

**А.В.КУРГУЗОВА**, аспирантка, *kurguzova.anna@gmail.com*

**В.И.АЛЕКСЕЕВ**, канд. геол.-минерал. наук, доцент, *wia59@mail.ru*

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург*

**A.V.KURGUZOVA**, post-graduate student, *kurguzova.anna@gmail.com*

**V.I.ALEKSEEV**, PhD in geol. & min. sc., associate professor, *wia59@mail.ru*

*National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg*

## **МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦВИТТЕРОВ МАССИВА СЕВЕРНЫЙ (ЧУКОТКА)**

Рассмотрены геохимические и минералогические особенности цвиттеров – метасоматических пород, связанных с редкометалльными гранитами Чукотки. Выявлен структурный тип и особенности химического состава темной слюды цвиттеров. Охарактеризована геохимическая специализация метасоматических растворов, формирующих цвиттеры. Приведены данные о типоморфизме акцессорных минералов цвиттеров.

**Ключевые слова:** цвиттеры, грейзены, граниты, массив Северный, Чукотка.

## **MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTIC OF ZWITTERS FROM SEVERNY MASSIF (CHUKOTKA)**

Zwitter rocks are metasomatic rocks associated with rare-metal granites. Petrological, geochemical and mineralogical features of zwitter rocks are given. For dark micas features of chemical composition and type of structure is described. Geochemical specialization of metasomatic solutions is characterized. Data about accessory minerals are given.

**Key words:** zwitter rocks, greisens, Severny massif, Chukotka.

В статье рассмотрены темнослюдистые грейзены, связанные с редкометалльными гранитами Чукотки и масштабно проявленные в Северном массиве (восточное побережье Чаунского залива). Описываемые грейзены отнесены к цвиттеровой фации метасоматитов, аналогичных олово-вольфрамоносным грейzenам, сопровождающим массивы литий-фтористых гранитов Чехословакии, Монголии, Якутии [3]. Связь с цвиттерами месторождений вольфрама, олова, молибдена, РЗЭ определяет интерес к выяснению рудной специализации грейзенизирующих растворов Северного массива. Для этого изучены минералого-геохимические особенности метасоматитов массива Северный и сделаны выводы о характере постмагматических растворов, формирующих цвиттеры.

**Геологическая позиция цвиттеров.** Северный массив располагается в складчатых толщах Паляваамского мегасинклиналя Чукотской складчатой системы. Массив сложен преимущественно порфировидными биотитовыми гранитами, а также протолитионитовыми гранитами, гранит-порфирами, пегматитами и аплитами [1, 2]. Выделены также микроклин-альбитовые граниты и онгониты с циннвальдитом и топазом [1], отнесенные к фтор-литиевому подтипу субщелочно-лейкогранитового формационного типа. В полнопроявленном виде цвиттеры образуют неправильной формы гнезда и маломощные (первые десятки сантиметров) линзы. Встречаются метасоматические кварцевые прожилки мощностью 3-10 мм с окололожильной грейзенизацией. Стоит отметить, что в «классических» регионах распростра-

нения цвиттеров (Германия, Чехия, Монголия) с цвиттерами связана касситеритовая минерализация, в то время как на Северном массиве касситерит появляется лишь на следующей после цвиттеров турмалинитовой стадии.

**Петрография цвиттеров.** Цвиттеры представляют собой массивные гранобластовые, лепидогранобластовые кварц-темно-слюдистые породы. Породообразующие минералы – кварц, топаз, циннвальдит и мусковит, второстепенные – турмалин, флюорит и рудные (арсенопирит, гематит, ильменит и др.), акцессорные – рутил, ксенотим, монацит, вольфрамооксиолит, колумбит, реликтовые – альбит, щелочной полевой шпат, кварц, биотит, циркон, титанит. Реликтовый биотит темно-коричневой окраски, с многочисленными плеохроичными дворицами вокруг включений циркона, замещается топазом, флюоритом и светло-коричневой слюдой.

**Геохимическая характеристика цвиттеров.** Геохимические особенности цвиттеров определялись содержанием в них главных и редких элементов и нормировались на состав крупнозернистых биотитовых гранитов главной фазы Северного массива. Исследования состава метасоматитов и гранитов выполнены в лабораториях Горного университета на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu AA6300 и оптическом эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Shimadzu ICPE-9000. Всего проанализировано три образца гранитов (пробы 4051, 4078 и 4105) и два образца цвиттеров (пробы 2194 и 6182).

Анализ химического состава цвиттеров и гранитов свидетельствует об обогащении цвиттеров относительно гранитов Fe (в 3 раза), Mn и Mg (в 2 раза), Ti (в 1,5 раза). При этом происходит вынос Na и K, а содержание кремнезема практически не изменяется. В составе примесей наблюдается увеличение доли литофильных (Cs, Li, P, F) и халькофильных (S, As, Zn, Cu, Pb, Sn, Bi) элементов и вынос Mo, Co, Sr и Cr. Результатом геохимической перестройки гранитов является формирование специфической лито-халькофильной минерализации: монаци-

та, ферберита, вольфрамо-ниобиевого рутила, вольфрамооксиолита, иттриевого флюорита, колумбита, As-торита, самородного висмута, рузвельтита и сульфидов – леллингита, пирита, халькопирита, висмутита.

**Слюда цвиттеров.** Темная литиевая слюда является типоморфным минералом цвиттеров, а ее состав отражает особенности грейзенизирующих растворов. Метасоматическая слюда, как правило, нарастает и замещает кристаллы ранее существовавшей магматической слюды. Основными критериями визуального различия магматической и метасоматической слюды можно считать более темный цвет первичной слюды, а также присутствие в ней многочисленных акцессорных минералов (циркон, монацит, рутил). Методом порошковой дифрактометрии был определен структурный тип слюд. Измерения проводились в лабораториях Горного университета на дифрактометре XRD-7000 фирмы «SHIMADZU» (CuK $\alpha$ -излучение, 40 кВ, 30 мА). Отбор монофракций слюды происходил вручную под микроскопом МБС-1.

Полученные дифрактограммы сравнивались с эталонными (аннита, циннвальдита и полилитионита), размещенными в открытом доступе на сайте <http://rruff.info/>. Согласно классификации [4], биотитами называются триоктаэдрические слюды без лития, занимающие промежуточное положение между аннитом ( $\text{KFe}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) – флогопитовым ( $\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) и сидерофиллитом ( $\text{KFe}_2\text{AlAl}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) – истонитовым ( $\text{KMg}_2\text{AlAl}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) рядами. Циннвальдит также является триоктаэдрической слюдой, однако содержит в своем составе литий и принадлежит к ряду сидерофиллит ( $\text{KFe}_2\text{AlAl}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) – полилитионит ( $\text{KLi}_2\text{AlSi}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ ). Дифрактограммы проанализированных слюд (монофракции с включениями и без них, как из цвиттеров, так и из гранитов) соответствуют слюдам ряда сидерофиллит-полилитионит. Таким образом, новообразованная и реликтовая слюда цвиттеров принадлежат к одному структурному типу, являются триоктаэдрическими литиевыми слюдами ряда сидерофиллит – полилитионит.

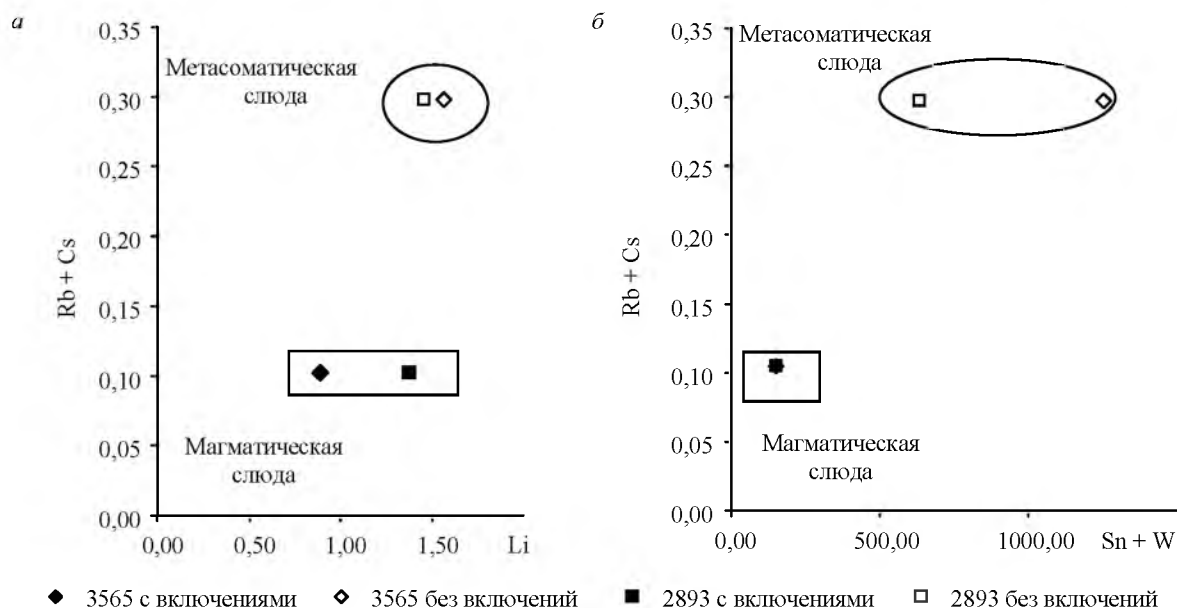


Рис.1. Диаграмма различий содержания Li и Rb+Cs (а) и Rb+Cs и Sn+W (б) в реликтовых и новообразованных слюдах цвиттеров

В темных слюдах цвиттеров были определены содержания элементов-примесей методом плазменной фотометрии (щелочные металлы) и рентгеноспектрального анализа. Литий входит в состав как реликтовой, так и новообразованной слюды. Однако метасоматическая слюда содержит больше рубидия и цезия (рис.1, а). Таким образом, для цвиттеров Северного массива повышенные содержания Rb и Cs в слюде могут рассматриваться в качестве критерия ее метасоматического происхождения. Кроме того, отмечается корреляция между содержанием Rb, Cs и Sn, W (рис.1, б). Олово и вольфрам являются несовместимыми элементами в структуре слюды; их присутствие обусловлено, вероятно, включениями в слюде вольфрамиксиолита и Sn-рутила, неразличимых под микроскопом. Отмеченная корреляция свидетельствует о тесной связи грейзенизирующих растворов и Sn – W минерализации.

**Акцессорные минералы цвиттеров.** Специфика состава грейзенизирующих растворов отражается и в составе акцессорных минералов. Нами был изучен состав монацитов из цвиттеров и биотито-

вых гранитов главной фазы. Исследования проводились на электронном микроскопе JSM-6460LV в ЦКП Горного университета. В биотитовых гранитах установлены акцессорный и новообразованный метасоматический монациты, находящиеся в тесном срастании. Рост метасоматического монацита происходил на затравках магматического аналога. Монацит-(Ce) цвиттеров отличается от монацита гранитов более крупным размером (соответственно 50-100 и 20-30 мкм) и пониженной долей чералитового минала  $\text{CaTh}(\text{PO}_4)_2$  (рис.2). В ряде случаев монацит из биотитовых гранитов обогащен торием по периферии зерен и вдоль трещин в кристаллах, что связано, вероятно, с наложенным кислотным метасоматозом. Формирование подобных ториевых кайм описано в экспериментальных работах [5, 6], где наблюдалось образование высокоториевого монацита вдоль граней монацита-затравки под воздействием  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ . Для монацита из цвиттеров в целом характерны пониженные содержания Th, а также постоянная ассоциация с иттриевым флюоритом, гафниевым цирконом, As-торитом и рузвельтитом.

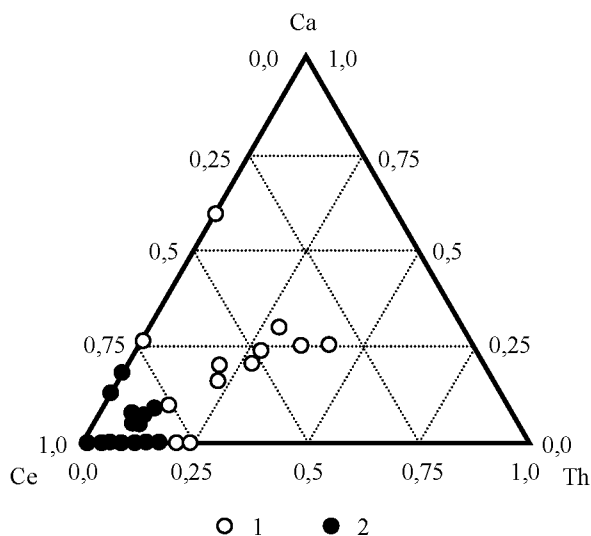


Рис.2. Составы монацитов из биотитовых гранитов и цвиттеров Северного массива  
1 – биотитовые граниты; 2 – цвиттеры

Составы рутила из биотитовых гранитов и цвиттеров также отличаются по элементам-примесям. Для рутила гранитов характерно почти полное отсутствие существенных примесей, в ряде случаев доля железа составляет 0,02-0,03 формульных единицы (ф.е.). Рутил цвиттеров содержит примесь Fe (0,02-0,05 ф.е.), Nb (0,03-0,05 ф.е.), Sn (0,01-0,02) и иногда W (0,01-0,03) и Ta (0,01-0,03 ф.е.). Рутил с подобными примесями часто ассоциирует с низкотермическим (формульный коэффициент  $Th < 0,10$ ) монацитом, вольфрамооксиолитом, ильменитом. Особенности состава рутила из метасоматических пород являются отражением Sn-Ta-Nb специализации гидротермальных растворов.

### Выводы

1. В Чаунской оловорудной провинции впервые выявлены грейзены, принадлежащие цвиттеровой метасоматической фации.
2. Цвиттеры Северного массива характеризуются лито-халькофильной специализацией, накапливая наряду с Rb, Cs, Li, W, Nb, REE, Th, P, F такие элементы, как S, As, Cu, Sn, Bi. Геохимическая специфика метасоматических растворов отражается и в осо-

бенностях акцессорной минерализации цвиттеров: характерно сочетание редкометалльной (монацит, вольфрамит, вольфрамооксиолит, вольфрам-ниобиевый рутил, колумбит, касситерит) и сульфидной (леллингит, пирит, халькопирит, висмутин, As-торит, рузвельтит) минерализации.

3. Особенности монацита цвиттеров являются относительно крупный размер и пониженное содержание чералитового минала.

4. Рутил цвиттеров, ассоциирующий с низкотермическим монацитом, содержит примеси Fe, Nb, Ta, Sn и W, что является отражением рудной специализации грейзенизирующих растворов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 11-05-00868-а) и Министерства образования и науки РФ (государственный контракт № 14.740.11.0192).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.И. Топазовые граниты и онгониты Чаунского рудного района (Чукотка) // Записки Горного института. СПб, 2011. Т.194. С.46-52.
2. Дудкин Д.В. Липий-фтористые граниты Чукотки и их геохимические особенности / Д.В.Дудкин, С.В.Ефремов, В.Д.Козлов // Геохимия. 1994. № 3. С.393-402.
3. Коваленко В.И. Метасоматические цвиттеры и связанное с ними редкометалльное оруденение (на примере месторождений Монголии и Чехословакии) / В.И.Коваленко, М.И.Кузьмин, В.Д.Козлов // Метасоматизм и рудообразование. М., 1974. С.42-53.
4. Ридер М. Номенклатура слюд: заключительный доклад подкомитета по слодам комиссии по новым минералам и названиям минералов международной минералогической ассоциации / М.Ридер, Г.Гаваззини, Ю.С.Дьяконов // Записки ВМО. № 5. 1998. С.55-65.
5. Сущевская Т.М. Физико-химические механизмы отложения касситерита и вольфрамит в гидротермальной системе, связанной с гранитами (термодинамическое моделирование) / Т.М.Сущевская, А.Ю.Бычков // Геохимия. 2010. № 12. С.1330-1338.
6. Callum J.H. Experimental metasomatism of monazite and xenotime: mineral stability, REE mobility and fluid composition / J.H.Callum, E.D.Harlov, B.Budzyń // Miner. Petrology. 2010. N 99. P.165-184.

### REFERENCES

1. Alekseev V.I. Topaz-bearing granites and ongonites from Chaun ore district (Chukotka) // Proceeding of Mining Institute. Saint Petersburg, 2011. Vol.194. С.46-52.

2. *Dudkinsiy D.V., Efremov S.V., Kozlov V.D.* Lithium-fluorine granites of Chukotka and their geochemical features // *Geokhimiya*. 1994. N 3. P.393-402.
3. *Kovalenko V.I., Kuzmin M.I., Kozlov V.D.* Metasomatic zwitter and associated with them rare-metals orers (using example of Mongolia and Chechoslovakia deposits) // *Metasomatism and rudoobrazovanie*. Moscow, 1974. P.42-53.
4. *Rieder M., Gavazzini G., D'yakonov Yu.S. et al.* Nomenclature of the micas: final report of mica subcommittee of the commission on new minerals names of the international mineralogical association // *Proceedings VMO*. N 5. 1998. P.55-65.
5. *Sushevskaya T.M., Byuchkov A.Yu.* Physico-chemical mechanisms of cassiterite and wolframite deposition in hydrothermal system, associated with granitoids (thermodynamic modelling) // *Geokhimiya*. 2010. N 12. P.1330-1338.
6. *Callum J.H., Harlov E.D., Budzyń B.* Experimental metasomatism of monazite and xenotime: mineral stability, REE mobility and fluid composition // *Miner. Petrology*. 2010. N 99. P.165-184.