

Оригинальная статья / Original article

УДК: 552+553.41+549.3

УРАНОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ЭЙСИТАХ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ЛАГЕРНОЕ И ОЗЕРНОЕ (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)

© А.И. Колядина¹

¹Санкт-Петербургский горный университет,
Российская Федерация, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия Васильевского острова, 2.

РЕЗЮМЕ. Введение. Золото-урановые рудопроявления Лагерное и Озерное расположены в пределах Куоляярвинской структурной зоны в Северной Карелии. Урановое оруденение уранинит-браннеритового минерального типа локализовано в зоне глубинного разлома субмеридионального простирания и связано с альбит-карбонатными метасоматитами. Альбититы Куоляярвинской структуры прослеживаются на территории Финляндии в Лампландском зеленокаменном поясе и в структурах Куусамо, Перапохья, Кеми-Торнио. В настоящее время актуальным является вопрос пространственно-временных взаимоотношений золота и урана, в связи с чем необходимо детальное изучение метасоматических изменений Куоляярвинской структуры. **Цель.** Целью данной статьи является раскрытие стадийности метасоматического процесса рудопроявлений Лагерное и Озерное и последовательности минералообразования. Петрография и минералогия метасоматитов и руд были изучены с помощью оптического микроскопа Leica DM2700 P, химический состав минералов – микроскопом-микроанализатором MV 2300 CamScan. **Выводы.** Установлены четыре стадии метасоматического процесса: 1) дорудная: окварцевание, альбитизация, ранняя карбонатизация; 2) рудная I: карбонатизация и связанное с ней уранинит-браннеритовое оруденение, сульфидизация и золотое оруденение; 3) пострудная: слюдисто-амфиболовые изменения; 4) жильная – рудная II: сульфидно-кварцевые жилы, золото. Процесс отложения золота был растянут во времени и проявился на карбонатной стадии в связи с сульфидно-кварцевыми жилами. Альбит-карбонатные метасоматиты рудопроявлений Лагерное и Озерное по литературным источникам отнесены к эйситовой формации. Выявлена более высокотемпературная флогопит-биотит-амфиболовая ассоциация, эпигенетическая по отношению к ураноносным эйситами, связанная с подновлением зон трещиноватости. Предположительно наложенная слюдисто-амфиболовая ассоциация способствовала переотложению ранее образованной в эйситах урановой минерализации.
Ключевые слова: метасоматоз, эйситовая формация, золото-урановое оруденение.

Формат цитирования: Колядина А.И. Урановая минерализация в эйситах рудопроявлений Лагерное и Озерное (Северная Карелия) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 1. С. 83–96.

URANIUM MINERALIZATION IN SODIC ALTERATIONS OF LAGERNOE AND OZERNOE ORE OCCURRENCES (NORTH KARELIA)

A.I. Kolyadina

St. Petersburg Mining University,
2, 21th Line of Vasilievsky Island, St. Petersburg, 199106, Russian Federation.

ABSTRACT. Introduction. Gold-uranium ore occurrences of Lagernoe and Ozernoie are located within the Kuolayarvinskaya structural zone in North Karelia. The uraninite-brannerite type uranium mineralization is located in the deep fault zone of the submeridional strike and is associated with albite-carbonate metasomatites. The albitites of Kuolayarvinskaya structure can be found in the territory of Finland in Lampland greenstone belt and in the structures of Kuusamo, Peräpohja, Kemi-Tornio. Today the problem of gold and uranium space-time relationships is relevant and requires a detailed analysis of the metasomatic changes of the Kuolayarvinskaya structure. **Purpose.** The purpose of this article is to reveal the stages of the metasomatic process of Lagernoe and Ozernoie

¹Колядина Анастасия Игоревна, аспирант, e-mail: colyadina.a@gmail.com
Anastasia I. Kolyadina, Postgraduate, e-mail: colyadina.a@gmail.com

ore occurrences and the sequence of mineral formation. Petrography and mineralogy of metasomatic rocks and ores were studied with the application of the optical microscope Leica DM2700 P; chemical composition of minerals was investigated by means of the microscope microanalyzer MV-2300 CamScan. **Conclusions.** Four stages have been identified in the metasomatic process: 1) pre-ore: silicification, albitization, early carbonation; 2) ore I: carbonization and associated uraninite-brannerite mineralization, sulphidization and gold mineralization; 3) post-ore: mica-amphibole alterations; 4) vein-ore II: sulfide-quartz veins, gold. The process of gold deposition was time-expanded and manifested in the carbonate stage due to the sulphide-quartz veins. According to literature sources, albite-carbonate metasomatites of Lagernoe and Ozernoe ore occurrences are referred to the sodic alteration formation. A higher-temperature phlogopite-biotite-amphibole association has been revealed. It is epigenetic to uranium bearing sodic alterations and associates with the rejuvenation of the rock fracture zone. It is assumed that an overlapping mica-amphibole association contributed to the redeposition of the uranium mineralization formed earlier in sodic alterations.

Keywords: metasomatosi, sodic alteration formation, gold-uranium mineralization

For citation: Kolyadina A.I. Uranium mineralization in sodic alterations of Lagernoe and Ozernoe ore occurrences (North Karelia). Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits. 2017, vol. 40, no. 1, pp. 83–96. (In Russian).

Введение

Куолярвинская структурная зона – одна из самых перспективных в Северной Карелии площадей на выявление золото-уранового оруденения. В геологическом отношении она является составной частью раннепротерозойского зеленокаменного Лапландского пояса. В пределах структуры известны многочисленные золото-урановые рудопроявления (Алим-Курсуярви, Алакуртинское, Лагерное, Озерное), локализованные в карбонат-альбитовых метасоматитах². Вопрос пространственно-временных взаимоотношений золота и урана на выявленных объектах до сих пор остается открытым.

Целью работы является характеристика урановой минерализации, выявление стадийности метасоматического процесса, последовательности минералообразования рудопроявлений Лагерное и Озерное.

Работа основана на изучении образцов, шлифов и аншлифов, отобранных автором на рудопроявлениях Лагерное и Озерное и предоставленных Е.Н.

Афанасьевой (ФБГУ «ВСЕГЕИ») в период проведения полевых работ в 2015–2016 гг. Использованы данные петрографических исследований метасоматитов (оптический микроскоп Leica DM2700 P), микрозондового анализа рудной минерализации рудопроявлений Лагерное и Озерное (микроскоп-микроанализатор MV 2300 CamScan).

Геологическая характеристика рудопоявлений Лагерное и Озерное

Куолярвинская зона располагается в центральной части Лапландского раннепротерозойского зеленокаменного пояса, прослеживающегося от северо-восточной части Норвегии до структуры Ветреный пояс в Республике Карелия [1]. На территории развиты вулканогенно-осадочные толщи раннепротерозойского возраста. Породы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации, но в краевой восточной части структуры степень метаморфизма поднимается до уровней эпидот-амфиболитовой и амфи-

²Кондаков Ю.С., Кашпиров Н.С., Брагин В.В. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ на уран масштаба 1:50000 в пределах Куола-Панаярвинской структурной зоны, выполненных Кольской партией № 17 и ЛГУ в 1975–1977 гг. 1977 г. (Не опубликовано) / Kondakov Y.S.,

Kashpirov N.S., Bragin V.V. Report on the results of uranium prediction and geological works at a scale of 1:50000 within the Kuola-Panayarvinskaya structural zone performed by the Kola party no. 17 and Leningrad State University in 1975–77. 1977. (In Russian, unpublished).

болитовой фаций [2]. Характерно широкое развитие магматических пород мафитового и ультрамафитового состава³. Золото-урановые рудопоявления Озерное и Лагерное расположены на восточном фланге Куолярвинской зоны и приурочены к узлам пересечения глубинного субмеридионального разлома и оперяющих его продольных разломов северо-восточного простирания. В геологическом строении рудопоявлений преобладают биотит-амфиболовые сланцы и метаморфизованные габброиды [1]. В зоне динамического влияния разломов интенсивно проявлены процессы метасоматического преобразования пород, выражающиеся в альбитизации, карбонатизации, окварцевании⁴. Золото-урановое рудопоявление связано с метасоматитами карбонат-альбитового и альбит-карбонатного состава⁵.

Стадийность образования метасоматических пород

На основании данных петрографического исследования проявления метасоматического процесса относительно урановой минерализации могут быть выделены дорудная, рудная и пострудная стадии:

1) дорудная: окварцевание, альбитизация, ранняя карбонатизация;

2) рудная I: карбонатизация и связанное с ней уранинит-браннеритовое оруденение, сульфидизация и золотое оруденение;

3) пострудная: слюдисто-амфиболовые изменения;

4) жильная – рудная II: сульфидно-кварцевые жилы, золото.

Дорудная стадия. Главной особенностью дорудного процесса является альбитизация с образованием тел мономинеральных альбититов⁶. На ранней стадии метасоматических изменений происходит окварцевание основной массы сланцев, которое сменяется альбитизацией, выраженной в замещении породообразующего плагиоклаза и кварца таблитчатым альбитом I генерации. Альбититы, образованные по сланцам, имеют мелкокристаллическое строение, поскольку замещение частично происходит с сохранением формы зерен первичных минералов. В альбититах повсеместно наблюдаются две основные генерации альбита. Альбит первой генерации представлен таблитчатыми кристаллами. Альбит второй генерации характеризуется удлиненно призматическими и лейстовыми формами. Во внешних зонах темноцветные минералы сланцев (амфиболы, биотит) замещаются

³Кондаков Ю.С., Кашпиров Н.С., Брагин В.В. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ на уран масштаба 1:50000 в пределах Куола-Панаярвинской структурной зоны, выполненных Кольской партией № 17 и ЛГУ в 1975–1977 гг. 1977 г. (Не опубликовано) / Kondakov Y.S., Kashpirov N.S., Bragin V.V. Report on the results of uranium prediction and geological works at a scale of 1:50000 within the Kuola-Panayarvinskaya structural zone performed by the Kola party no. 17 and Leningrad State University in 1975–77. 1977. (In Russian, unpublished).

⁴Там же.

⁵Степаненко В.И., Белаев В.Т., Воинов А.С. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ на уран масштаба 1:50000 в пределах Куола-Панаярвинской структурной зоны, выполненных Центральной партией № 2 в 1977–1979 гг. 1979 г.

(Не опубликовано) / Stepanenko V.I., Belaev V.T., Voinov A.S. Report on the results of uranium prediction and geological works at a scale of 1:50000 within Kuola-Panayarvinskaya structural zone performed by the Central party no. 2 in 1977–79. 1979. (In Russian, unpublished).

⁶Кондаков Ю.С., Кашпиров Н.С., Брагин В.В. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ на уран масштаба 1:50000 в пределах Куола-Панаярвинской структурной зоны, выполненных Кольской партией № 17 и ЛГУ в 1975–1977 гг. 1977 г. (Не опубликовано) / Kondakov Y.S., Kashpirov N.S., Bragin V.V. Report on the results of uranium prediction and geological works at a scale of 1:50000 within the Kuola-Panayarvinskaya structural zone performed by the Kola party no. 17 and Leningrad State University in 1975–77. 1977. (In Russian, unpublished).

хлоритом и кальцитом, редко серицитом, магнетит – гематитом (рис. 1, А–В). Хлорит представлен магнезиальной разностью. Состав минерала определен с помощью микрозондового анализа: MgO – 20%, Al₂O₃– 2 %, SiO₃ – 26%, Mn – 0,2%, FeO – 17%. Зернистый кальцит развивается по основной массе альбитизированных пород в виде мелких прожилков и жил. Таким образом, ведущим процессом дорудной стадии является альбитизация.

Рудная стадия. Началу рудной стадии предшествует катаклиз альбититов, сопровождающийся перекристаллизацией альбита, с образованием альбита III генерации. Совместно с альбитом III генерации кристаллизуются карбонаты (доломит, анкерит). Процесс карбонатизации происходит в две стадии, что подтверждается наличием сильно катаклизированного доломита и незатронутого процессами дробления прожилкового анкерита. Вероятно, образованию анкерита предшествовал повторный катаклиз метасоматитов. Усиление карбонатизации приводит к формированию метасоматитов существенно карбонатного состава и карбонатных жил мощностью до 20 см (рис.1, Г).

Доломит наблюдается в виде довольно крупных агрегатов с неправильными очертаниями и кристаллов ромбического облика, зачастую раздробленных. Минерал представлен железистой разностью с содержанием MgO – 17%, Fe – 3,5% и Mn – 0,3%. Анкерит обладает

медово-коричневым цветом, в виде тонкозернистого агрегата он заполняет многочисленные трещинки в катаклизированных метасоматитах. Часто анкерит формирует оторочку более ранним карбонатам (кальцит, доломит). Установлен следующий состав минерала: CO₂ – 37%, CaO – 32%, FeO – 31%. С образованием анкерита на завершающей стадии карбонатизации связано урановое оруденение⁷. В альбит-карбонатных и карбонатных метасоматитах содержание U достигает 300 г/т [1]. Высокие концентрации урана формируются в зонах, где наиболее интенсивно, полно и последовательно проявились все стадии метасоматических процессов. Общей закономерностью является приуроченность уранового оруденения к центральным осевым частям метасоматической колонки, то есть к карбонат-альбитовым и альбит-карбонатным метасоматитам⁸.

Общую последовательность образования карбонат-альбитовых метасоматитов рудопроявлений Лагерное и Озерное можно представить в следующем виде: кварц – альбит I, альбит II, хлорит, кальцит, серицит – гематит, альбит III, доломит – анкерит.

Зональность метасоматических пород имеет следующее строение:

I. Амфибол-биотит-плагиоклазовый сланец (плагиоклаз, амфибол, биотит, магнетит).

II. Альбит, хлорит, кальцит, (серицит), гематит.

⁷Степаненко В.И., Белаев В.Т., Воинов А.С. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ на уран масштаба 1:50000 в пределах Куола-Панаярвинской структурной зоны, выполненных Центральной партией № 2 в 1977–1979 гг. 1979 г. (Не опубликовано) / Stepanenko V.I., Belaev V.T., Voinov A.S. Report on the results of uranium prediction and geological works at a scale of 1:50000 within Kuola-Panayarvinskaya structural zone performed by the Central party no. 2 in 1977–79. 1979. (In Russian, unpublished).

⁸Кондаков Ю.С., Кашпиров Н.С., Брагин В.В. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ на уран масштаба 1:50000 в пределах Куола-Панаярвинской структурной зоны, выполненных Кольской партией № 17 и ЛГУ в 1975–1977 гг. 1977 г. (Не опубликовано) / Kondakov Y.S., Kashpirov N.S., Bragin V.V. Report on the results of uranium prediction and geological works at a scale of 1:50000 within the Kuola-Panayarvinskaya structural zone performed by the Kola party no. 17 and Leningrad State University in 1975–77. 1977. (In Russian, unpublished).

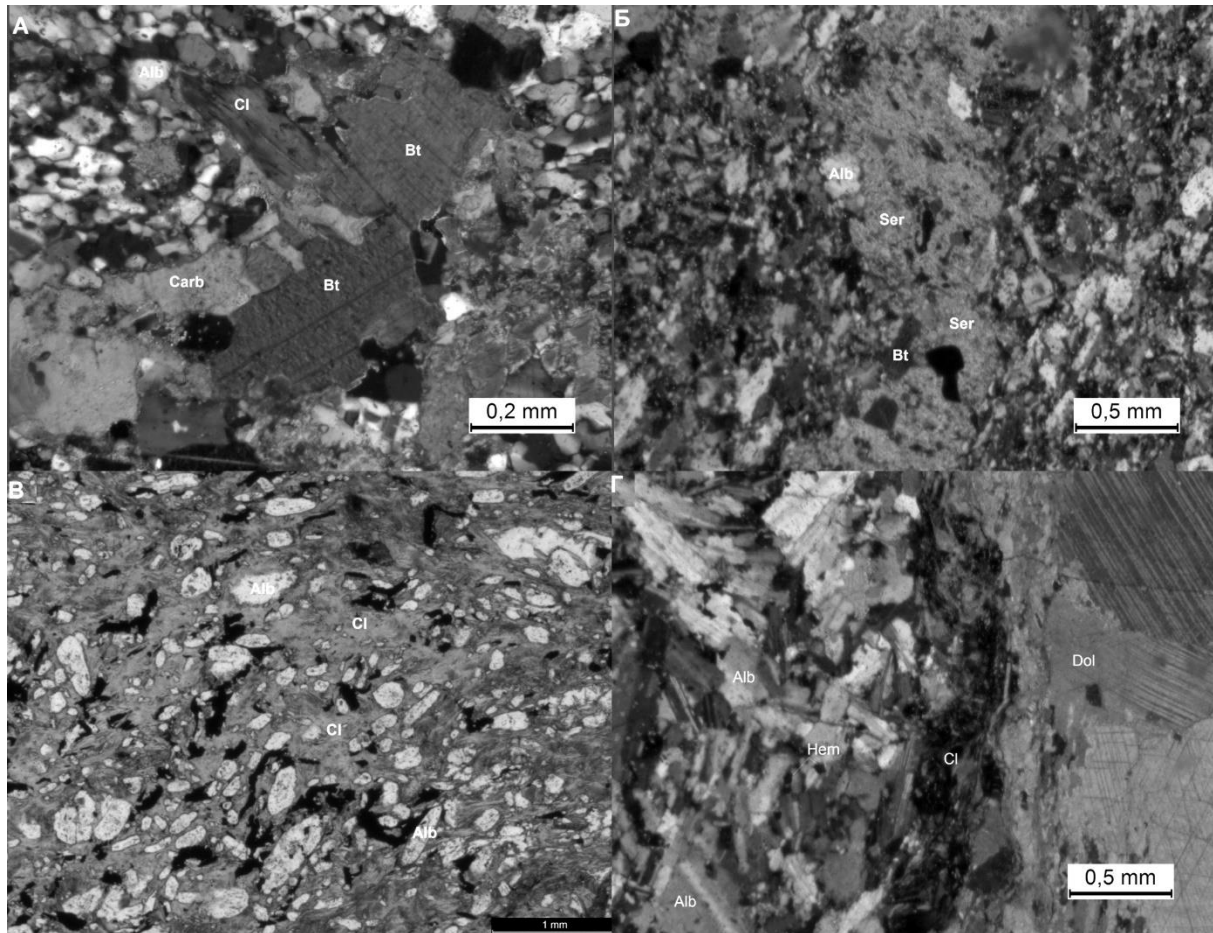


Рис. 1. Метасоматические изменения сланцев рудопроявлений Лагерное и Озерное:
 А – замещение биотита хлоритом и кальцитом в альбитизированном сланце (с анализатором)
 (Bt – биотит, Carb – карбонат, Cl – хлорит, Alb – альбит);
 Б – замещение биотита серицитом в альбитизированном сланце (с анализатором)
 (Ser – серицит, Bt – биотит, Alb – альбит);
 В – замещение биотита и амфибола основной ткани сланца хлоритом (без анализатора)
 (Cl – хлорит, Alb – альбит);
 Г – контакт карбонат-альбитового метасоматита
 и карбонатного прожилка с оторочкой хлорита (с анализатором)
 (Alb – альбит, Dol – доломит, Cl – хлорит, Hem – гематит)

Fig. 1. Metasomatic alterations in the schists of Lagernoe and Ozernoe ore occurrences:
 А – biotite substitution with chlorite and calcite in the albitized schist (with an analyzer)
 (Bt – biotite, Carb – carbonate, Cl – chlorite, Alb – albite);
 Б – biotite substitution with sericite in the albitized schist (with an analyzer)
 (Alb – sericite, Bt – biotite, Alb – albite);
 В – substitution of biotite and amphibole of main schist texture with chlorite (without an analyzer)
 (Cl – chlorite, Alb – albite);
 Г – contact of carbonate-albite metasomatite and a carbonate
 veinlet with a chlorite margin (with an analyzer)
 (Alb – albite, Dol – dolomite, Cl – chlorite, Hem – hematite)

III. Альбит, хлорит, доломит, гема-
тит.

IV. Альбит, анкерит, гематит.

V. Альбит, гематит.

Внешние части метасоматической колонки слагают: альбитизированные амфибол-биотит-плаггиоклазовые сланцы, альбититы, содержащие кальцитовые

прожилки, хлорит и гематит. Внутренняя часть метасоматической колонки состоит из альбититов, доломит-альбитовых и альбит-анкерит-доломитовых метасоматитов (рис. 2, А, Б).

К карбонат-альбитовым метасоматитам относятся разновидности, содержащие от 70 до 90% альбита и от 10 до 30% карбоната; к альбит-карбонатным – метасоматиты, на 80–90% состоящие из карбоната и на 10–20% – из альбита.

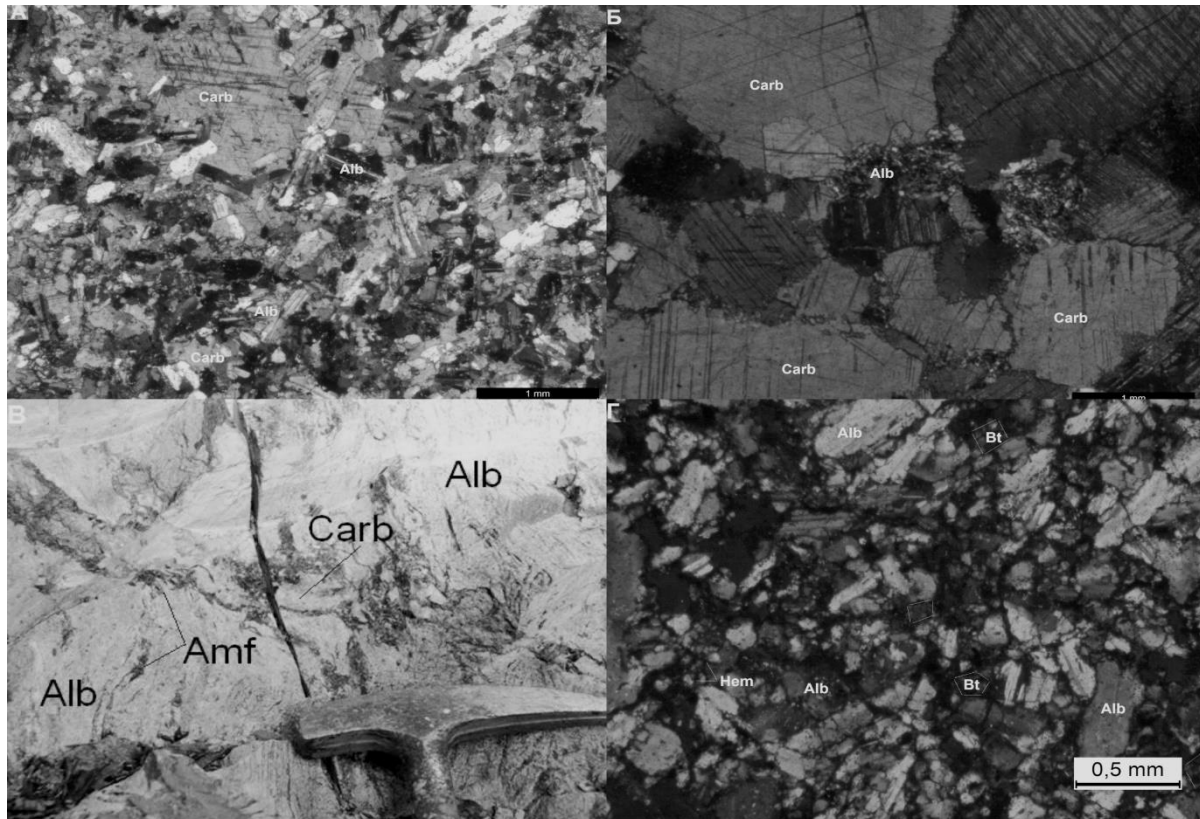


Рис. 2. Альбититы и альбит-карбонатные метасоматиты рудопроявлений Лагерное и Озерное:

- А** – карбонат-альбитовый метасоматит с гранобластовой структурой (с анализатором)
(Carb – карбонат, Alb – альбит);
- Б** – альбит-карбонатный метасоматит из внутренней зоны (с анализатором)
(Alb – альбит, Carb – карбонат);
- Б** – карбонатный прожилок с амфиболовой оторочкой в альбитите.
Рудопроявление Лагерное. Макроснимок камерой Nikon D90;
- Г** – альбитит. В межзерновом пространстве развит гематит и агрегат ванадийсодержащего флогопита (с анализатором)
(Alb – альбит, Hem – гематит, Bt – биотит)

Fig. 2. Albitites and albite-carbonate metasomatites of Lagernoe and Ozerne ore occurrences:

- A** – carbonate-albite metasomatite with a granoblastic structure (with an analyzer)
(Carb – carbonate, Alb – albite);
- B** – albite-carbonate metasomatite from the internal zone (with an analyzer)
(Alb – albite, Carb – carbonate);
- B** – carbonate veinlet with an amphibole margin in albitite;
Lagernoe ore occurrence. Nikon D90 macrophotograph;
- G** – albitite. Hematite and aggregate of the vanadium-containing phlogopite
(with an analyzer) are developed in the intergranular space
(Alb – albite, Hem – hematite, Bt – biotite)

Пострудная стадия. Макроскопически и под микроскопом в зонах карбонат-альбитовых изменений отмечаются многочисленные разноориентированные прожилки актинолита игольчатой формы, зачастую смятые в микроскладки. Нередко амфибол формирует оторочку карбонатных прожилков (рис. 2, В).

Во внутренней и во внешней частях метасоматической колонки наблюдается биотит в разноориентированных лейстах оливково-коричневого цвета и чешуйчатый флогопит, секущие общую сланцеватость пород, карбонатные прожилки, порфиробласты карбонатов (рис. 2, Г, 3, А).

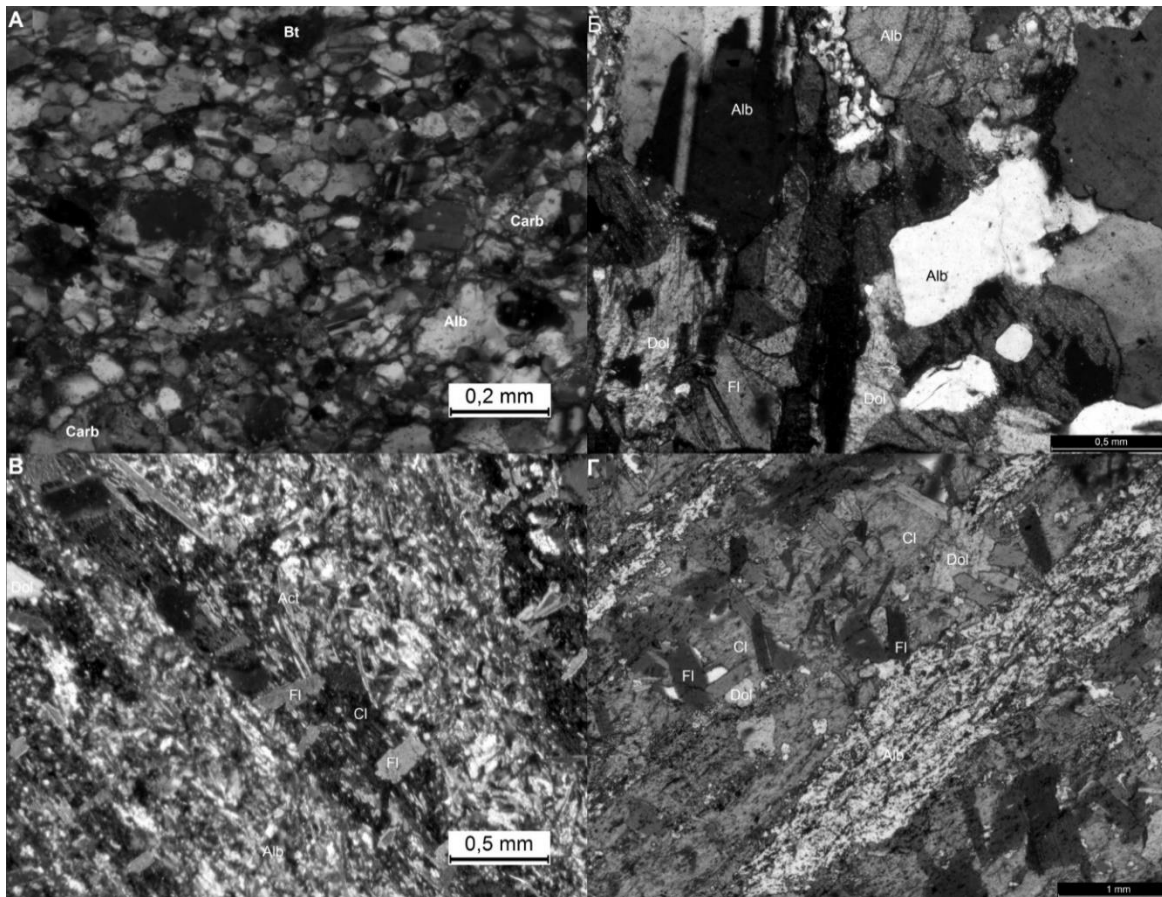


Рис. 3. Поздние флогопит-биотитовые изменения в альбититах:

- А – карбонат-альбитовый метасоматит с поздним биотитом (с анализатором)
 (Bt – биотит, Carb – карбонат, Alb – альбит);
 Б – поздний флогопит в карбонат-альбитовом метасоматите (без анализатора)
 (Alb – альбит, Fl – флогопит, Dol – доломит);
 В, Г – альбитизированный биотит-амфибол-плагиоклазовый сланец.
 Первичный биотит замещен хлоритом; в хлоритизированных участках породы
 развит доломит и более поздний флогопит (В – с анализатором, Г – без анализатора)
 (Fl – флогопит, Cl – хлорит, Dol – доломит, Alb – альбит)

Fig. 3. Late phlogopite-biotite alterations in albitites:

- А – carbonate-albite metasomatite with late biotite (with an analyzer)
 (Bt – biotite, Carb – carbonate, Alb – albite);
 Б – late phlogopite in carbonate-albite metasomatite (without an analyzer)
 (Alb – albite, Fl – phlogopite, Dol – dolomite);
 В, Г – albitized biotite-amphibole-plagioclase schist.
 Primary biotite is substituted by chlorite; dolomite and later phlogopite
 (В – with an analyzer, Г – without an analyzer) are developed in the chloritized sections of the rock
 (Fl – phlogopite, Cl – chlorite, Dol – dolomite, Alb – albite)

Порфиробласты доломита часто по краям, а иногда и нацело, замещаются слюдой (рис. 3, Б). Биотит характеризуется следующим составом: MgO – 14–15%, Al₂O₃ – 16%, SiO₃ – 39%, K₂O – 11%, FeO – 17%, V – 1–1,5%. Оптически флогопит имеет светло-коричневый цвет, пластинчатые и чешуйчатые формы. Его состав слабо изменяется в следующих пределах: MgO – 17–19%, Al₂O₃ – 14–15%, SiO₃ – 38–39%, K₂O – 10%, FeO – 8–11%, содержит примеси V – 1–1,5%, Cr – 1–1,5%, Ti – 1–2% (рис. 3, В, Г, 4, А).

Кристаллы роговой обманки (содержание Na – до 1%) фиксируются во всех зонах развития альбитизации (см. рис. 4, Б). Часто урановая минерализация приурочена к новообразованным кристаллам биотита и амфибола, в связи с чем можно предположить, что поздняя слюдино-амфиболовая ассоциация способствует переотложению минералов урана.

Завершающим процессом пострудной стадии является образование кварцевых жил мощностью от 20 см до 1 м, содержащих сульфидную минерализацию (пирит, халькопирит). Кварц в жилах полупрозрачный с дымчатым оттенком. В штуфной пробе, отобранной из кварцевой жилы рудопроявления Озерное Е.Н. Афанасьевой, были выявлены содержания золота до 20 г/т. Состав сульфидной минерализации и наличие повышенных концентраций золота дают основание сопоставлять кварцевые жилы рудопроявления Озерное с золото-кварцевым месторождением Майское. Последующие преобразования относятся к гипергенным процессам.

Формационная принадлежность карбонат-альбитовых метасоматитов

⁹Кондаков Ю.С., Кашпиров Н.С., Брагин В.В. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ на уран масштаба 1:50000 в пределах Куола-Панаярвинской структурной зоны, выполненных Кольской партией № 17 и ЛГУ в 1975–1977 гг. 1977 г. (Не опубликовано) / Kondakov Y.S., Kash-

Карбонат-альбитовые метасоматиты рудопроявлений Лагерное и Озерное по своим формационным особенностям близки к эйситам. В отечественной литературе метасоматиты этого типа впервые описаны под названием низкотемпературных кварц-альбитовых изменений [3]. Дальнейшее изучение показало, что метасоматиты кварц-альбитового состава возникают лишь в породах, богатых кварцем, и являются одной из фаций описываемой формации. По породам основного и среднего состава развиваются альбит-карбонатные и альбит-хлоритовые, а по известнякам — ураноносные апатитовые метасоматиты [4]. Для рудопроявлений Лагерное и Озерное субстратом для метасоматических процессов являются сланцы по породам основного состава. Но в пределах всего Алим-Курсуярвинского рудного узла также известны проявления минерализации уран-форсфорного типа в доломитах и известняках куонаярвинской свиты (людиковий)⁹.

Далее будут приведены характерные особенности эйситовой формации и рассмотренных метасоматитов рудопроявлений Лагерное и Озерное.

1. Эйситы формируются в процессе тектоно-магматической активизации древних платформ, после полного завершения магматической деятельности. Они четко контролируются зонами глубинных разломов [4].

Сходные условия образования характерны и для метасоматитов Лагерное и Озерное, приуроченных к зоне глубинного Куолаярвинского разлома. Процессы щелочного метасоматоза интенсивно проявлены на территории в завер-

pirov N.S., Bragin V.V. Report on the results of uranium prediction and geological works at a scale of 1:50000 within the Kuola-Panayarvinskaya structural zone performed by the Kola party no. 17 and Leningrad State University in 1975–77. 1977. (In Russian, unpublished).

шающий этап карельского тектоно-магматического цикла (2,5–1,95 млрд лет)¹⁰. Связь с магматизмом неотчетлива, можно лишь предполагать наличие парагенетической связи эйситов с гранитоидным магматизмом [4].

2. Особенностью эйситизации является четко выраженная тенденция к образованию существенно альбитовых пород с примесью кварца, карбоната, хлорита [2].

Для рудопроявлений Лагерное и Озерное также характерно образование линз мономинеральных альбититов и альбит-карбонатных метасоматитов в центральных частях метасоматических зон¹¹.

3. Эйситы, как и рассмотренные метасоматиты, отчетливо специализированы на уран. Как указывает Б.И. Омеляненко, это редкий тип метасоматитов, которые почти не встречаются без уранового оруденения и не несут самостоятельных промышленных концентраций других металлов [4].

С альбит-карбонатными метасоматитами изученных рудопроявлений связано урановое оруденение браннерит-уранинитового типа.

4. Размеры ореолов эйситизации практически определяются масштабами растворопроводящих каналов. Все наиболее значительные промышленные месторождения формируются в пределах крупных тектонических нарушений. Мощности зон интенсивного дробления и

трещиноватости пород и, соответственно, эйситизации достигают в них десятков и сотен метров [4].

Оруденение рудопроявлений Лагерное и Озерное приурочено к узлам сочленения глубинного разлома и систем меридиональных и северо-восточных разрывов значительной мощности (более 100 м). В пределах таких структур располагаются блоки объемно катаклазированных пород с участками развития приразломной складчатости. Урановое оруденение и метасоматиты локализуются в зонах смятия, будинажа и брекчирования¹².

5. Для эйситов, как и для щелочных метасоматитов рудопроявлений Лагерное и Озерное, не характерен жильный тип рудной минерализации, преобладающим является вкрапленное и микропрожилково-вкрапленное оруденение [4].

Таким образом, условия и стадийность образования метасоматитов, минеральные ассоциации и характер метасоматической зональности позволяют классифицировать карбонат-альбитовые метасоматиты рудопроявлений Лагерное и Озерное (согласно системе Б.И. Омеляненко [4]) как эйситы.

Рудная минерализация

Урановая минерализация рудопроявлений Лагерное и Озерное относится к уранинит-браннеритовому типу¹³. В изученных образцах установлены уранинит, браннерит и продукты его изменения.

¹⁰Кондаков Ю.С., Кашпиров Н.С., Брагин В.В. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ на уран масштаба 1:50000 в пределах Куола-Панаярвинской структурной зоны, выполненных Кольской партией № 17 и ЛГУ в 1975–1977 гг. 1977 г. (Не опубликовано) / Kondakov Y.S., Kashpirov N.S., Bragin V.V. / Kondakov Y.S., Kashpirov N.S., Bragin V.V. Report on the results of uranium prediction and geological works at a scale of 1:50000 within the Kuola-Panayarvinskaya structural zone performed by the Kola party no. 17 and Leningrad State University in 1975–77. 1977. (In Russian, unpublished).

¹¹Там же.

¹²Степаненко В.И., Белаев В.Т., Воинов А.С. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ на уран масштаба 1:50000 в пределах Куола-Панаярвинской структурной зоны, выполненных Центральной партией № 2 в 1977–1979 гг. 1979 г. (Не опубликовано) / Stepanenko V.I., Belaev V.T., Voinov A.S. Report on the results of uranium prediction and geological works at a scale of 1:50000 within Kuola-Panayarvinskaya structural zone performed by the Central party no. 2 in 1977–79. 1979. (In Russian, unpublished).

¹³Там же.

Браннерит – минерал смоляно-черного цвета, образует выделения длинно-призматических кристаллов, гнездовидные скопления, неправильные формы, округлые зерна, редко маломощные прожилки (до 1 см) вдоль микротрещин. Микронзондовыми исследованиями установлен следующий состав: U – 41–57%, Ti – 12–24%, Si – 3%, Ca – 1%, Fe – 3%, V – 1%, Pb – 1–2%. Браннерит приурочен к анкеритовым прожилкам, зернам альбита (рис. 4, В, Г). Уранинит встречается в виде отдельных кристаллов и их скоплений, минерал редко имеет хорошо развитые кристаллографические формы¹⁴. В пострудную метасоматическую стадию браннерит замещается урансодержащим лейкоксеном (Рис. 5, Б, В). Помимо титанатов урана в изученных образцах выявлены зерна торита, приуроченные к альбиту. Торит характеризуется следующим составом: Th – 57%, U – 12%, Si – 7%, Ca – 3%, P – 1%. Образование титанатов урана и торита протекало, вероятно, одновременно. Браннерит содержит мелкую вкрапленность галенита. В массе породы галенит образует скопления более крупных ксеноморфных зерен и мелкозернистую вкрапленность. Кроме галенита в основной ткани пород отмечается мелкая вкрапленность пирита. Наблюдается два типа пирита: ксеноморфный, в виде мелких зерен, обрамляющих кристаллы браннерита (рис. 5, Г); идиоморфный в виде обособлено вкрапленных кристаллов кубического или пентагон-додикаэдрического габитуса размером 1–5 мм. В лейкоксене обнаруживаются мелкие зерна ванадинита. Минерал характеризуется следующим составом: Pb – 72%, O – 14%, V – 11%, Cl – 1,5%. Помимо ванадинита по лейкоксену развиваются

достаточно крупные выделения монацита с содержанием Се – 53%, P – 9%, Ca – 4%, La – 4%, Nd – 3%, Gd – 1,67%.

В изученных образцах наблюдается довольно много зерен апатита. Минерал образует мелкие округлые зерна с гексагональным сечением, неправильных вытянутых форм (от 1 до 2 мм). Апатит содержит: CaO – 56%, P₂O₅ – 43%, Cl – 1%, S – 0,2%. Фосфаты сформировались, вероятно, в пострудную стадию.

В карбонатных метасоматитах рудопроявления Озерное А.А. Калининым была изучена богатая Bi-Te-Se-минерализация, в составе которой установлены мелонит, клаусталит, алтаит, скиппенит, кавацулит, фробергит, богдановичит, маттагамит и самородное золото. Золото отмечено в виде микровыделений размером до 25 мкм вместе с алтаитом и клаусталитом в микропрожилке мелонита (NiTe₂) по карбонату [2]. Развитие мелонита установлено и в пластинчатых ксеноморфных кристаллах молибденита. Рудопроявление Озерное отличается повышенным содержанием молибдена – до 1440 г/т [2].

Резюмируя полученные данные, можно выделить последовательность минералообразования, представленную в таблице.

Выводы

В результате микроскопического и микронзондового изучения метасоматитов выявлена последовательность проявления метасоматоза на рудопроявлениях Лагерное и Озерное. Метасоматический процесс может быть разделен на четыре стадии: 1) дорудная: окварцевание, альбитизация, ранняя карбонатизация; 2) рудная I: карбонатизация и связанное с ней уранинит-браннеритовое

¹⁴Кондаков Ю.С., Кашпиров Н.С., Брагин В.В. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ на уран масштаба 1:50000 в пределах Куола-Панаярвинской структурной зоны, выполненных Кольской партией № 17 и ЛГУ в 1975–1977 гг. 1977 г. (Не опубликовано) / Kondakov Y.S.,

Kashpirov N.S., Bragin V.V. Report on the results of uranium prediction and geological works at a scale of 1:50000 within the Kuola-Panayarvinskaya structural zone performed by the Kola party no. 17 and Leningrad State University in 1975–77. 1977. (In Russian, unpublished).

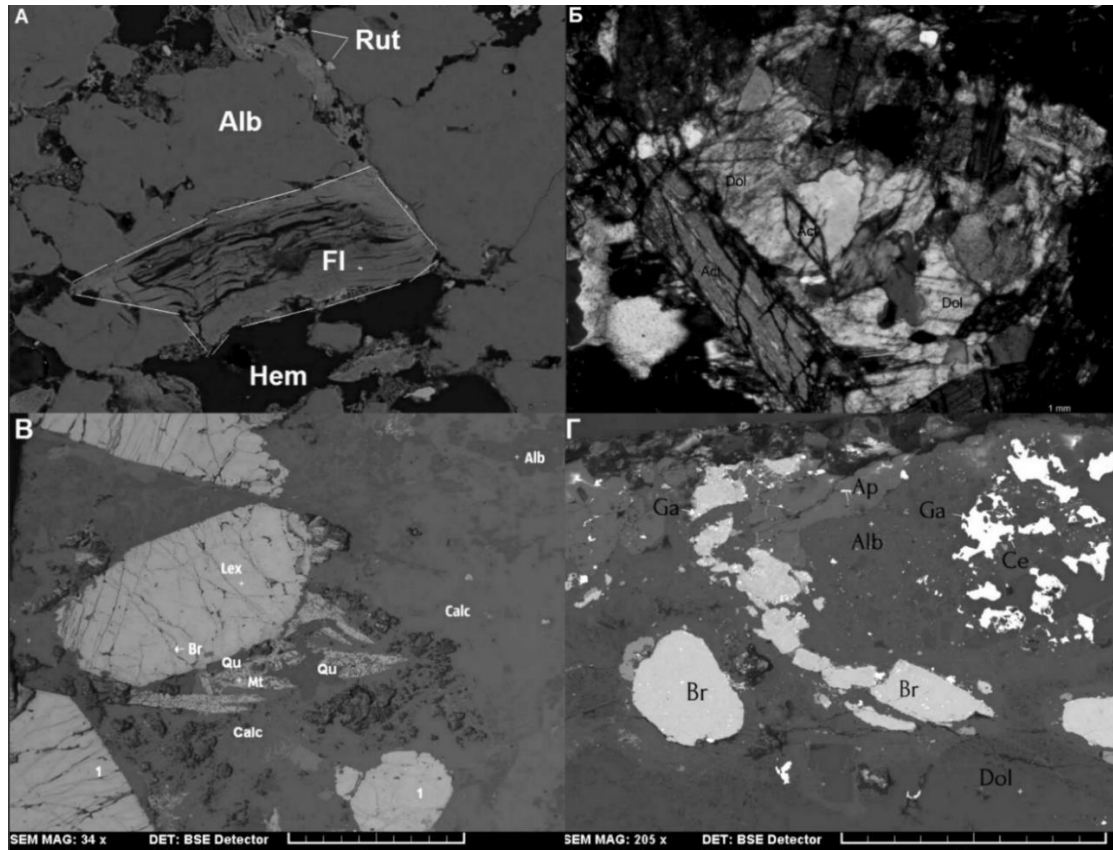


Рис. 4. Поздние амфибол-слюдистые изменения и урановая минерализация в альбититах:

*А – в центре поля агрегат ванадийсодержащего флогопита в альбитите
 (снимок в обратнорассеянных электронах)*

(Alb – альбит, Rut – рутил, Fl – флогопит, Hem – гематит);

Б – проявление среднетемпературных поздних изменений: кристаллы актинолита в доломите в карбонат-альбитовом метасоматите (с анализатором)

(Dol – доломит, Act – актинолит);

В – призматические кристаллы лейкоксенизованного браннерита в альбит-карбонатном метасоматите

(обозначения минералов приведены ниже);

Г – ксеноморфные выделения браннерита в альбит-карбонатном метасоматите (в правом верхнем углу – скопление зерен галенита в альбите)

(Br – браннерит, Lex – лейкоксен, Alb – альбит, Qu – кварц, Mt – магнетит, Calc – кальцит, Dol – доломит, Ap – апатит, Ce – церуссит)

(снимки в обратнорассеянных электронах Е.Н. Афанасьевой (ФБГУ «ВСЕГЕИ»))

Fig. 4. Late amphibole-micaceous alterations and uranium mineralization in albitites:

A – an aggregate of vanadium-containing phlogopite in albitite is in the center of the field (backscattered electron image)

(Alb – albite, Rut – rutile, Fl – phlogopite, Hem – hematite);

B – manifestation of later mid-temperature changes: actinolite crystals in dolomite in the carbonate-albite metasomatite (with an analyzer)

(Dol – dolomite, Act – actinolite);

B – prismatic crystals of leucoxenized brannerite in the albitite-carbonate metasomatite (the mention of minerals is given below);

Г – xenomorphic manifestations of brannerite in the albitite-carbonate metasomatite (in the upper right corner, there is the accumulation of galena grains in albitite)

(Br – brannerite, Lex – leucoxene, Alb – albite, Qu – quartz, Mt – magnetite, Calc – calcite, Dol – dolomite, Ap – apatite, Ce – cerussite)

(backscattered electron images by E. Afanasieva (Federal State Budgetary Institution “A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute))

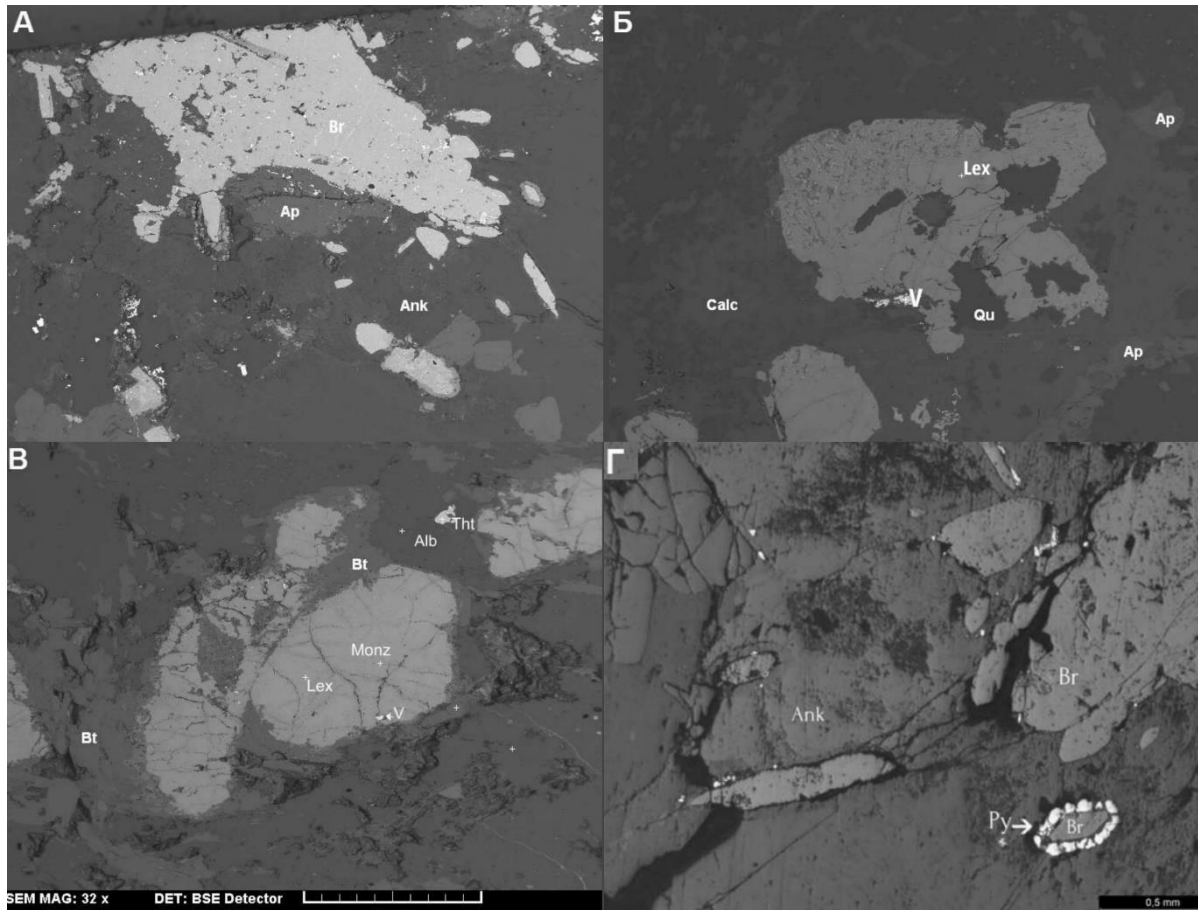


Рис. 5. Урановая минерализация в альбит-карбонатных метасоматитах:

А – призматические кристаллы и ксеноморфные выделения браннерита в альбит-карбонатном метасоматите;

Б – ксеноморфные выделения браннерита, замещенные ураносодержащим лейкоксеном в альбит-карбонатном метасоматите

(Br – браннерит, V – ванадинит, Ank – анкерит, Lex – лейкоксен, Qu – кварц, Ap – апатит);

В – призматические и ксеноморфные выделения лейкоксенизированного браннерита в альбит-карбонатном метасоматите

(снимки в обратнорассеянных электронах Е.Н. Афанасьевой (ФБГУ «ВСЕГЕИ»));

Г – ксеноморфные выделения браннерита в альбит-карбонатном метасоматите (в правом нижнем углу более поздний пирит формирует оторочку из мелких зерен вокруг кристалла браннерита)

(Br – браннерит, Lex – лейкоксен, V – ванадинит, Monz – монзонит, Tht – торит, Bt – биотит, Py – пирит)

Fig. 5. Uranium mineralization in albite-carbonate metasomatites

A – prismatic crystals and xenomorphic manifestations of brannerite in the albite-carbonate metasomatite;

Б – xenomorphic manifestations of brannerite substituted by uranium bearing leucoxene in the albite-carbonate metasomatite

(Br – brannerite, V – vanadinite, Ank – ankerite, Lex – leucoxene, Qu – quartz, Ap – apatite);

B – prismatic and xenomorphic secretions of leucoxenized brannerite in the albite-carbonate metasomatite (backscattered electron images by E. Afanasieva (Federal State Budgetary Institution "A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute));

Г – xenomorphic manifestations of brannerite in the albite-carbonate metasomatite

(in the lower right corner a later pyrite is shown to form a margin of fine grains around a brannerite crystal)

(Br – brannerite, Lex – leucoxene, V – vanadinite, Monz – monzonite, Tht – torite, Bt – biotite, Py – pyrite)

Стадийность минералообразования рудопроявлений Лагерное и Озерное
Mineralization stages of Lagernoe and Ozerno ore occurrences

Минеральная ассоциация / Mineral association	Дорудная стадия / Pre-ore association	I рудная стадия / Ore I stage	Пострудная стадия / Post-ore stage	II рудная стадия (жильная) / Ore II stage (vein stage)
Рудная ассоциация / Ore association	Магнетит, ильменит / Magnetite, ilmenite	Браннерит, уранинит, торит, гематит, галенит, пирит I, рутил, молибденит, золото / Brannerite, uraninite, thorite, hematite, galena, pyrite I, rutile, molybdenite, gold	Лейкоксен, пирит II / Leucoxene, pyrite II	Пирит, халькопирит, золото / Pyrite, chalcopyrite, gold
Нерудная ассоциация / Non-metallic association	Кварц, альбит I, альбит II, хлорит, кальцит, серицит / Quartz, albite I, albite II, chlorite, calcite, sericite	Альбит III, доломит, анкерит, ванадинит / Albite III, dolomite, ankerite, vanadinite	Биотит, флогопит, амфибол, монацит, апатит, кварц / Biotite, phlogopite, amphibole, monazite, apatite, quartz	Кварц / Quartz

оруденение, сульфидизация и золотое оруденение; 3) пострудная: слюдисто-амфиболовые изменения; 4) рудная II: сульфидно-кварцевые жилы, золото (см. таблицу). Карбонат-альбитовые метасоматиты рудопроявлений Лагерное и Озерное отнесены к эйситовой формации. Установлено проявление более высокотемпературной слюдисто-амфиболовой ассоциации, наложенной на альбит-карбонатные метасоматиты. Урановое

оруденение представлено преимущественно уранинитом и браннеритом в виде гнездовых скоплений и жильковой вкрупленности. Установлена связь урановой минерализации с анкеритом и доломитом, однако вопрос пространственно-временной связи золота и урана требует дополнительного изучения. Золотое оруденение также проявляется в связи с кварцевыми жилами во вторую рудную стадию.

Библиографический список

1. Калинин А.А., Каулина Т.В., Серов П.А. Возраст урановой минерализации Сала-Пана-Куолаярвинской зоны (Северная Карелия). Апатиты: Изд-во Института геологии КарНЦ РАН, 2012. С. 72–74.

References

1. Kalinin A.A., Kaulina T.V., Serov P.A. *Vozrast uranovoi mineralizatsii Sالا-Pana-Kuolayarvinskoi zony (Severnaya Kareliya)* [Uranium mineralization age in Sala-Pana-Kuolayarvinskaya zone (North Karelia)]. Apatity, Institut geologii KarNTs Rossiiskoi Akademii Nauk, 2012, pp. 72–74.

2. Калинин А.А. Золотоносная молибден-урановая минерализация Салла-Пана-Куолаярвинской зоны. Апатиты: Изд-во Геологического института Кольского НЦ РАН, 2012. С. 142–147.

3. Голубев А.И., Шипцов В.В. Геодинамика и минерагения Карелии: материалы Всерос. конф. 12–15 нояб. 2007. Петрозаводск: Изд-во Института геологии КарНЦ РАН, 2007. С. 85–89.

4. Омеляненко Б.И. Околорудные гидротермальные изменения пород. М.: Недра, 1978. 213 с.

2. Kalinin A.A. *Zolotonosnaya molibden-uranovaya mineralizatsiya Salla-Pana-Kuolayarvinskoi zony* [Gold-bearing molybdenum-uranium mineralization of the Salla-Pana-Kuolayarvinskaya zone]. Apatity, Geologicheskii institut Kol'skogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi Akademii Nauk Publ., 2012, pp. 142–147.

3. Golubev A.I., Shchiptsov V.V. *Geodinamika i minerageniya Karelii: materialy Vseros. konf. 12–15 noyabrya 2007* [Geodynamics and minerageny of Karelia: Proceedings of the All-Russia Conference of 12–15 November, 2007]. Petrozavodsk, Institut geologii KarNTs Rossiiskoi Akademii Nauk Publ., 2007, pp. 85–89. (In Russian).

4. Omel'yanenko B.I. *Okolorudnye gidrotermal'nye izmeneniya porod* [Wallrock hydrothermal change of rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1978. 213 p.

*Статья поступила 03.11.2016 г.
The article was received 03.11.2016.*