

### Золотоносные метасоматиты Ялонвара-Пертинъярвинской зеленокаменной структуры (Западная Карелия)

На примере Пертинъярвинской и Соанварской перспективных площадей Ялонвара-Пертинъярвинской зеленокаменной структуры (Западная Карелия) охарактеризованы взаимоотношения золотого оруденения и метасоматических ореолов. Основным типом околорудных метасоматитов на изученной площади являются березиты. Установлена их пространственная и генетическая связь с кислыми вулканитами ялонварской свиты. Дана петрографическая характеристика березитов и березитизированных пород. Охарактеризована зональность ореолов. Установлен второй тип метасоматических преобразований, представленный гранат-эпидот-биотит-кварцевым минеральным парагенезисом, наложенным на внешние зоны ореолов березитизации. Выделены два типа золотого оруденения. Первый, представленный богатыми рудами, локализован в кварцевых жилах и гидротермальных брекчиях, располагающихся в центральных частях ореолов березитизации. Второй тип с умеренным содержанием золота приурочен к участкам прожилковых гранат-эпидот-биотит-кварцевых гидротермально-метасоматических образований штокверкового типа на периферии ореолов березитизации.

Ключевые слова: *Карелия, зеленокаменный пояс, архей, метасоматоз, березит, вулканиты, метасоматическая зональность, золото.*

Z. V. KRUPENIK (VSEGEI)

### Gold-bearing metasomatite of the Yalonvara Pertinjarvi greenstone structure (Western Karelia)

The relationship between gold mineralization and metasomatic haloes is characterized on the example of the Pertinjarvi and Soanvara prospective areas of the Yalonvara-Pertinjarvi greenstone structure (Western Karelia). The main type of ore-bearing metasomatites of area are beresites. The spatial and genetic connection of beresites with acidic volcanics of the yalonvarskaya suite have been established. Petrographic characteristics of beresites and beresitized rocks have been given. The zonation of metasomatic haloes has been characterized. A second type of metasomatic transformation, represented by a garnet-epidote-biotite-quartz mineral paragenesis, superimposed on the outer zones of the haloes of beresitization was established. Two types of gold mineralization have been allocated. The first one, represented by rich ores, is localized in quartz veins and hydrothermal breccias. The second type, with a low gold content, is confined to the periphery of the haloes of beresitization, in the thin veins (stockwork) with garnet-epidote-biotite selvages.

Key words: *Karelia, greenstone belt, Archean, metasomatoz, beresite, volcanic rocks, metasomatic zonation, gold mineralization.*

Территория Пертинъярвинской и Соанварской площадей располагается в Суоярвском районе Республики Карелия. Геологически она принадлежит южной части Ялонвара-Хатту-Лендерского архейского зеленокаменного пояса, находясь в пределах Ялонвара-Пертинъярвинской зеленокаменной структуры (рис. 1). Центральная часть зеленокаменного пояса находится на территории Финляндии, где в настоящее время известны несколько месторождений, а также многочисленные проявления золота [2]. Российская часть Ялонвара-Хатту-Лендерского зеленокаменного пояса сложена теми же структурно-вещественными комплексами, что и финская его часть, а это предполагает высокую перспективность территории на обнаружение промышленной золоторудной минерализации [4].

В статье использованы данные, полученные при проведении поисковых работ по договору с ЗАО «Аврора-Менеджмент» в 2013–2014 гг. поисковых маршрутов м-ба 1 : 10 000 и описании и опробовании керна скважин и канав. Статья основана на результатах химических анализов керновых проб, изучения образцов керна, шлифов и аншлифов. Аналитические исследования включали определение содержания золота и сопутствующих элементов атомно-абсорбционным и ICP-MS методами, силикатный (рентгенофлуоресцентный) и микронзондовый анализы. Анализы выполнены в лаборатории СЗФ «Невскгеология» ФГУПП «Урангео» и центральной лаборатории ВСЕГЕИ.

В строении изучаемой перспективной площади преобладают осадочно-вулканогенные отложения

ялонварской свиты лопийского возраста позднего архея. Они метаморфизованы в условиях от зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма и смяты в узкие изоклинальные складки с падением на восток, северо-восток под углом около 80°. Фундамент сложен раннеархейскими гранитоидными образованиями. Часть из них сопоставима по возрасту с образованиями ялонварской свиты и комагматична им.

Породы ялонварской свиты на Пертинъярвинской площади, по данным бурения, делятся нами на три подсвиты. Нижняя подсвита представлена метаандезитами и биотит-амфибол-кварц-плагиоклазовыми и другими сланцами (вероятно, по туфам андезитов) с подчиненным количеством метабазалтов. Характерны горизонты андезитовых лавобрекчий. Породы подверглись интенсивной региональной пропилитизации. Широко развиты признаки воздействия гранитов – калишпатизация совместно с окварцеванием, секущие гранитные жилы.

Средняя подсвита характеризуется контрастным составом пород: метадацитами, метариолитами, метабазалтами и сланцами различного состава. В основании средней подсвиты залегает горизонт с одним или несколькими пластовыми телами ультраосновных пород, подвергшихся интенсивному метасоматозу. К средней подсвите приурочено большинство проявлений золоторудной минерализации на Пертинъярвинской площади.

В верхней подсвите резко преобладают сланцы по вулканитам среднего и кислого составов с подчиненным количеством метабазалтов, а также известковистые сланцы с содержанием карбоната до 40%. Для подсвиты характерны маломощные прослои углеродистых сланцев и горизонты колчеданных руд, которые часто приурочены к зонам окварцевания.

Преобладающим метасоматическим процессом, широко проявленным в средней и в меньшей степени в верхней подсвитах, является березитизация [3]. Березиты – самый распространенный тип метасоматитов, сопровождающий золоторудные месторождения. Большинство исследователей считает, что «богатые руды, как правило, приурочены к внутренней зоне метасоматической колонки и в участках максимальной ее мощности» [1].

Проведенные нами исследования подтвердили связь золотого оруденения с березитизированными породами ялонварской свиты на изученной площади. В то же время был установлен сложный неоднозначный характер их взаимоотношений.

На изученной площади нами выделяются два типа золотоносных пород. Оба из них пространственно сопряжены с ореолами березитизации. Первый тип представлен гидротермальными брекчиями и кварцевыми жилами. Брекчии слагают тела жильной формы с четкими границами. Они состоят из угловатых и пластично деформированных обломков риолитов, сцементированных кварцем, что сближает их собственно с кварцевыми жилами (рис. 2). Обломки риолитов в брекчиях интенсивно березитизированы, имеют турмалиновые оторочки. Мощности брекчий, встреченных в поисковых скважинах в единичных подсечениях, достигают 2–3 м. В составе цемента, помимо кварца, установлены сфен, апатит, ортит, хлорит, турмалин. Рудная минерализация представлена пиритом,



Рис. 1. Схема расположения Ялонвара-Пертинъярвинской структуры

1 – государственная граница; 2 – Ялонвара-Хатту-Лендерский архейский зеленокаменный пояс; 3 – месторождения золота; 4 – проявления золота

пирритом, галенитом, халькопиритом. Микронзондовым анализом установлены самородное золото, электрум, сульфосоли и теллуриды свинца и серебра. Содержание золота в керновых пробах достигает 10 г/т и более. Выделенный тип обычно тяготеет к центральным частям метасоматических ореолов, к участкам полнопроявленных березитов.

Второй тип золотоносных пород, менее обогащенных, но имеющих более широкое распространение, пространственно связан с протяженными зонами березитизации в вулканитах ялонварской свиты. Породы этого типа приурочены к периферии ореолов березитизации. Таким образом, оба типа золотоносных пород пространственно связаны с березитами по кислым вулканитам.

Березитизированные породы изучались нами в средней и верхней подсвитах ялонварской свиты. Главным фактором, влияющим на распространность березитов, как показали наблюдения, является наличие в разрезе указанных свит кислых вулканогенных пород. Именно к ним пространственно тяготеют ореолы березитизации. И с их становлением связано возникновение и развитие гидротермальной деятельности, результатом



Рис. 2. Гидротермальная брекчия по риолитам

которой стали большие объемы метасоматически измененных пород. В разрезах средней и верхней подсвиты ялонварской свиты кислые метавулканиды составляют существенную долю и березиты являются обычным их спутником. Одновременное отсутствие кислых метавулканидов и березитов в разрезе нижней подсвиты ялонварской свиты также согласуется с выводом о генетической связи кислых метаэффузивов с развитием березитизации.

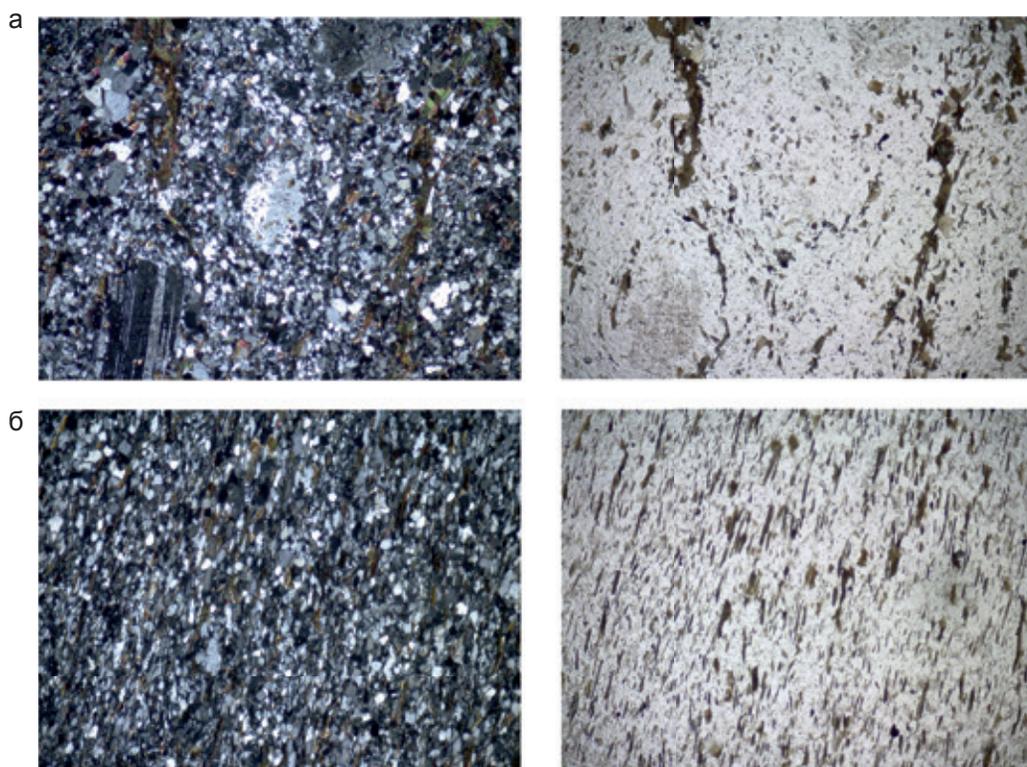
Кислые метавулканиды, по данным макроскопических, микроскопических и аналитических исследований, представлены метадацитами (преобладают) (рис. 3, *а*), метариодацитами, метариолитами и сланцами по их туфам. Породы имеют порфиоровую структуру с переменным количеством вкрапленников полевого шпата (от нескольких до 40–50 %) или представлены сланцами, которые при изучении под микроскопом также часто обнаруживают наличие порфирировых выделений, обычно, не более 5–7 %. Сланцы имеют главным образом биотит-кварц-полевошпатовый состав, мелкозернистую структуру, сланцеватую линзовидно-полосчатую текстуру (рис. 3, *б*). Цвет породы серый. При березитизации они превращаются в серицит-кварцевые сланцы. Между порфирировыми разностями и сланцами существуют как резкие, так и постепенные переходы. Морфологически кислые метавулканиды относятся к лавовым потокам и субвулканическим телам. Вероятно, присутствуют также дайки, однако достоверно они не установлены.

Метадациты, метариолиты и сланцы по их туфам березитизированы в разной степени. Характерной чертой ореолов березитизации является то, что в наибольшей степени изменены сланцы, примыкающие к метавулканидам с порфирировой структурой. В плане ореолы березитизированных

пород образуют тела линзовидной формы, вытянутые согласно с простираем пород ялонварской свиты с наибольшей зафиксированной шириной 130 и длиной 250 м и более.

Макроскопически умеренно и сильно березитизированные породы и полнопроявленные березиты отличаются от неизмененных пород светлой желтовато-серой окраской, благодаря чему достаточно легко диагностируются. Степень охваченности пород процессом березитизации крайне изменчива, от нескольких объемных процентов, занимаемых новообразованными минералами, до полнопроявленных метасоматитов, когда порода изменена целиком. Очевидно, это зависит от близости к источникам растворов, раствороподводящим каналам, зонам интенсивной циркуляции метасоматирующих растворов, восприимчивости самих пород к изменениям, их проницаемости и структуры.

Микроскопические исследования показали, что в слабопроницаемых массивных дацитовых порфирах березитизация выражена в слабой серицитизации (до 3–5 %). Серицит представлен в виде тонколистового агрегата разноориентированных чешуек (размером 0,01–0,1 мм) в порфирировых вкрапленниках плагиоклаза, а также развивается по биотиту. В сланцах по кислым туфам березитизация проявлена более интенсивно, и в основной массе породы содержание серицита может достигать 10–15 %. Он образует чешуйки размером 0,05–0,1 мм, ориентированные согласно сланцеватости породы. Дальнейшее развитие изменений приводит к образованию серицит-кварцевых метасоматитов с реликтами полевого шпата и листочков биотита. Полнопроявленные березиты представляют серицит-кварцевые мелкозернистые сланцы с полосчатой, линзовидно-полосчатой текстурой, в массе



**Рис. 3. Фотографии шлифов метадацит (*а*), биотит-полевошпат-кварцевый сланец (*б*)**

Слева николи скрещены, справа – параллельны

породы обычно рассеяна тонкая равномерная вкрапленность пирита (рис. 4 а, б). В количествах, не превышающих обычно 1–3 % в сумме, присутствуют карбонат, турмалин, апатит, эпидот. В березитах постоянно отмечаются маломощные кварцевые жилы извилистой формы, обычно субогласные, разлинзованные и фрагментированные в результате развития складчатости и вызванного ею рассланцевания пород. Кроме того, встречаются жилы кварца мощностью до 0,5–0,6 м. Характерным для них является то, что степень метасоматических изменений породы максимальна вблизи жил и она постепенно снижается при удалении от них. Новообразованные минералы и сопутствующие им кварцевые прожилки в массе пород, не подвергшихся рассланцеванию, ориентированы произвольно. В рассланцованных участках они подчиняются общей сланцеватости пород, участвуют в микро-складчатости, переориентируются в результате развития кливажа и т. д. Мы считаем, что перечисленные признаки указывают на доскладчатое время формирования березитов и березитизированных метадацитов.

Результаты опробования кернa скважин подтверждают связь размещения золотой минерализации с зонами развития березитов на изученной площади. Такая связь известна для многих золоторудных объектов в разных регионах. Как показали наши исследования, на изучаемой площади она не столь проста и однозначна. При детальном изучении характера распределения золота в ореолах березитизированных пород устанавливается следующая важная особенность. Лучше всего её можно проиллюстрировать на примере двух скважин 1 и 2. Породы скважин представлены глав-

ным образом метадацитами, березитизированными в степенях от очень слабых до полнопроявленных березитов. На линейных графиках (рис. 5) показана связь между содержаниями золота и интенсивностью березитизации в четырех градациях, где 1 – отсутствие березитизации, 2 – слабая березитизация (25 %), 3 – умеренная и сильная березитизация (50 %), 4 – полнопроявленный березит (100 %). Разделение на четыре степени проведено с детальностью, достаточной для того, чтобы увидеть интересующую нас закономерность. По оси абсцисс показаны глубины скважины, по оси ординат (слева) – содержания золота, а справа – степень изменения. Из графиков ясно, что наибольшие значения содержания золота (при отсутствии золотоносных кварцевых жил или брекчий) не имеют корреляции с максимальной степенью березитизации. Именно внешние, или периферические, участки ореолов березитизации проявляют четкую тенденцию к концентрации золота.

В то время как периферические зоны ореолов березитизации показывают накопление золота и сопутствующих элементов, в зонах полнопроявленных березитов наблюдаются содержания золота на уровне сотых долей грамма на тонну (0,03–0,05 г/т в среднем). По отношению к неизменным дацитам эти значения также являются аномально повышенными. Они на порядок превышают значения содержания золота в последних. Для неизменных дацитов характерны содержания в тысячных долях грамма на тонну (0,006–0,008 г/т).

В поле развития березитизированных пород периферических зон нами был выделен особый тип

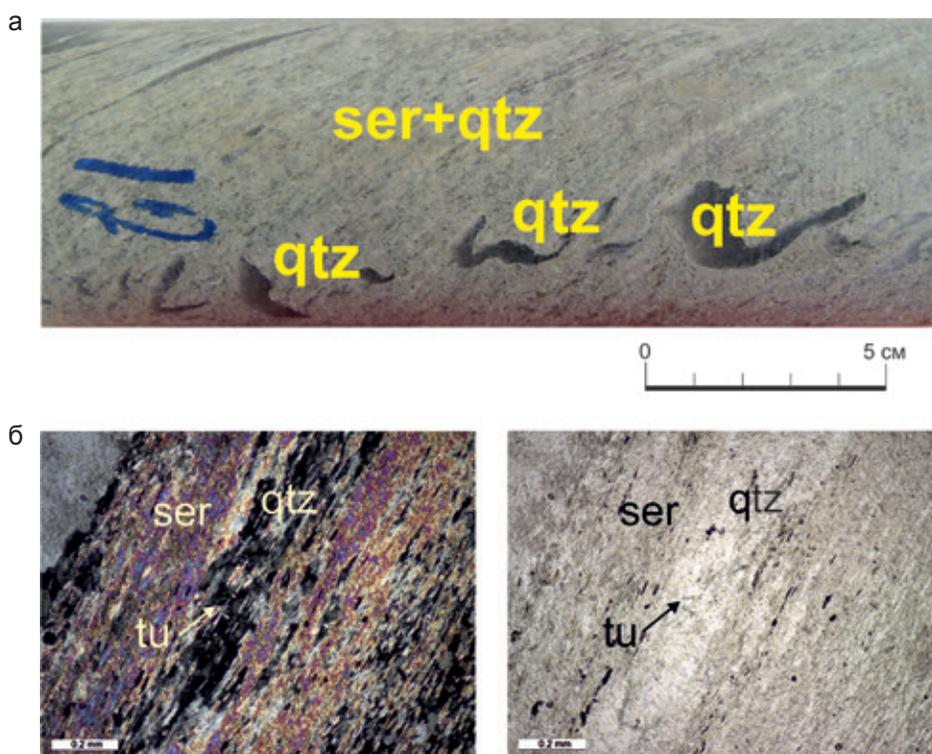


Рис. 4. Образец полнопроявленного березита с разлинзованной кварцевой жилкой (а) и фотография шлифа: полнопроявленный березит (серицит, кварц + турмалин и сульфидная вкрапленность (б)

Слева николи скрещены, справа – параллельны

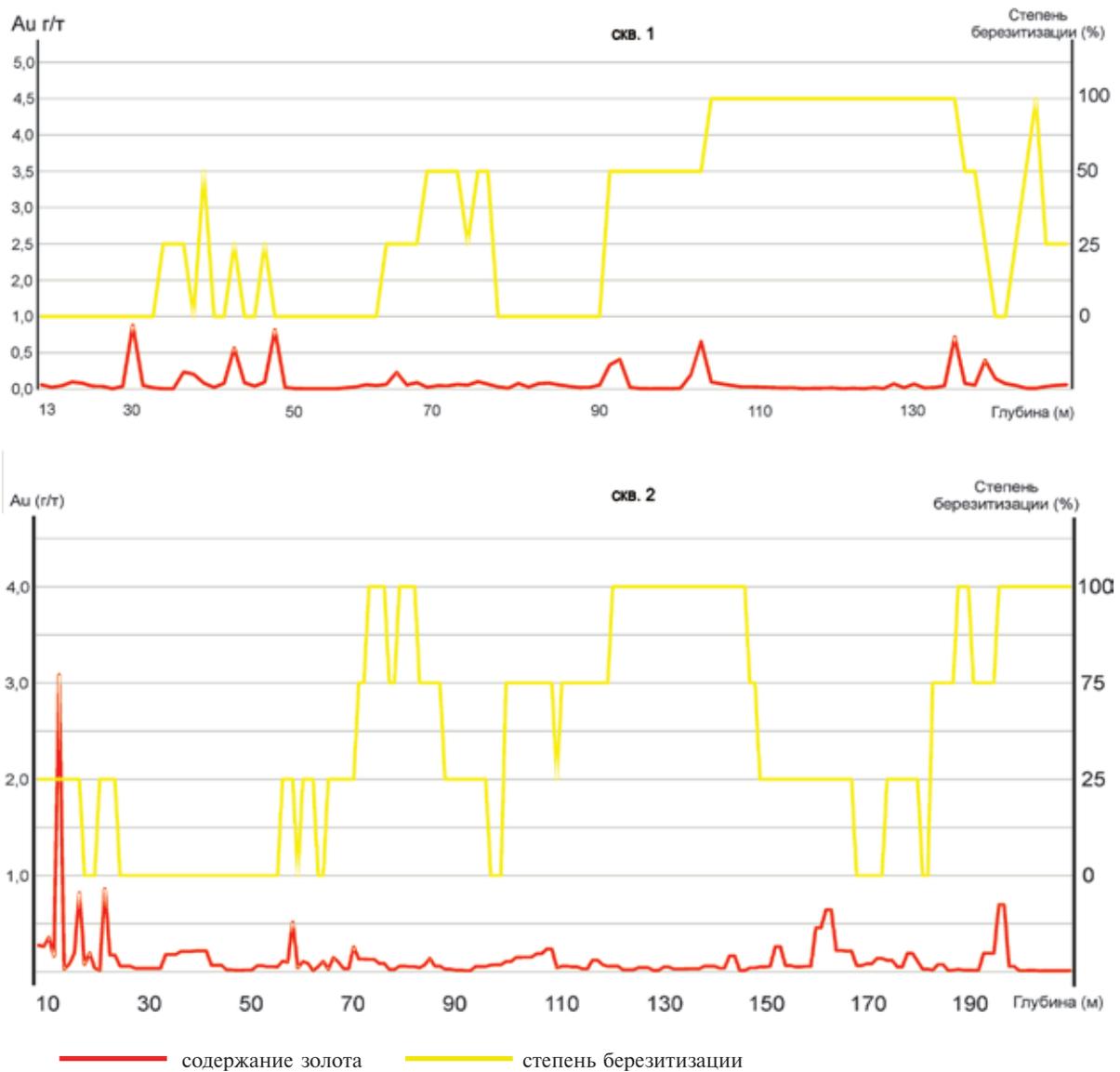


Рис. 5. Корреляция содержания золота и степени березитизации пород на примере скв. 1 и 2 Пертиньярвинской площади

**Состав гранатов из зальбандов кварцевых прожилков, проявившихся на периферии ореолов березитизации**  
(по данным микронзондового анализа)

Номер скважины	Номер образца	Позиция граната	Состав минерала (содержание элементов в %)						
			Si	Mg	Al	Ca	Mn	Fe	O
115	1154201	Спессартин-альмандин	18,57		11,26	1,76	3,63	24,77	40,02
124	1241801	Спессартин в сростании с эпидотом из ореола вдоль кварцевой жилы	16,21	0,57	9,52	5,55	17,51	12,46	38,19
	1241802	Спессартин из ореола вдоль кварцевой жилы	17,56	0,32	9,93	3,26	21,74	7,90	39,08
	1242502	Спессартин из кварцевого прожилка	19,20	1,03	10,94	1,38	19,79	7,05	40,61
164	1641102	Спессартин в сростании с кварцем и биотитом	18,54	0,82	10,72	3,26	17,96	8,53	40,17

гидротермально-метасоматических образований. Характерной для него минеральной ассоциацией являются кварц, биотит, гранат (таблица), эпидот и рудная минерализация. Морфологически это прожилки и линзы кварца (редкий штокверк), наложенные на березитизированные в слабой или умеренной степени дациты и биотит-кварц-полевошпатовые сланцы с развитием в их зальбандах или в них самих граната и биотита, эпидота, более редких турмалина, карбоната, амфибола, а также рудной минерализации (рис. 6 а, б).

Охарактеризуем выделенные образования на примере одной из скважин. Видимая мощность березитизированного интервала в скважине составила 16 м. В целом интервал содержал золото на уровне 0,п г/т (до 0,44 г/т). Содержание золота в трех секционных пробах от 1,9 до 6,0 г/т. Интенсивность березитизации в породе неравномерна, но в целом ее можно считать умеренной. Участками развиты нечастые кварцевые линзы и прожилки с гранатом, биотитом, эпидотом, пиритом в зальбандах. Эти минералы образуют оторочки вдоль жил и линз, реже располагаются непосредственно в жильном кварце. Мощность прожилков и линз от 1–2 мм до 3–4 см, ореолы вдоль наиболее мощных прожилков достигают 1,5–2 см. Гранаты представлены спессартином (таблица). Они несут признаки разрушения, замещения кварцем, пиритом и др. В аншлифах установлено тонкодисперсное золото в самих кварцевых жилах и в их зальбандах (рис. 7). В небольших про-

бах, выпиленных непосредственно из прожилков и приконтактных ореолов, установлены концентрации золота до 200 г/т и выше. Морфология кварцевых прожилков золотоносной зоны повторяет вышеописанные особенности, характерные для кварцевых прожилков зон полнопроявленных березитов – прожилки замяты, гофрированы, расташены и разлинзованы, имеют раздувы и сужения. Их отличает то, что они сопровождаются гранат-эпидот-биотитовыми ореолами. Связь гранат-эпидот-биотит-кварцевой минеральной ассоциации с кварцевыми прожилками позволяет сделать вывод о ее более позднем проявлении и наложении на серицит-кварцевую ассоциацию березитов. Однако характер деформаций указывает на их доскладчатое время образования.

Аналитические и петрографические исследования керны скважин подтвердили статистическую устойчивость пространственного сонахождения охарактеризованной и березитовой минеральных ассоциаций. В изученных нами скважинах ассоциация гранат-эпидот-биотит-кварц в виде прожилков наблюдалась только в дацитах и биотит-полевошпат-кварцевых сланцах, подвергшихся кварц-серицитовым (березитовым) изменениям. Эти исследования керны подтвердили связь рудоносности территории с охарактеризованными породами.

В выделенном (втором) типе гидротермально-метасоматических образований фиксируется концентрирование золота (от 0,1 до 8,8 г/т). В этой

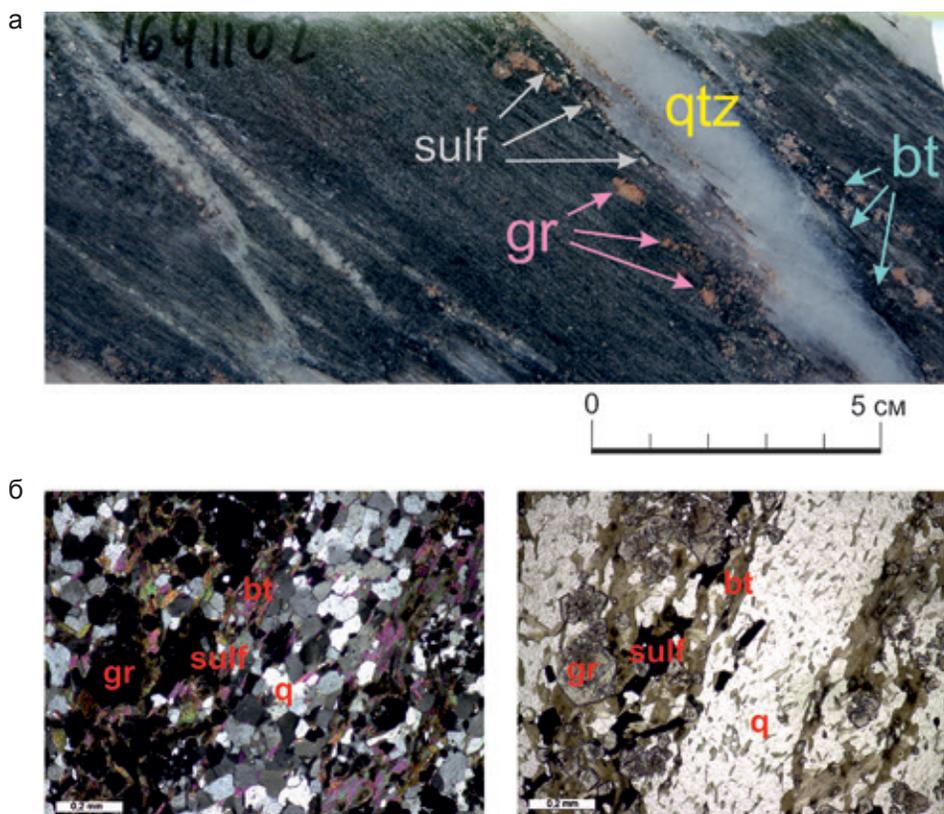


Рис. 6. Образец слабо березитизированного биотит-кварц-полевошпатового сланца с кварцевым прожилком, на границах которого развивается гранат, биотит и сульфидная минерализация (а) и фотография шлифа кварцевого прожилка с сульфидно-гранат-биотитовой оторочкой (б)

Слева николи скрещены, справа – параллельны

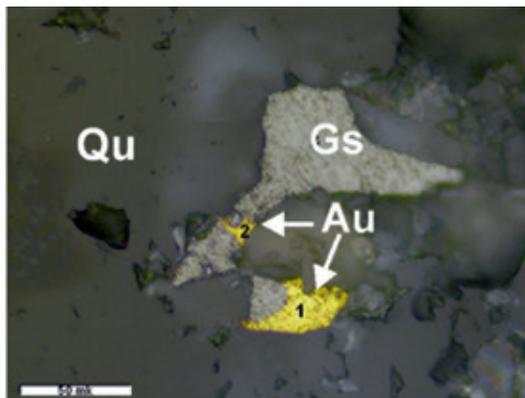
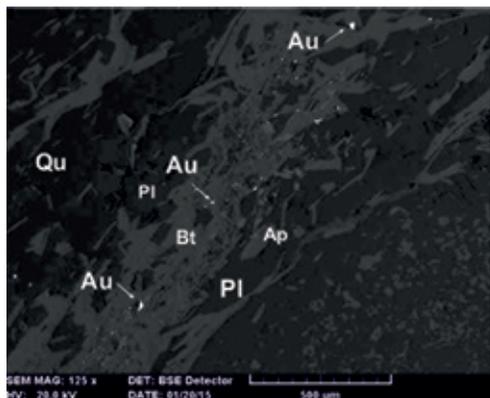


Рис. 7. Тонкая вкрапленность золота в биотитовом прослое из ореола кварцевой жилы (фото в электронном микроскопе) — слева, золото в ассоциации с гесситом в кварце (фото в отраженном свете) — справа

зоне накапливаются и другие рудные компоненты. Присутствуют сульфиды: пирит и пирротин, меньше распространены галенит и сфалерит, редко — молибденит. Микросондовым анализом, кроме сульфидов, были определены теллуриды свинца (*алтаит*  $PbTe$ , *кочкарит*  $PbBi_4Te_7$ ), серебра (*гессит*  $Ag_2Te$ , *петцит*  $Ag_3AuTe_2$ , *волынскит*  $AgBi_2Te_3$ ), висмута (*теллуrowисмутин*  $Bi_2Te_3$ ), никеля (*меланит*  $(Ni, Fe)Te_2$ ); сульфосоли серебра — *пираргирит*  $(Ag_3SbS_3)$ , *стефанит*  $(Ag_5SbS_4)$ , никеля — *ульманит*  $(NiSbS)$ ; интерметаллические соединения серебра — *алларгентум*  $(Ag, Sb)$ , а также *баккорнит*  $AuPb_2BiTe_2S_3$ . Рудная минерализация распространена в виде вкрапленности и мелких гнезд в массе породы и кварцевых прожилках.

В ходе изучения Пертиньярвинской и Соанварской перспективных золотоносных площадей были установлены широкое развитие на них березитов и их генетическая связь с кислыми вулканитами средней и верхней подзвонья Ялонварской свиты. Для ореолов березитизации в метавулканитах Ялонвара-Пертиньярвинской структуры характерно накопление золота в двух позициях: центральных частях ореолов березитизации и на их периферии. В центральных частях ореолов золото приурочено к гидротермальным брекчиям жильной морфологии и кварцевым жилам. В риолитовых брекчиях и кварцевых жилах осевых частей метасоматических ореолов встречается богатое золотое оруденение, образующее рудные столбы. Для него характерны высокие содержания золота (на изученной площади более 10 г/т), неравномерное и невыдержанное распределение и сравнительно небольшие размеры. На периферии ореолов березитизации размещается вторая зона обогащения золотом. Для нее характерны сравнительно невысокие (1–2 г/т), но выдержанные концентрации золота и большая протяженность. Золотоносность этой зоны определяется наличием мелких кварцевых жил (штокверка), сопровождаемых развити-

ем гранат-эпидот-биотитового метасоматического минерального парагенезиса, который накладывается на березиты.

1. Жариков В.А. Метасоматизм и метасоматические породы / В.А. Жариков, В.Л. Русинов, А.А. Маракушев, Г.П. Зарайский, Г.И. Омеляненко, Н.Н. Перцев, И.Т. Расс, О.В. Андреева, С.С. Абрамов, К.В. Подлесский. — М.: Научный мир, 1998. — 489 с.

2. Иващенко В.И. Золото Фенноскандии — металлогения и перспективы золотоносности территории Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. Вып. 9. — Петрозаводск, 2006. — С. 84–111.

3. Плющев Е.В., Шатов В.В., Кашин С.В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. — 560 с. (Труды ВСЕГЕИ, Нов. серия. Т. 354).

4. Geological development, gold mineralization and exploration methods in the Late Archean Hattu Schist Belt, Ilomantsi, Eastern Finland / Eds. by Pekka A. Nurmi and P. Sorjonen-Ward // Geological Survey of Finland. Sp. paper 17. — Espoo, 1993. — 386 p.

1. Zharikov V.A. Metasomatizm i metasomaticheskie породы [Metasomatism and metasomatic rocks]. Moscow: Nauchnyj mir. 1998. 489 p.

2. Ivashchenko V.I. Gold of Fennoscandia — metallogeny and prospects of gold content of the territory. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*. Petrozavodsk. 2006. Iss. 9, pp. 84–111. (In Russian).

3. Plyushchev E.V., Shatov V.V., Kashin S.V. Metallogeniya gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy [Metallogeny of hydrothermal-metasomatic formations]. St. Petersburg: VSEGEI. 2012. 560 p. (Trudy VSEGEI, Nov. seriya. Vol. 354).

4. Nurmi, P., Sorjonen-Ward, P. 1993: Geological development, gold mineralization and exploration methods in the Late Archean Hattu Schist Belt, Ilomantsi, Eastern Finland. *Geological Survey of Finland. Sp. paper 17*. 386. Espoo.

Крупеник Зоя Валерьевна — науч. сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия. <kzu\_20@mail.ru>

Krupenik Zoya Valer'evna — Researcher, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia. <kzu\_20@mail.ru>