Franklin, New Jersey, and phase equilibria for zincian pyroxene. *American Mineralogist*, 72, 157–166. <https://doi.org/10.2138/am.2012.3836>

FrondeL C., Einaudi M. (1968) Zinc-rich micas from Sterling Hill, New Jersey. *American Mineralogist*, 51, 1107–1123.

- Fursenko D.A. (1989) Synthesis of minerals of the helvine group. Novosibirsk, Nauka, 78 p. (in Russian)
- Gaidukova B.C., Grigoriev I.M., Dubinchuk V.T., Ilyasov A.M., Kuzmin V.I., Sidorenko G.A. (1980) Solid solution exsolution of Sn-bearing garnets. *Doklady Akademii nauk SSSR (Doklady Academy of Sciences USSR)*, 250(3), 694–697. (in Russian)
- Gerasimova E.I. (2007) Mineral variety of metasomatic rocks and late hydrothermal formations of the ore deposits of Pitkäranta district (South Karelia, Russia). *IV International symposium "Mineral Diversity: Research and Preservation"*. Sofia, Earth and Man National Museum, 67–74.
- Gerasimova E.I., Pekov I.V., Kononkova N.N. (2006) Vesuvianite of the Lupikko ore field, Pitkäranta, Karelia: mineral assemblages, evolution of composition and geochemical significance. *Trudy III Fersmanovskoy nauchnoy sessii Kolskogo otdeleniya Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva (Proceedings of the III Fersman Scientific Session, Kola Branch of the Russian Mineralogical Society)*. Apatity, K & M, 111–113 (In Russian).
- Gerasimova E.I., Pekov I.V., Kononkova N.N., Vigasina M.F., Chukanov N.V., Guseva E.V. (2013) Boron in magnesium minerals of the humite group. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*, 68(1), 43–51. <https://doi.org/10.3103/S0145875213010031>
- Grew E.S., Locock A.J., Mills S.J., Galuskin I.O., Galuskin E.V., Halenius U. (2013) Nomenclature of the garnet supergroup (IMA Report). *American Mineralogist*, 98, 785–811. <https://doi.org/10.2138/am.2013.4201>
- Groat L.A., Hawthorne F.C., Ercit T.S. (1992) The chemistry of vesuvianite. *The Canadian Mineralogist*, 30, 19–48.
- He L., Liang T., Wang D., Zhang J., Liu B. (2024) Skarn formation and Zn-Cu mineralization in the Dachang Sn polymetallic ore field, Guangxi: insights from skarn rock assemblage and geochemistry. *Minerals*, 14, 193. <https://doi.org/10.3390/min14020193>
- Ivashchenko V.I. (1987) Skarn Sn and W mineralization of the southern part of the Baltic Shield. Leningrad, Nauka, 240 p. (in Russian)
- Ivashchenko V.I. (2021) Rare-metal (In, Bi, Te, Se, Be) mineralization of skarn ores in the Pitkäranta mining district, Ladoga Karelia, Russia. *Minerals*, 11(2), 124. <https://doi.org/10.3390/min11020124>
- Ivashchenko V.I. (2024) Variations in chemical composition of the titanite group minerals in ore skarns of the Ladoga region (South Karelia, Russia). *Zapiski Vserossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*, 153(3), 76–96. [10.31857/S0869605524030053](https://doi.org/10.31857/S0869605524030053) (in Russian)
- Ivashchenko V.I., Golubev A.I. (2015) New issues of mineralogy and metallogeny of the Pitkäranta mining district. *Trudy KarNTs RAN (Proceedings of the KarSC RAS)*, 7, 127–148. <https://doi.org/10.17076/geo149> (in Russian)
- Ivashchenko V.I., Valkama M., Sundblad K., Golubev A.I., Alekseev V.Y. (2011) New data on mineralogy and metallogeny of scarns in the Pitkäranta ore region. *Doklady Earth Science*, 440(1), 1307–1311. <https://doi.org/10.1134/S1028334X11090182>
- Jančev S. (1997) Zn-rich pyroxenes from the ore occurrences in the mixed series in the upper part of the Babuna River, Macedonia. *Geologija*, 40(1), 283–289. <https://doi.org/10.5474/geologija.1997.013>
- Kazantseva D.V., Maslova D.A., Mayunova D.A., Mentorko E.V. (2025) Compositions of garnets from iron skarns and magnetite ores of the Sukhara ore field (Telbes iron district, Gornaya Shoriya). *Materialy XVII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Rossiya molodaya» (Proceedings of the XVII All-Russian Conference "Young Russia")*. Kemerovo, KuzGTU, 10212 (in Russian).
- Khazov R.A. (1973) Geological characteristics of tin mineralization in the Northern Ladoga region. Leningrad, Nauka, 87 p. (In Russian)
- Kononov O.V., Evgenevskaya L.D., Klyuchareva S.M., Korovkin M.A., Kabalov Yu.K. (1989) Tin in garnet of the Tyrnyauz deposit. *Doklady Akademii nauk SSSR (Doklady Academy of Sciences USSR)*, 307(1), 206–211 (in Russian).
- Larin A.M., Amelin Yu.V., Neymark L.A. (1991) Age and genesis of complex skarn ores from the Pitkäranta mining district. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy (Geology of Ore Deposits)*, (6), 15–33. (in Russian)
- McIver J.R., Mihalik P. (1975) Stannian andradite from Davib Ost, South West Africa. *The Canadian Mineralogist*, 13, 217–221.
- Meyer N., Burisch M., Gutzmer J., Krause J., Scheibert H., Markl G. (2025) Mineral chemistry of the Geyer SW tin skarn deposit: understanding variable fluid/rock ratios and metal fluxes. *Mineralium Deposita*, 60, 85–111. <https://doi.org/10.1007/s00126-024-01297-w>
- Minerals: Handbook. Vol. 4 (1): Silicates with chain to layered transitional structure. Phyllosilicates. (1992) Moscow, Nauka, 598 p. (in Russian)
- Mineral resource base of the Republic of Karelia. Book 1. (2005) Petrozavodsk, Karelia, 278 p. (in Russian)
- Mulholland I.R. (1984) Malayaite and tin-bearing garnet from a skarn at Gumble, NSW, Australia. *Mineralogical Magazine*, 48, 27–30. <https://doi.org/10.1180/minmag.1984.048.346.04>
- Nefedov E.I. (1973) Mineralogy of the Pitkäranta deposit. Metal potential and mineralogy of skarnoids of southern Karelia and western Kola Peninsula. Leningrad, VSEGEI, 326 p. (in Russian)
- Nikolskaya Z.D., Larin A.M. (1972) Greisens of the Pitkäranta ore field. *Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*, 101(5), 291–297 (in Russian).
- Ordosch A., Raith J.G., Schmidt S., Aupers K. (2019) Polyphase scheelite and stanniferous silicates in

a W-(Sn) skarn close to Felbertal tungsten mine, Eastern Alps. *Mineralogy and Petrology*, 113, 703–725. <https://doi.org/10.1007/s00710-019-00675-x>

Palache Ch. (1937) The minerals of Franklin and Sterling Hill, Sussex County, New Jersey. U.S. Geological Survey Professional Paper, 180, 135 p.

Pekov I.V., Vlasov E.A., Gerasimova E.I. (2008) Pitkäranta training mineralogical practice: an educational and methodical manual. Moscow, MAKS Press, 60 p. (in Russian)

Plimer I.R. (1984) Malayaite and tin-bearing silicates from a skarn at Doradilla via Bourke, New South Wales. *Australian Journal of Earth Science*, 31, 147–153. <https://doi.org/10.1080/08120098408729286>

Scribner E.D., Groat L.A., Cempírek J. (2017) Mineralogy of the Ash mountain Sn-bearing skarn, Tuya Range, Northern British Columbia, Canada. *The Canadian Mineralogist*, 55, 333–347. <https://doi.org/10.3749/canmin.1600064>

Shannon R.D. (1976) Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallographica*, A32, 751–767. <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551>

Sharygin V.V. (2015) Zincian micas from peralkaline phonolites of the Oktyabrsky massif, Azov Sea region, Ukrainian Shield. *European Journal of Mineralogy*, 27(4), 521–533. <https://doi.org/10.1127/ejm/2015/0027-2460>

Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Britvin S.N., Zubkova N.V., Varlamov D.A., Sidorov E.G. (2020a) Unusual silicate mineralization in fumarolic sublimates of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia Part 1: Neso-, cyclo-, ino- and phyllosilicates. *European Journal of Mineralogy*, 32(1), 101–119. <https://doi.org/10.5194/ejm-32-101-2020>

Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Britvin S.N., Zubkova N.V., Varlamov D.A., Sidorov E.G. (2020b) Unusual silicate mineralization in fumarolic sublimates of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia Part 2: Tectosilicates. *European Journal of Mineralogy*, 32(1), 121–136. <https://doi.org/10.5194/ejm-32-121-2020>

Shchiptsov V.V., Sharov N.V., Ryazantsev P.A. et al. (2020) Proterozoic Ladoga structure: geology, deep structure and mineral genesis. Petrozavodsk, KarNTs RAN, 435 p. (in Russian)

Yuan J., Hou Q., Yang Z., Jiang H., Hu Z., Yu T. (2018) Distribution and mobilization of Sn in silicate minerals from the Mesozoic Shizhuyuan W-dominated polymetallic deposit, South China. *Ore Geology Reviews*, 101, 595–608. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.07.027>

Van Marcke G.L. (1986) Tin-bearing epidote from skarn in the Land's End aureole, Cornwall, England. *The Canadian Mineralogist*, 24, 411–415.

Vergasova L.P., Krivovichev S.V., Britvin S.N., Burns C.P., Ananiev V.V. (2004) Filatovite, $K[(Al,Zn)_2(As,Si)_2O_8]$, a new mineral species from the Tolbachik volcano, Kamchatka peninsula, Russia. *European Journal of Mineralogy*, 16, 533–536. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2004/0016-0533>

Voloshin A.V., Pakhomovsky Ya.A. (1988) Stokesite from granitic pegmatites of the Kola Peninsula and skarnoids of Karelia (Pitkyaranta). *Trudy mineralogicheskogo muzeya. Novye dannye o mineralakh SSSR (Proceedings of the Mineralogical Museum. New Data on Minerals of the USSR)*, 35, 36–39 (in Russian).

Информация об авторах

Булах Мария Олеговна – кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник, кафедра минералогии геологического факультета Московского государственного университета, г. Москва, Россия; aregon27@mail.ru

Герасимова Екатерина Игоревна – кандидат геолого-минералогических наук, заместитель начальника отдела минералогической экспертизы, Российский федеральный центр судебной экспертизы им. А.Р. Шляхова при Минюсте РФ, г. Москва, Россия; ekaterina-gera@inbox.ru

Япаскурт Василий Олегович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория локальных методов исследования вещества геологического факультета Московского государственного университета, г. Москва, Россия; yvo72@geol.msu.ru

Ушакова Софья Алексеевна – младший научный сотрудник, Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Москва, Россия; инженер, лаборатория локальных методов исследования вещества геологического факультета Московского государственного университета, г. Москва, Россия; sonya.ushakova.2017@gmail.com

Коротаева Наталья Николаевна – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий инженер, лаборатории локальных методов исследования вещества геологического факультета Московского государственного университета, г. Москва, Россия; nkorotaeva@gmail.com

Information about the authors

Maria O. Bulakh – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Junior Researcher, Department of Mineralogy, Faculty of Geology, Moscow State University, Moscow, Russia; aregon27@mail.ru

Ekaterina I. Gerasimova – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Deputy Head of the Department of Mineralogical Expertise, Professor Shlyakhov Russian Federal Center for Forensic Expertise of the Ministry of Justice of the Russian Federation, Moscow, Russia; ekaterina-gera@inbox.ru

Vasily O. Yapaskurt – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Leading Researcher, Laboratory of Local Analytical Methods, Faculty of Geology, Moscow State University, Moscow, Russia; yvo72@geol.msu.ru

Sof'ya A. Ushakova – Junior Researcher, Institute of Experimental Mineralogy RAS; Engineer, Laboratory of Local Analytical Methods, Faculty of Geology, Moscow State University, Moscow, Russia; sonya.ushakova.2017@gmail.com

Natalia N. Korotaeva – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Leading Engineer, Laboratory of Local Analytical Methods, Faculty of Geology, Moscow State University, Moscow, Russia; nkorotaeva@gmail.com