

## МЕТАСОМАТИТЫ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ КАРЕЛЬСКОЙ ГРАНИТ-ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ ОБЛАСТИ И БЕЛОМОРСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО ПОЯСА

Рассмотрены состав, зональность, структурное положение, возраст и металлогеническая специализация метасоматических пород палеопротерозоя из архейских вулканогенно-осадочных образований тикшеозерской серии Северо-Карельского зеленокаменного пояса (Винченская и Хизоварская зеленокаменные структуры). Метасоматические породы представлены ранними кислотными (кианит-кварцевыми), основными (антофиллит-роговообманковыми и гранатовыми) и поздними кислотными (мусковит-кварцевыми) фациями метасоматитов, объединенных в хизоварский метасоматический комплекс. С помощью локального U-Pb метода датирования по цирконам (SHRIMP II) установлен свекофенский возраст образования метасоматитов. Метасоматиты хизоварского комплекса приурочены к тектонически активным зонам. Определен благороднометалльный (Au, Ag) характер зон сульфидной минерализации.

Ключевые слова: *Винченская структура, Хизоварская структура, метасоматиты, U-Pb датирование, благороднометалльное оруденение.*

In article the composition, zonality, structure position, age and noble metal mineralization of Paleoproterozoic metasomatic rocks, formed on archaean volcanic and sedimentary formations tikshozero series North Karelian greenstone belt (Vinchensky and Khizovarsky greenstone structures) are considered. Metasomatic rocks are presented early acid (kyanite-quartz), basic (hornblende-anthophyllite and pomegranate) and late acid (muscovite-quartz) metasomatic phase which united in one khizovarsky metasomatic complex. Used local U-Pb method dating (SHRIMP II, zircon) for metasomatic rocks was defined Paleoproterozoic age of formation. In structure position metasomatic rocks of the khizovarsky complex are located in active tectonic zones. In metasomatic rocks zones of sulphide mineralization has noble metal (Au, Ag) specialization.

Keywords: *Vinchensky structure, Khizovarsky structure, metasomatiits, U-Pb method dating, noble metal mineralization.*

Зона сочленения Карельской гранит-зеленокаменной области (Карельская ГЗО) и Беломорского метаморфического пояса (Беломорский МП), в том числе Тикшеозерского зеленокаменного пояса (ЗКП), имеет сложное строение из-за длительной истории развития и неоднократно проявленного регионального метаморфизма. Метасоматические образования распространены на значительной площади региона. Наиболее полно они представлены в Хизоварской и Винченской структурах.

**Хизоварская структура** располагается в центральной части Тикшеозерского ЗКП (рис. 1). Метасоматиты изучены на южном берегу оз. Верхнее в районе малого и большого карьеров и на участке Фукуситовый, а также в южной части структуры в районе детального участка Шаривара.

Зона метасоматически измененных пород мощностью не менее 200 м прослежена в *районе малого карьера*, простирается в северо-восточном и субширотном направлениях и сложена телами метасоматитов, разных по составу и мощности. На периферии зоны выделяются тела мощностью до 25 м гранат-роговообманковых с участками биотит-кианит-плагиоклазовых метасоматитов, сопровождающихся сульфидной минерализацией (до 5%). Особо выделяются тела мусковит-гранат-кварцевых и кинит-биотит-плагиоклазовых метасоматитов мощностью до 16 м. В карьере прослежено мощное тело (60–65 м) с отчетливой метасоматической зональностью. Внешние зоны в северной части

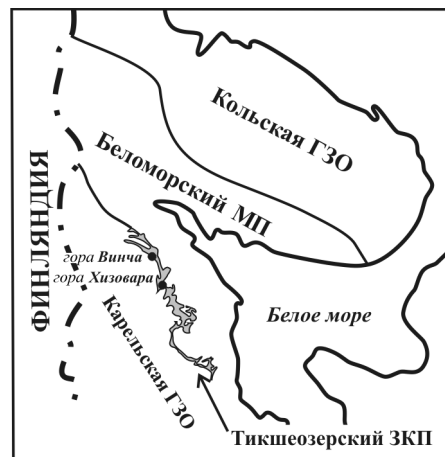


Рис. 1. Местоположение районов исследования

сложены кинит-кварц-плагиоклазовыми и в южной амфибол-гранатовыми метасоматитами, переходные зоны – кинитовыми, в центральной части пирит-кварцевыми с содержанием сульфидов от 5 до 40%. Среди них выделяются более поздние зоны мусковитизации мощностью от 1 мм до 15 см. Породы субстрата в северной, центральной и южной частях зоны представлены гранатовыми амфиболистами, кварцитовидными мусковитовыми сланцами и биотитовыми гнейсами, имеют северо-восточное

простирается и падение на юго-восток под углами 60–70°.

Зона метасоматически измененных пород мощностью не менее 140 м прослежена в *районе большого карьера* в северо-восточном направлении, падение юго-восточное под углами 65–80°. На периферии в южной ее части выделяются амфибол-гранатовые и гранат-роговообманковые метасоматиты, переходящие в гранат-кварцевые и гранат-ставролит-кварцевые и местами в фенгит-кианит-плагиоклазовые. В северной части локализуется тело кианит-кварц-плагиоклазовых метасоматитов мощностью до 20 м с турмалинсодержащими участками. С севера и юга его обрамляют тела пирит-кварцевых метасоматитов мощностью до 17 м, сульфидная минерализация в них распределена неравномерно, образует пятна и полосы неправильной формы. Вдоль трещин иногда отмечаются участки мусковитизации пород. Породы субстрата – кварцитовидные мусковитовые сланцы – прослежены на северном контакте метасоматической зоны и внутри нее в виде реликтов, простираются в северо-восточном направлении и падают на юго-восток под углами 70–75°.

Метасоматиты участка *Фукситовый* образуют зону мощностью не менее 140 м северо-восточного простираения и юго-восточного падения под углами 50–75°. На периферии зоны тела роговообманко-гранатовых метасоматитов чередуются с телами биотит-кианит-плагиоклазовых, фенгит-кианит-плагиоклазовых и мусковит-ставролит-кианит-кварцевых. Иногда в них встречаются графитсодержащие разновидности. Центральную часть тела занимает зона фенгитсодержащих метасоматитов – кианит-кварц-фенгитовых и пирит-ставролит-кианит-фенгитовых. Мощность зоны 6 м, протяженность в северо-восточном направлении 30 м. Для метасоматитов участка характерна интенсивная сульфидная минерализация. Породы субстрата – биотитовые гнейсы, обрамляющие зону с северо-запада и юго-востока. На юго-востоке также проявлены мусковитовые кварцитовидные сланцы со значительным рассланцеванием, ориентировка поверхностей сланцеватости пород северо-восточного направления от 10 до 60° с падением на юго-восток и северо-запад под углами 55–70°.

На южном берегу оз. Верхнее отмечаются зональные тела основных метасоматитов мощностью до 100 м субширотного и северо-восточного простираения и юго-восточного падения под углами 55–75°. Центральную часть занимают плагиоклаз-антофиллит-гранатовые и антофиллитовые метасоматиты. Для них характерны порфиробластическое строение и радиально-лучистые минеральные агрегаты. Внешнюю зону образуют роговообманковые и гранат-роговообманковые метасоматиты.

Метасоматическая зональность мощностью около 200 м в районе горы Шаривара расположена в сложноскладчатой зоне северо-восточного простираения. Наиболее крупная зона мощностью около 130 м представлена гранат-кианит-кварцевыми метасоматитами, которые являются тыловыми в описанной здесь кислотной колонке. Центральная часть рассечена небольшими по мощности биотит-ставролит-гранат-кварцевыми, гранат-ставролит-биотит-амфиболовыми и гранат-биотит-плагиоклазовыми, а южнее зона мощностью около 20 м сопряжена с биотит-ставролит-гранат-кварцевыми метасоматитами. На южном фланге зону обрамляют измененные гранатовые амфиболиты,

они занимают передовое положение в кислотной колонке, общая мощность выходов передовой зоны до 40 м. В обрамлении метасоматического тела с юга находятся неизменные мелкозернистые гранат-амфибол-плагиоклазовые гнейсы. На северном фланге прослежены гранат-ставролит-амфиболовые и отдельно основные кианит-антофиллитовые метасоматиты.

**Винченская структура** располагается в северной части Тикшеозерского ЗКП. Метасоматиты изучены на вершине, северном склоне и южном отроге горы Винча (высота 208,6 м) и восточнее оз. Степанова.

На южном отроге горы Винча прослежена зона метасоматически измененных пород мощностью не менее 180 м, простирающаяся в северо-западном и юго-восточном направлениях более чем на 1 км. На периферии в восточной части выделяется зона интенсивного ставролит-кварцевого прожилкования в амфиболитах и амфибол-плагиоклазовых гнейсах. Она с постепенным переходом сменяется зоной гранат-амфибол-кварцевых метасоматитов без первичных структурно-текстурных особенностей. С ними сопряжено тело основных метасоматитов (глиноземистых базификатов) биотит-гранат-ставролит-амфибол-плагиоклазового состава. В центральной части на основные накладываются гранат-ставролит-кварцевые и гранат-биотит-ставролит-кварцевые, среди них выделяются зоны мусковит-кианит-кварцевых и гранат-мусковит-кварцевых, в центральной части участка местами выходы биотит-ставролит-гранатовых и кварц-биотит-гранатовых метасоматитов. Западный контакт зоны с породами субстрата – переход от амфиболитов через амфибол-гранатовые к гранат-ставролит-кварцевым и гранат-биотит-ставролит-кварцевым метасоматитам. Породы субстрата в восточной и западной части участка представлены гранатовыми амфиболитами, плагиоамфиболитами, амфиболовыми и биотитовыми гнейсами преимущественно северо-западного простираения, падение на северо-восток с углами от 85° на западе до 60° на востоке.

Восточнее оз. Степанова изучены многочисленные метасоматиты основного состава мощностью до 10 м северо-западного простираения: роговообманковые и антофиллит-роговообманковые с зонами биотитизации и с сульфидной минерализацией, развивающейся по гранатовым амфиболитам и амфибол-плагиоклазовым гнейсам, и кварцитовидные сланцы, а также гранат-кварцевые. Отдельно отмечаются мусковит-кварцевые породы с сульфидной минерализацией и зоны мусковитизации в биотитовых гнейсах.

На вершине и северном склоне горы Винча изучены многочисленные тела метасоматитов мощностью более 200 м северо-западного и субширотного простираения, сложенные чередующимися телами гранат-роговообманковых, кварц-гранатовых и гранат-ставролит-кварцевых пород, среди которых отмечаются плагиоклазсодержащие аналоги и кианит-биотит-кварцевые. На них в свою очередь накладываются тела мусковит-кварцевых метасоматитов. Субстрат для них – гранатовые амфиболиты и биотитовые гнейсы, прослеженные за границей метасоматической зональности или в виде реликтов и будин внутри нее.

В Тикшеозерском ЗКП субстратом для развития метасоматитов были метапелиты и метавулканиты

## Зональность ранних кислотных метасоматитов

Породы субстрата	Метасоматические зоны				
	первая	вторая	третья	четвертая	пятая
Гранатовый амфиболит, Amp-Pl гнейс	Grt-Hbl-Qtz (±St-Pl)	Grt-Pl-St-Qtz	Grt-St-Qtz	Grt-Ky-Qtz	Ky-Qtz (±Ms)
Bt-Pl и Grt-Bt-Pl гнейс	Qtz-Pl-St-Grt	Grt-St-Qtz	Grt-Ky-Qtz	Ky-Qtz (±Ms)	—

тикшеозерской серии – кварцитовидные мусковитовые сланцы, биотитовые и амфибол-плаггиоклазовые гнейсы, плаггиоамфиболиты и гранатовые амфиболиты. В ходе развивавшихся здесь процессов метасоматоза образовались ранние кислотные, основные и поздние кислотные (сланцевые) метасоматиты.

**Ранние кислотные метасоматиты.** Зональность зависит от состава субстрата, особенно она проявляется в передовых зонах метасоматической колонки. При развитии по породам основного состава (различным амфиболитам, амфибол-плаггиоклазовым гнейсам) в телах метасоматитов наблюдается больше зон (табл. 1), чем при их развитии по породам среднего состава, представленным биотит-плаггиоклазовыми гнейсами и кварцитовидными мусковитовыми сланцами. В передовой зоне появляются плаггиоклаз (40–60 An), гранат, ставролит, кварц (реже кианит). Содержание роговой обманки уменьшается. Она наблюдается либо в виде перекристаллизованных зерен, либо в виде реликтов.

Бласты граната имеют характерное пойкилитовое строение ядерной части с многочисленными (до 40%) включениями зерен кварца. Переходные зоны по основным породам сопоставимы с передовыми зонами метасоматитов, развивающихся по породам среднего состава. Содержание плаггиоклаза в них меньше, а его зерна отчетливо корродированы кварцем и кианитом. Ставролит и гранат в них сохраняются, но содержание их в породе падает, а кианита и кварца растет. Тыловые зоны, как правило, сложены из кианита и кварца в различных соотношениях.

На диаграмме ACF (рис. 2) точки, отвечающие породам субстрата, лежат ближе к центру диаграммы, а точки, отвечающие составам передовых и тыловых зон колонки, смещаются к вершине  $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ , образуя тренд изменения составов зон при кислотном метасоматозе. Точки составов переходных зон сменяются точками состава метасоматитов тыловых зон, которые расположены практически в вершине  $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ .

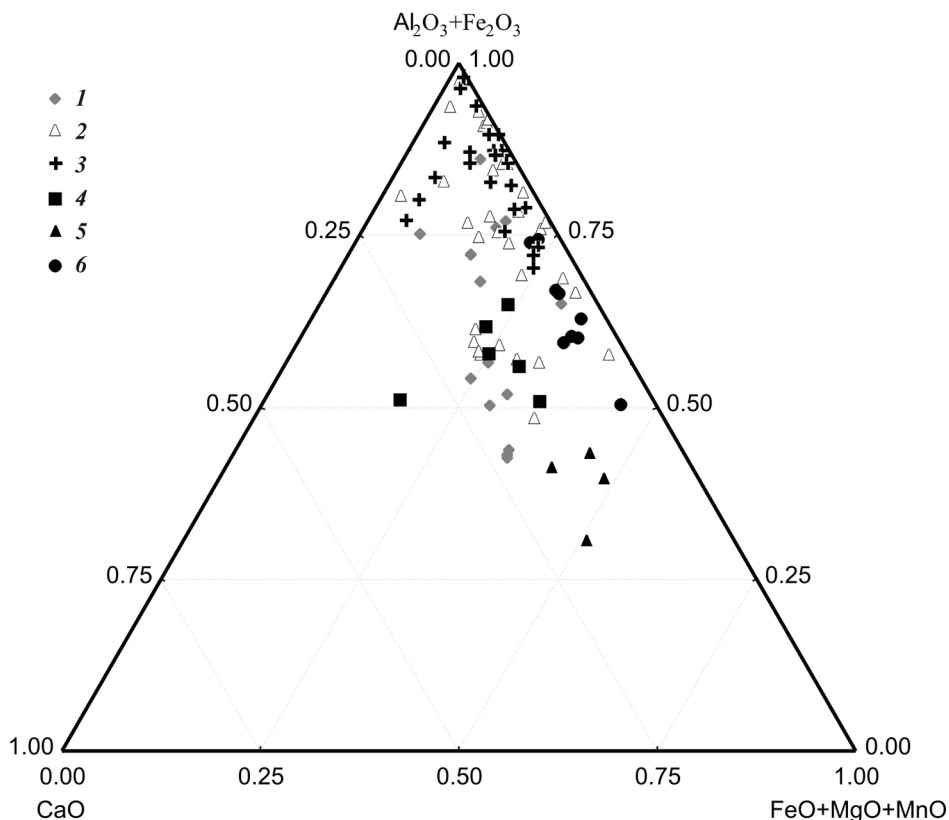


Рис. 2. Диаграмма ACF с вынесенными на нее точками составов метасоматитов и пород субстрата 1 – породы субстрата (табл. 1); 2 – ранние и 3 – поздние кислотные метасоматиты; 4–6 – основные метасоматиты – антофиллит-роговообманковые: 4 – Hbl зоны, 5 – Ath зоны, 6 – гранатовые

## Зональность основных метасоматитов

Тип	Метасоматические зоны			
	передовая	переходные		тыловые
Антофиллит-роговообманковые	+Hbl	Grt-Pl-Hbl; Grt-Bt-Pl; Grt-Bt-Hbl; Grt-Pl-Ath (±St)	Ky-Hbl-Ath; Grt-Hbl; Pl-Hbl; Pl-Ath; Hbl-Ath	Ath; Ky-Ath Ky-Pl
Гранатовые	+ Grt	Qtz-St-Grt (±Bt, ±Po)		Qtz-Grt (±Bt, ±Po)

Данный тренд отражает дебазификационный характер процессов метасоматоза. В метасоматитах растет содержание  $\text{SiO}_2$  и уменьшается  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{MnO}$  относительно метавулканических пород тикшеозерской серии. От передовых зон к тыловым в породе исчезают минералы, содержащие кальций (амфибол, плагиоклаз), уменьшается число железосодержащих минералов (гранат, ставролит) и увеличивается число минералов, содержащих кремнезем и глинозем (кварц, кианит). Биотит из передовых зон замещается мусковитом в тыловых.

**Основные метасоматиты** на участках исследования сложены минералами, богатыми основаниями (гранат, ставролит, роговая обманка, жедрит, антофиллит, анортит). По составу их можно разделить на антофиллит-роговообманковые и гранатовые (табл. 2).

Для антофиллит-роговообманковых метасоматитов передовых зон характерно интенсивное проявление роговообманкового бластеза — крупных до 1 см кристаллов. В переходных зонах породу слагают антофиллит (реже жедрит), роговая обманка и основной плагиоклаз (70–80% An). Тыловые зоны метасоматитов сложены кианит-анортитовыми или кианит-антофиллитовыми породами, реже глиноземистыми базификатами со ставролитом.

На диаграмме ACF (рис. 2) хорошо отражается Ca специализация в передовых и реже в тыловых зонах, а Mg специализация преимущественно в тыловых зонах. Интенсивное развитие кальциевых и магниевых минералов указывает на базификационный профиль метасоматической зональности.

Распространяясь среди передовых и переходных зон ранее описанных кислотных метасоматитов по породам тикшеозерской серии, метасоматиты представляют собой зоны переотложения вынесенных оснований из кислотных метасоматитов и могут считаться комплементарными к ним.

В передовых зонах *гранатовых метасоматитов* интенсивно проявлен гранатовый бластез. В переходных зонах, как правило, отмечается ставролит в ассоциации с кварцем и гранатом. Тыловые зоны имеют вид массивных тел крупных и гигантозернистых кварц-гранатовых пород, нередко появление биотита и пирротина (табл. 2), реже гранат-кварц-турмалиновых метасоматитов. В виде отдельных тел они локализуются в основном в непосредственной близости к тыловой зоне кислотных метасоматитов, либо в ней самой. Для них характерны железистая специализация и базификационный характер метасоматической зональности. Исходя из минерального состава и структур-

ного положения, можно заключить, что данные метасоматиты комплементарны к тыловым зонам кислотных метасоматитов и являются участками переотложения железа.

На диаграмме ACF (рис. 2) точки состава основных метасоматитов располагаются справа от точек состава субстрата. Они образуют тренд, отличающийся от тренда кислотных метасоматитов противоположной направленностью, что указывает на падение содержания кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) и глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и накопление оснований в направлении от передовых зон к тыловым. Характерная CaO, MgO и FeO специализация метасоматитов соответствует обратной очередности выноса оснований в процессе дебазификации.

**Поздние кислотные метасоматиты** на участках исследования содержат значительное количество биотита, мусковита и фенгита. Слюдистые метасоматиты всегда развиваются позже кислотных, относительно основных они могут развиваться как до, так и после. Их развитие прослежено и по породам тикшеозерской серии. Из-за разного состава субстрата различна и описываемая в телах метасоматическая зональность (табл. 3).

При развитии по породам, содержащим большое количество оснований (метасоматиты, амфиболиты и пр.), для переходных зон характерны слюдино-кианитовые ассоциации с кислым (20% An) плагиоклазом и графитом. При развитии по более кислым породам образуются их мусковитовые разности вплоть до мусковит-кварцевых и кварц-мусковитовых зон. Из диаграммы ACF (рис. 2) и минерального состава поздних кислотных (слюдистых) метасоматитов видно, что процесс имел кислотный характер и дебазификационную направленность.

PT условия метаморфизма и метасоматоза в зоне сочленения Карельского и Беломорского геоблоков на данных участках определены многочисленными исследованиями [1] и соответствуют давлению 7–8 кбар и температуре 580–650 °C.

**Датирование.** Из метасоматитов малого хизоварского карьера, участка Фукситовый, района гор Шаривара и Винча отобраны геохронологические пробы. Возраст метасоматитов определен методом U-Pb датирования по цирконам с использованием локального метода SHRIMP II. Из проб выделено 2–30 и более цирконов. Зерна цирконов в пробах по облику и внутреннему строению уверенно разбивались на различные генерации и типы. При зональном строении ядерные части зерен показывали возраст субстрата, а каймы — возраст процессов метасоматоза.

Зональность поздних кислотных метасоматитов

Породы субстрата	Метасоматические зоны				
	первая	вторая	третья	четвертая	пятая
Гранатовый амфиболит, Амр-Pl гнейс, метасоматиты основного состава	St-Pl-Grt-Bt-Hbl-Qtz ( $\pm$ Ky)	St-Ky-Phn(Bt)-Pl-Qtz	St-Ky-Qtz-Phn(Bt) ( $\pm$ Grt, Py)	Ky-Qtz-Ms(Phn)	Ms(Phn)-Qtz ( $\pm$ Py)
Bt-Pl и Ky-Pl гнейс, переходные зоны метасоматитов основного и кислого состава	St-Ky-Phn(Bt)-Pl-Qtz	St-Ky-Qtz-Phn(Bt) ( $\pm$ Grt, Py)	Ky-Qtz-Ms(Phn)	Ms(Phn)-Qtz ( $\pm$ Py)	—
Кварцитовидный сланец, метасоматиты кислого состава	Ky-Qtz-Ms(Phn)	Ms(Phn)-Qtz ( $\pm$ Py)	—	—	—

Для пород субстрата характерен лопийский возраст. Ранние среднелопийские ( $2873 \pm 36$  и  $2873 \pm 23$  млн лет) возрасты, полученные из Шариварской и Винченской структур, отвечают времени формирования самих вулканогенных пород верхнеозерской свиты. Более поздний возраст ( $2776 \pm 15$  млн лет), полученный из Хизоварской структуры, отвечает позднелопийскому метаморфизму вулканических пород Тикшеозерского ЗКП. Эти выводы совпадают с данными о возрасте пород Тикшеозерского ЗКП и их лопийском метаморфизме, полученными Е. В. Бибиковой [3] и другими исследователями.

Для метасоматитов хизоварского комплекса характерны свекофенские возрасты, отвечающие времени их формирования. Для ранних кислотных метасоматитов получен возраст  $1876 \pm 21$  млн лет по кварц-кианитовым метасоматитам из малого карьера Хизоварской структуры. Возраст поздних кислотных (слюдистых) метасоматитов  $1867 \pm 13$  млн лет получен из сульфид-ставролит-кварц-фенгитовых пород с участка Фукситовый Хизоварской структуры. Эти данные согласуются с геологическими наблюдениями, сделанными на участках исследования, где отмечается наложение поздних кислотных метасоматитов на ранние кислотные. Возраст основных гранат-турмалин-биотит-плаггиоклазовых метасоматитов района горы Шаривара  $1769 \pm 23$  млн лет указывает на существование более позднего этапа их формирования в Шариварской структурной зоне в южной части Хизоварской структуры, что согласуется с представлением о продолжительности и многоэтапности свекофенских метаморфических преобразований региона. Датировки сопоставимы с данными П. Я. Азимова [1], полученными по монациту из метасоматитов и кианитовых гнейсов, и отвечают возрасту 1813–1825 млн лет.

**Структурное положение.** В Тикшеозерском ЗКП метасоматиты локализуются на участках смены направлений ориентировки геологических структур и, как правило, на границе метавулканических и метавулканогенно-осадочных пород. В Хизоварской структуре это участки смены юго-восточного направления простирания на восточное и восточного на юго-восточное. Для района горы Шаривара характерны участки изменения юго-восточного направления простирания на северо-восточное. В Винченской структуре — это участки изменения направления с юго-восточного на восточное и вновь на юго-восточное.

Такая локализация метасоматических тел объясняется повышенной флюидной проницаемостью

этих зон за счет проявления в них тектонических нарушений из-за деформаций, связанных с изменением направления простирания геологических структур. Различный состав и структура пород определяют различное поведение пород под воздействием тектонических напряжений при складкообразовании, породы различного состава на границах проскальзывают относительно друг друга, создавая тем самым участки тектонически нарушенных пород.

Ряд структурных признаков, указывающих на тектонические нарушения, отмечается в самих телах метасоматитов, а именно: брекчирование, милонитизация, разлинзование пород, различные трещины, сдвиги, складки, кинематические индикаторы.

В районе горы Шаривара биотит-ставролит-гранат-кварцевые метасоматиты смяты в закрытые и изоклинальные складки, а вдоль поверхностей крыльев этих складок и кливажа и в замках складок развиваются с замещением тела гранат-мусковит-кианит-кварцевых метасоматитов.

На периферии метасоматической зоны в породах субстрата метасоматиты локализуются по густой сети мелких трещин, представляют собой ставролит-кварцевое прожилкование и являются передовой зоной.

В породах отмечаются деформированные минералы. Зачастую в поздних метасоматитах сохраняются бласты граната из ранних. Такие бласты редко наследуют свое положение в породе, полученное при их формировании. Как правило, они значительно деформированы, разрушены и перемещены или развернуты относительно своих первоначальных мест. В бесслудистых метасоматитах бласты граната расколоты, тогда как в разновидностях, содержащих слюду, они сохраняют свою целостность за счет перераспределения мусковита и формирования мусковит-кварцевых «рубашек» и «хвостов». Тем самым бласты граната сохранили отпечатки тектонической активности, сопровождавшей формирование различных зон метасоматитов.

Для тектонических зон типичны обстановки сжатия, растяжения или сдвига, хорошо определяющиеся по наличию или отсутствию ориентировки минеральных агрегатов и кинематическим индикаторам. В гранатсодержащих кислотных метасоматитах встречаются кинематические индикаторы направления сдвиговых деформаций в тектонических зонах. Это зачастую бласты граната в мусковит-кварцевых оторочках линзовидной формы с закрученными S-образными «хвостами».

Их ориентировка совпадает с направлением плоскостей сланцеватости и полосчатости в породах, а появление указывает на присутствие сдвиговых деформаций, сопровождавших образование метасоматитов. Структурно-текстурные особенности указывают на обстановки их формирования в пределах тектонической зоны в условиях сжатия (компрессии) и растяжения (декомпрессии).

Для метасоматитов кислого состава характерны ориентированные минеральные агрегаты, слабоориентированные текстуры, полосчатые и сланцеватые. Они представлены ориентировкой агрегатов биотита, ставролита, роговой обманки и струйчатыми агрегатами кварца. В районе горы Шаривара отмечены удлиненные порфиробласты граната с пойкилитовой полосчатой структурой, что указывает на формирование их в обстановках компрессии.

В метасоматитах основного состава отмечено появление массивной текстуры без четкой ориентировки минеральных агрегатов. Практически для всех характерны гигантозернистый гранатовый бластез размером бласт до 10 см и среднекрупнозернистые радиально-лучистые сростки антофиллита. Сами их тела неправильной формы. Подобные структурно-текстурные особенности породы указывают на формирование их в обстановках декомпрессии.

Положение и ориентировка тел основных метасоматитов относительно кислотных соответствуют расположению тектонических зон с условиями обстановки растяжения (трещины отрыва), которые опережают основной сдвиг. Слюдистые метасоматиты, как правило, контролируются зонами интенсивных дислокаций, они развиваются по плоскостям рассланцевания, разлинзования и трещиноватости, нередко образуются кинематические индикаторы.

Структурные наблюдения позволяют говорить о развитии процессов метасоматоза в тектонически активных зонах, в местах резкого изменения ориентировки складчатых структур, во флексурных изгибах, зонах интенсивных дислокаций сдвигового характера северо-западных, северо-восточных и субширотных направлений. Наиболее ярко метасоматоз локализуется в зонах с наиболее интенсивно проявленными тектоническими деформациями. В тех же зонах максимально проявляются изменения и локализация тыловых зон метасоматических колонок. Для метасоматитов разных фаций характерна определенная структурная позиция. Так, кислотные внутри тектонической зоны, как правило, образуются в областях сжатия (компрессии) на этапах активных деформаций, а основные — в областях растяжения (декомпрессии).

**Сульфидная минерализация** имеет место практически во всех породах субстрата. Первичная осадочно-метаморфогенная минерализация проявлена в породах субстрата в виде рассеянной вкрапленности или мелких агрегатов неправильной формы пирита, пирротина и арсенопирита с содержанием 1–2%.

Для кислотных метасоматитов характерно появление сульфидов — арсенопирита, пирита и пирротина — в виде рассеянной вкрапленности как в межзерновом пространстве, так и в виде включений в кианите, плагиоклазе, гранате и др. Содержание сульфидов от единичных зерен до 40%. Размещение сульфидов неравномерно и подчиняется метасоматической зональности. Содержания их повышается в направлении от передовых метасоматических

зон к тыловым, в которых они могут быть распространены во всем объеме породы и являться породообразующими минералами (пирит-кварцевые метасоматиты  $Pu$  20–40%). Зоны повышенной сульфидной минерализации могут занимать как локальные участки в метасоматическом теле, так и все тело.

В основных антофиллитсодержащих метасоматитах сульфидная минерализация практически отсутствует (отмечаются лишь редкие вкрапленники арсенопирита). В основных кварц-гранатовых метасоматитах отмечается обильная пирротиновая вкрапленность. Пирротин локализуется в виде крупных включений в бластах граната и ставролита, а также в межзерновом пространстве, его содержание доходит до 5–10%. Пирит встречается реже, занимая часть пирротиновых вкрапленников.

Отдельно отмечается сульфидная минерализация, связанная с распространением поздних слюдистых метасоматитов. Сульфиды (15%) представлены арсенопиритом. Такие участки наиболее выраженной сульфидизации отмечаются в замковых частях складок, в зонах интенсивного рассланцевания и брекчирования. Они неправильной формы, иногда тянутся вдоль метасоматических зон, чаще имеют изометричную форму.

Зоны повышенной сульфидной минерализации опробовались на **благороднометалльное оруденение** (Au, Ag, Pt, Pd). Анализ проводился в лаборатории ВСЕГЕИ атомно-абсорбционным методом с полным кислотным вскрытием (AAA).

В *метавулканоогенно-осадочных породах* содержание серебра либо на уровне кларковых значений (0,1 ppm по А. Е. Ферсману) [2], либо в 2–5 раз выше. Содержание золота преимущественно ниже порога определения, а в тех породах, где оно было диагностировано, его содержание на уровне кларка (0,005 ppm по А. Е. Ферсману) [2]. Ниже порога определения содержание палладия <0,03 и платины <0,04 ppm.

В ранних кислотных метасоматитах благороднометалльное оруденение распределено неравномерно. Содержание золота в передовых зонах метасоматической колонки ниже порога его обнаружения. Появление диагностируемого содержания золота на уровне кларкового значения отмечается в амфиболсодержащих метасоматитах переходных зон. Единичные анализы метасоматитов из переходных и тыловых зон показали рост содержания золота в 300–500 раз (0,6–1,12 г/т) по сравнению с содержанием в субстрате. Содержание серебра в метасоматитах диагностируется на уровне кларкового значения, редко превышая его в 3–6 раз. Между содержаниями золота и серебра в кислотных метасоматитах обратная зависимость. Она выражена в повышении содержания золота в породах с низким содержанием серебра, и наоборот. Содержание палладия в пробах ниже предела обнаружения, и лишь в одной пробе — на уровне кларкового значения. Содержания платины в кислотных метасоматитах также ниже предела обнаружения.

Для зон интенсивной сульфидизации в метасоматитах основного состава характерны высокие содержания серебра, в 12–30 раз превышающие кларковое и содержание в субстрате. Они типичны для роговообманково-гранатовых и гранат-роговообманковых метасоматитов, а также для данных пород, где содержание золота либо на уровне кларкового, либо немного выше. Для антофиллитсодер-

жащих метасоматитов содержание золота ниже порога обнаружения либо принимает околокларковые значения, а содержание серебра остается на уровне кларкового значения. Между серебром и золотом можно предполагать слабую прямую зависимость, выраженную в небольшом повышении содержания золота в пробе и высоком содержании серебра. Содержание палладия на уровне кларкового значения лишь в одной пробе, в остальных значения ниже предела обнаружения. Содержания платины также ниже предела обнаружения.

В слюдястых метасоматитах содержание золота в передовых и реже переходных зонах за пределом обнаружения или на уровне кларкового содержания. Содержание золота от 0,34 до 0,91 г/т отмечается в метасоматитах переходных и тыловых зон, содержание серебра в передовых и тыловых зонах на уровне кларковых значений, повышенные содержания серебра (1,09–3,62 г/т) в переходных зонах. Между серебром и золотом четкая обратная зависимость: в пробах с высоким содержанием золота низкое содержание серебра, и наоборот. Содержание палладия в основном ниже порога обнаружения, на уровне кларковых значений – в нескольких пробах слюдястых метасоматитов переходной зоны. Для тех же проб характерно высокое содержание серебра, можно предположить существование прямой зависимости между содержаниями серебра и палладия. Содержания платины ниже предела обнаружения.

Для метасоматитов Хизоварской структуры характерна золото-серебряная и серебряно-палладиевая специализация. Содержание благородных металлов отмечается в зонах сульфидизации в тыловых и переходных зонах метасоматической колонки. Наибольшее содержание золота приурочено к наложенным зонам поздних кислотных метасоматитов (поздняя мусковитизация) и к тыловым зонам ранних. Наибольшее содержание серебра в основных гранатовых метасоматитах. Содержания золота и серебра в обратной зависимости, тогда как содержания серебра и палладия в прямой. Тем не менее, даже самые высокие содержания благородных металлов в метасоматитах не позволяют рассчитывать на обнаружение в них промышленного оруденения.

Среди большого количества пород, сходных по составу и структурно-текстурным особенностям, в районе гор Хизовара, Шаривара, Винча и оз. Степанова преобладают разновидности, легко сопоставимые с соответствующими фациями метасоматитов на других участках. Их можно объединить в один хизоварский метасоматический комплекс, в котором выделяются ранние кислотные, основные и поздние кислотные фации, которые образуют как отдельные монофациальные тела,

так и полифациальные тела сложного строения. Метасоматическая зональность в телах иногда редуцирована, более ранние фации располагаются в реликтах. Каждой фации отведено определенное место в метасоматической зональности, основные фации всегда располагаются вслед за зонами кислотного метасоматоза. Они, как правило, имеют специализацию тех элементов, которые выносились на предшествовавшем этапе кислотного метасоматоза, тем самым они комплементарны друг к другу.

Локальным U-Pb методом датирования по цирконам (SHRIMP II) определен средне- (около 2873 млн лет) и позднелопийский ( $2776 \pm 15$  млн лет) возраст субстрата метасоматитов, а для метасоматитов – свекофеннский возраст образования. Для ранней кислотной фации возраст  $1876 \pm 21$ , для поздних кислотных фаций  $1867 \pm 13$ , для основных фаций из Шариварской структурной зоны Хизоварской структуры  $1769 \pm 23$  млн лет.

Метасоматиты хизоварского комплекса приурочены к тектонически активным зонам, местам резкого изменения ориентировки складчатых структур, флексурным изгибам, к узлам пересечения разнонаправленных дизъюнктивов субмеридиональных и субширотных направлений. Признаки развития метасоматитов в тектонических зонах выражаются в брекчировании, рассланцевании, а также деформации порфиробластов, указывающих на обстановку сдвига. Наиболее активно проявлен метасоматоз в зонах с наиболее интенсивными тектоническими деформациями. Наибольшая мощность и максимальные изменения сосредоточены в тыловых зонах метасоматической колонки.

Сульфидная минерализация представлена пиритиновой, пиритовой и арсенопиритовой вкрапленностью и сосредоточена преимущественно в зонах рассланцевания, брекчирования, в замках изоклинальных складок. Для зон сульфидной минерализации определен благороднометалльный характер: золотая минерализация приурочена к ранним и поздним кислотным метасоматитам, серебряная – к основным.

1. Азимов П.Я. Метасоматиты Северо-Карельского зеленокаменного пояса (Западное Беломорье, Фенноскандия): структурная позиция, минеральная зональность и кинетика реакций (Материалы лекции) // VII Междунар. школа по наукам о Земле (ISES-2011). – Одесса, 2011.

2. Барабанов В.Ф. Геохимия. – Л.: Недра, 1985. – 423 с.

3. Бибикова Е.В., Слабунов А.И., Кирзонова Т.И. U-Pb датирование геологических событий в зоне сочленения Карельской и Беломорской структур Балтийского щита // Главнейшие рубежи геологической эволюции Земли в докембрии и их изотопно-геохронологическое обоснование: Тезисы докладов Всерос. совещания (14–16 ноября 1995 г., Санкт-Петербург). – СПб., 1995. – С. 37–38.

Проскурин Георгий Юрьевич – аспирант, ВСЕГЕИ. <gproskurin@rjcgroup.ru>.