

Лахденпохского поля свидетельствует о перспективности территории на выявление алмазоносных объектов кимберлитового типа.

Таким образом, по совокупности геолого-геофизических и шлихо-минералогических признаков, установленных на региональном и локальном уровнях, можно с большой долей вероятности прогнозировать присутствие в Северном Приладожье коренных источников, а именно алмазоносных тел кимберлитов.

Работа выполнялась в рамках ГДП-200 и ГМК-500, проводимых ГГУП СФ «Минерал». Автор выражает благодарность коллективу ГГУП «Минерал», отдельно Е.В. Путинцевой и К.И. Степанову.

#### ЛИТЕРАТУРА

Афанасов М.Н., Николаев В.А. Перспективы алмазоносности Карельского перешейка (Западное Приладожье) /Региональная геология и металлогения. 2003. №18. С.116-121.

Белюсова И.В. Отчет по теме: Оценка алмазоносности Ихальского участка на Сортавальской площади.//Фондовая. 2004.

Перспективы алмазоносности зоны сочленения Балтийского щита и Русской плиты /Скопенко Н.Ф., Иванов А.И., Скороспелкин С.А. и др., //Разведка и охрана недр. 1998. №7-8.С.31-32.

Хазов Р.А., Попов М.Г., Павлов Г.М. Реликтовые минералы, псевдоморфозы, алмазы и их микроакцессорные спутники в нодулях и мегакристах диатремовых ладоголитов //Проблемы золотоносности и алмазоносности севера Европейской части России. Петрозаводск, 1997. С.87-92.

### РАСТВОРИМОСТЬ ТА И NВ В МАГМАТИЧЕСКИХ РАСПЛАВАХ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Бородулин Г.П., Чевычелов В.Ю., Зарайский Г.П.  
ИЭМ РАН, г. Черноголовка, [gleban@iem.ac.ru](mailto:gleban@iem.ac.ru)

Данные исследования направлены на получение новых сведений о геохимическом поведении Та и Nb в магматическом процессе и об условиях образования танталовых месторождений, связанных с редкометалльными гранитами и пегматитами. Процесс кристаллической дифференциации магматических расплавов во многом определяет обогащение и фракционирование тантала и ниобия в условиях земной коры.

Результаты низкотемпературных исследований представляют наибольший интерес для приложения к природным объектам. Нижний температурный предел (600 °С) обоснован тем, что эксперименты по плавлению редкометалльных литий фтористых гранитов показали температуру начала плавления около 600° С при P =1 кбар (Аксюк, 2002).

Для проведения экспериментов были приготовлены гелиевые смеси состава  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  с различной величиной мольного отношения  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  (сокращенно А/НК): 0.64, 1.1 и 1.7. Исходные водонасыщенные обогащенные Li и F гомогенные стекла были получены путем двукратного плавления этих гелиевых смесей; сначала при 1 атм и медленном ступенчатом подъеме температуры до 1500° С, а затем после добавления FeO, MnO, LiF и избытка 0.2 N раствора HF при  $P_{\text{H}_2\text{O}}=1$  (0.3, 4) кбар,  $T=960^\circ\text{C}$  в присутствии буферной смеси Ni-NiO.

Составы гранитных стёкол также были выбраны не случайно. Состав щелочного стекла А/НК ~0.64 приближенно соответствует составу рудовмещающих пород месторождения Тайкеу (Полярный Урал). Месторождения Тайкеуского рудного узла приурочены к Харбейскому блоку допалеозойского фундамента. Редкометалльное оруденение относится к геолого-промышленному типу редкометалльных метасоматитов. Состав гранитного стекла А/НК ~1.1 соответствует рудовмещающим Li-F гранитам Этыкинского танталового месторождения (Восточное Забайкалье). Месторождение локализовано в апикальной части одноимённого массива, состоящего из Li-F криофиллит-амазонит-альбитовых гранитов.

В экспериментах были использованы кристаллы природного колумбита  $(\text{Mn,Fe})(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6$ . Кристалл колумбита помещали внутри порошка стекла и добавляли 0.2 N раствор HF (2-4 мас.%). В процессе экспериментов, проводимых в золотых (для давления > 1 кбар) и платиновых (при «низком» давлении 0.3 и 0.6 кбар) ампулах на установке высокого газового давления с внутренним нагревом. В процессе опыта колумбит диффузионно растворялся в алюмосиликатном расплаве.

Содержания Та, Nb, Fe и Mn в алюмосиликатном закалочном стекле вдоль профилей, перпендикулярных к границе минерала, (Таб. 1) были измерены двумя способами: методом микрозондового анализа (1) с помощью энерго-дисперсионного рентгеновского (EDX) микроанализатора с полупроводниковым Si-(Li) детектором *INCA Energy* к электронному микроскопу CamScan MV-2300 (в ИЭМ РАН) и (2) кристалл-дифракционных (волновых) спектрометров на микроанализаторе Cameca MS-46 (в ИГЕМ РАН).

Таблица 1. Растворимость колумбита в гранитных расплавах глиноземистого (А/НК ~1.7), нормального (А/НК ~1.1) и щелочного (А/НК ~0.64) состава (мас.%) при Т = 650, 750 и 850°С и Р = 4, 1 и 0.3 кбар (микронд, энергодисперсионный спектрометр)

|          | А/НК ~1.7           |                     |                     | А/НК ~1.1           |                     |                     | А/НК ~0.64 |       |       |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------|-------|-------|
|          | 650°С               | 750°С               | 850°С               | 650°С               | 750°С               | 850°С               | 650°С      | 750°С | 850°С |
| 4 кбар   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |            |       |       |
| Nb       | 0.17 <sup>1,2</sup> | 0.15 <sup>1</sup>   | 0.21 <sup>1</sup>   | 0.25 <sup>1</sup>   | 0.43                | 0.70                | 2.78       | 2.94  | 3.54  |
| Ta       | 0.33 <sup>1,2</sup> | 0.45 <sup>1</sup>   | 0.53 <sup>1</sup>   | 0.36 <sup>1</sup>   | 0.51 <sup>1</sup>   | 1.17                | 2.27       | 2.40  | 2.51  |
| Fe       | 0.40 <sup>2</sup>   | 0.43                | 0.50                | 0.62                | 0.59                | 0.51                | 0.68       | 0.96  | 1.02  |
| Mn       | 0.45 <sup>2</sup>   | 0.62                | 0.63                | 0.57                | 0.69                | 0.73                | 0.76       | 1.01  | 1.17  |
| 1 кбар   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |            |       |       |
| Nb       | 0.23 <sup>1</sup>   | 0.21 <sup>1</sup>   | 0.30                | 0.08 <sup>1,2</sup> | 0.57                | 0.92                | 2.80       | 4.11  | 5.00  |
| Ta       | 0.25 <sup>1</sup>   | 0.46 <sup>1</sup>   | 0.36 <sup>1</sup>   | 0.24 <sup>1,2</sup> | 0.34 <sup>1</sup>   | 0.80                | 2.25       | 2.40  | 2.51  |
| Fe       | 0.59                | 0.67                | 0.65                | 0.49 <sup>2</sup>   | 0.54                | 0.66                | 0.83       | 1.00  | 0.93  |
| Mn       | 0.61                | 0.72                | 0.68                | 0.51 <sup>2</sup>   | 0.55                | 0.56                | 0.97       | 1.20  | 1.36  |
| 0.3 кбар |                     |                     |                     |                     |                     |                     |            |       |       |
| Nb       |                     | 0 <sup>1,2</sup>    | 0.29 <sup>1,2</sup> |                     | 0.14 <sup>1,2</sup> | 0.21 <sup>1,2</sup> |            | 5.66  |       |
| Ta       |                     | 0.49 <sup>1,2</sup> | 0.69 <sup>1,2</sup> |                     | 0.21 <sup>1,2</sup> | 0.26 <sup>1,2</sup> |            | 3.21  |       |
| Fe       |                     | 0.26 <sup>2</sup>   | 0.44 <sup>2</sup>   |                     | 0.50 <sup>2</sup>   | 0.61 <sup>2</sup>   |            | 1.35  |       |
| Mn       |                     | 0.56 <sup>2</sup>   | 0.52 <sup>2</sup>   |                     | 0.53 <sup>2</sup>   | 0.49 <sup>2</sup>   |            | 2.66  |       |

<sup>1</sup> Содержания меньше предела обнаружения.

<sup>2</sup> В этих опытах стекло частично раскристаллизовано.

Полученные диффузионные профили были аппроксимированы с помощью экспоненциальных уравнений. Также были проведены расчеты максимальных концентраций (растворимости) этих металлов в закалочном стекле непосредственно на границе с минералом.

Исследовано влияние трех основных факторов: состава расплава, температуры и давления. **Состав расплава** оказывает наибольшее влияние на величину растворимости колумбита (рис. 1). Растворимости Ta и Nb максимальны в щелочном расплаве (А/НК ~0.64), уменьшаются почти на порядок в расплаве нормального состава (А/НК ~1.1) и продолжают заметно снижаться с увеличением глиноземистости расплава (А/НК ~1.7).

**Температура** оказывает менее заметное влияние на растворимость колумбита, наиболее ярко выраженное при нормальном составе расплава с А/НК ~1.1 (рис. 1). Для этого состава при Р = 1 кбар с уменьшением температуры от 850 до 650°С содержание Ta в стекле уменьшается в ~ 3.5 раза, а Nb ~ до 10-15 раз. При Р = 1 кбар во всем исследованном диапазоне температуры в обогащенном Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (А/НК ~1.7) расплаве содержание Ta выше, чем Nb (Nb/Ta ~ 0.5), в щелочном расплаве соотношение обратное (Nb/Ta ~ 1.25-2.0). В расплаве с А/НК ~1.1 при 650 °С содержится больше Ta, а при 750-850°С – больше Nb. В целом, растворимость Nb заметнее по сравнению с Ta изменяется с температурой.

**Уменьшение давления** от 4 до 0.3 кбар также более слабо влияет на растворимость колумбита, чем состав расплава. При этом в щелочном расплаве содержания Nb и, вероятно, Ta возрастают. Возможно, при Р = 4 кбар и составе расплава с А/НК ~1.1 тантал начинает преобладать над ниобием при более высокой температуре - 750°С. Первые полученные данные по изменению формы диффузионных профилей позволяют говорить о существенно более высокой скорости диффузии Nb и Ta при давлении 4 кбар и, соответственно, уменьшении скорости диффузии при Р = 0.3 кбар, по сравнению с 1 кбар. То есть при повышенном давлении подвижность Nb и Ta в расплаве заметно выше. Это в первую очередь связано с уменьшением вязкости расплава при увеличении давления.

**Закключение.** (1) Изменение состава гранитного расплава оказывает наибольшее влияние на величину растворимости колумбита по сравнению с влиянием температуры и давления. Растворимости Ta и Nb максимальны в щелочном расплаве, уменьшаются почти на порядок в расплаве нормального состава и продолжают уменьшаться с увеличением глиноземистости расплава. (2) Растворимость Nb в гранитном расплаве изменяется с температурой более заметно по сравнению с Ta, то есть с понижением температуры Nb/Ta отношение в расплаве, как правило, уменьшается. Положительная температурная зависимость растворимости колумбита сильнее выражена в гранитном расплаве с А/НК ~1.1 по сравнению со щелочным и глиноземистым составами.

На основании полученных нами экспериментальных данных, а также данных других исследователей (Linnen, Keppler., 1997; Linnen, 1998; Зарайский, 2004; Чевычелов, и др., 2005; Бородулин и др., 2006; Ситнин, Гребенников, Сункинзян, 1995) можно предположить, что при температуре солидуса Li-F гранитов концентрация насыщения расплава танталом и ниобием в равновесии с колумбитом приблизительно отвечает уровню содержания этих металлов в гранитах танталовых месторождений. Низкая температура кристаллизации насыщенных фтором и водой рудовмещающих гранитов определяет возможность кристаллизации колумбита и танталита в виде аксессуарной вкрапленности непосредственно из гранитного расплава.

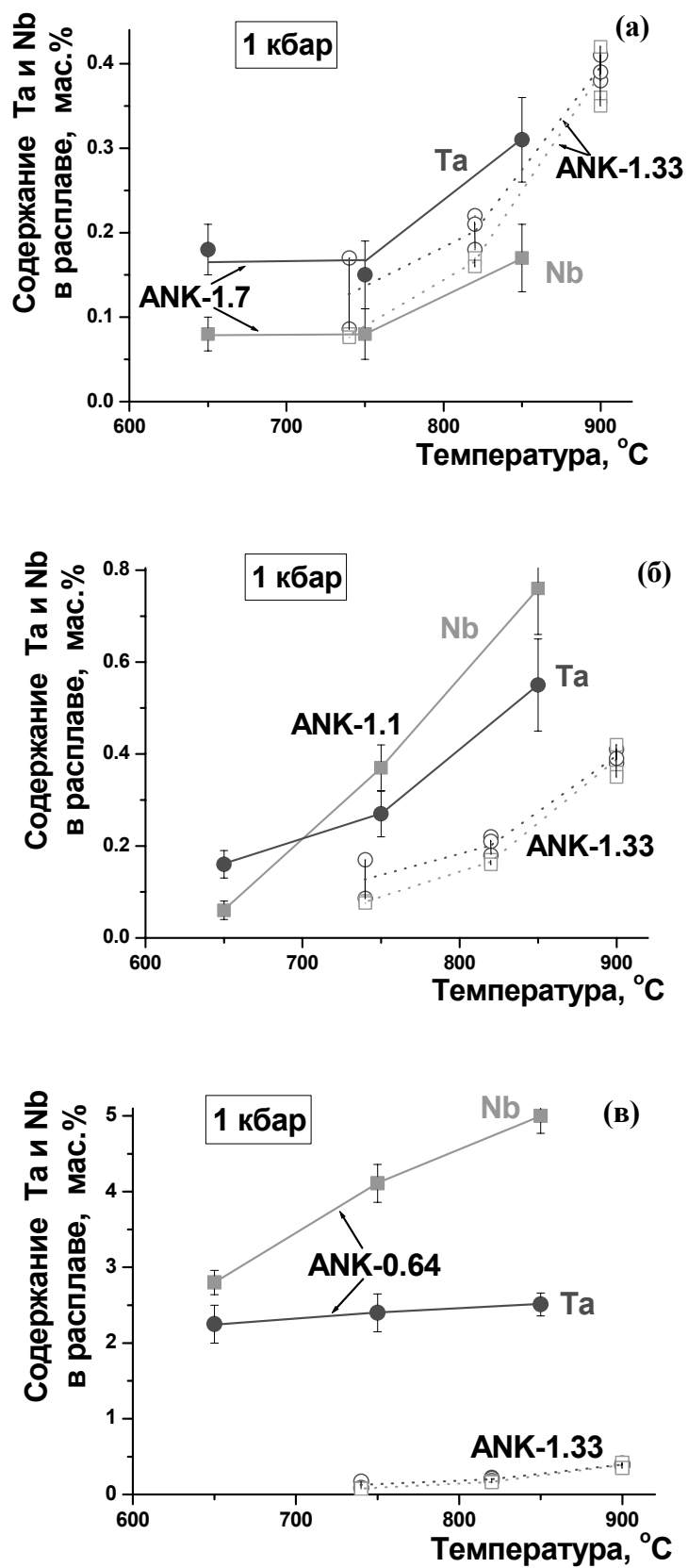


Рис. Влияние состава расплава (A/NK ~1.7 (а), 1.33, 1.1 (б) и 0.64 (в)) на растворимость Ta и Nb в гранитном расплаве при растворении колумбита. Для сравнения в качестве репера добавлены наши прежние результаты для расплава природного Li-F гранита (A/NK ~1.33) (Чевычелов и др., 2005).

Работа выполнена при поддержке РФФИ - № 05-05-65233, № 05-05-64754, Научной школы - НШ-7650.2006.5 и Фонда содействия отечественной науке.

#### ЛИТЕРАТУРА

Аксюк А.М. Экспериментально обоснованные геофториметры и режим фтора в гранитных флюидах. // Петрология, 2002. - 10, №6. - 630-644.

Бородулин Г.П., Чевычелов В.Ю., Зарайский Г.П., Борисовский С.Е. Экспериментальное исследование растворимости кристаллического колумбита в гранитных расплавах глинозёмистого (А/НК ~1.7, нормального (А/НК ~1.7) и щелочного (А/НК ~1.7) состава при Т = 650-850 °С и Р = 0.3 -4 кбар: первые результаты. Тезисы докладов Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии ЕСЭМПГ-2006. - М., с.10-11.

Зарайский Г.П. (2004) Условия образования редкометалльных месторождений, связанных с гранитным магматизмом/ Смирновский сборник – 2004 (научно-литературный альманах); Фонд им. академика В.И. Смирнова. – М., с.105-192

Ситнин А.А., Гребенников А.М., Сункинзян В.В. Этыкинское танталовое месторождение. // Месторождения Забайкалья. Чита-Москва: Геоинформмарк, 1995. - 1, кн. 1. - С. 86-95.

Чевычелов В.Ю., Зарайский Г.П., Борисовский С.Е., Борков Д.А. (2005) Влияние состава расплава и температуры на распределение Та, Nb, Mn и F между гранитным (щелочным) расплавом и фторсодержащим водным флюидом: фракционирование Та, Nb и условия рудообразования в редкометалльных гранитах. / «Петрология», том 13, № 4, с.339-357.

Чевычелов В.Ю., Зарайский Г.П., Борисовский С.Е., Некрасов А.Н. (2005) Растворимость колумбита и диффузия Та, Nb, Fe и Mn в Li-F гранитных расплавах при 740-980°С и 1 кбар. / В кн.: «XV Российское совещание по экспериментальной минералогии». Материалы совещания. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, Геопринт. с.123-125.

Linnen R.L., Keppler H. (1997) Columbite solubility in granitic melts: consequences for the enrichment and fractionation of Nb and Ta in the Earth's crust // «Contrib. Mineral. Petrol.» 1997. V. 128. P. 213-227.

Linnen R.L. (1998) The solubility of Nb-Ta-Zr-Hf-W in granitic melts with Li and Li + F: constraints for mineralization in rare metal granites and pegmatites // «Economic Geology». V. 93. P. 1013-1025.

### ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТИТАНОСОДЕРЖАЩИХ ГРАНАТОВ АНДРАДИТОВОГО РЯДА В ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Васильева В.А.

СПбГУ, Санкт-Петербург, [vasveronica@mail.ru](mailto:vasveronica@mail.ru)

В породах щелочно-ультраосновных комплексов распространены только кальциевые гранаты. Титановые гранаты встречаются в ийолит – мельтейгитах, реже – в нефелиновых пироксенитах и фенитах (Евдокимов, 1982). Железо– глинозёмистые гранаты распространены широко и приурочены к продуктам автометасоматического изменения пироксенитов, пород ийолит – мельтейгитовой серии и их пегматитов (Каледонский комплекс..., 1965). Для мелилитовых пород также характерны гранаты гроссуляр – андрадитового ряда, либо титанистый андрадит, причём устанавливается отчётливая зависимость вариаций состава граната от условий формирования пород, прослеженная нами для одного из классических районов проявления мелилитовых пород – щелочно-ультраосновного комплекса Турьего полуострова.

Так, гранаты из пород, образовавшихся за счет гипербазитов (из ункомпагритов и пироксеновых турьяитов), наследуют высокое содержание алюминия и магния, а гранаты турьяитов, образовавшихся по ийолит-мельтейгитовым породам, богаты железом и титаном. В окайтах гранат является продуктом позднего изменения пород и по составу близок к гроссуляру (Васильева, 2002). В гранат – флогопитовых метасоматитах, сформированных по

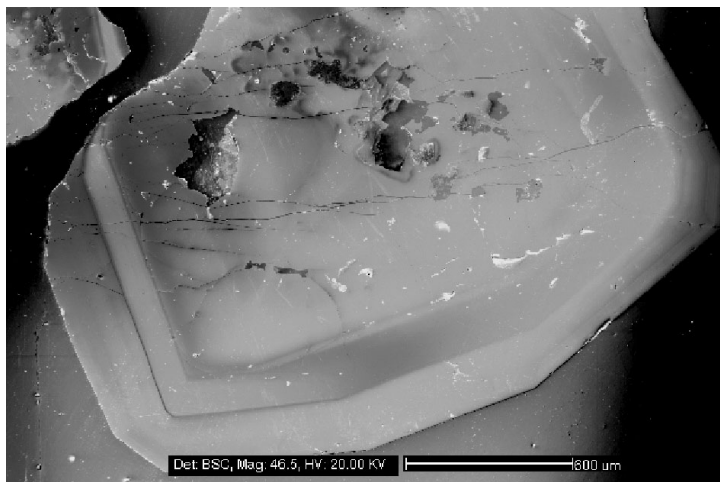


Рис. 1. Зональный кристалл титанистого андрадита из турьяитов Кузаволокского массива Турьего п-ова. В шлифе внутренняя часть и внешняя кайма окрашены в желтый цвет, средняя зона – бурого цвета.